

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Lehrstuhl für Produktentwicklung

# **Entwicklung einer Wissensbasis für die Arbeit mit Produktmodellen**

**Andreas Kohn**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität  
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Weber,  
Technische Universität Ilmenau

Die Dissertation wurde am 28.11.2013 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen  
am 11.08.2014 angenommen.



# VORWORT DES HERAUSGEBERS

## **Problemstellung**

Bei der Entwicklung technischer Produkte werden Produktmodelle als Abbildungen eines realen oder gedachten Produktes eingesetzt. Produktmodelle dienen unter anderem dazu, interne Modelle des Entwicklers zu externalisieren, Zwischenstände zu dokumentieren und Ergebnisse zu kommunizieren. Die Vielfalt an vorhandenen Produktmodelltypen und deren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der zunehmend interdisziplinären Entwicklung erfordern ein umfangreiches Wissen für die effiziente und effektive Verwendung von Produktmodellen. Bestehende Ansätze zur Bereitstellung dieses Wissens sind allerdings entweder zu abstrakt oder zu spezifisch. Zusätzlich führen Herausforderungen wie modellspezifische bzw. disziplinspezifische Ausbildung und mangelnder Wissenstransfer zwischen einzelnen Modellanwendungen zu einer ineffizienten Verwendung von Produktmodellen und damit zu Nachteilen im Entwicklungsprozess.

## **Zielsetzung**

Das Ziel dieser Dissertation ist die Erfassung, Strukturierung und Bereitstellung des für die Arbeit mit Produktmodellen erforderlichen Wissens unter den oben genannten Herausforderungen. Die Tätigkeiten, die im Produktentwicklungsprozess mit Produktmodellen durchgeführt werden, sollen identifiziert und dafür nutzbares Wissen bereitgestellt werden. Die Erfassung von vorhandenem Wissen soll ebenso unterstützt werden, wie die Bereitstellung des Wissens entsprechend den anwendungsspezifischen Bedarfen in der Produktentwicklung.

## **Ergebnisse**

Das Ergebnis dieser Dissertation ist eine Wissensbasis zur Erfassung, Strukturierung und Bereitstellung des Wissens über die Arbeit mit Produktmodellen. Ein Rahmenwerk zur Verortung vorhandenen Wissens aus unterschiedlichen Quellen unterstützt bei der Befüllung der Wissensbasis. Die Wissensbasis besteht aus einer Ontologie und drei Teil-Wissensmodellen, die basierend auf Literaturstudien und Anwendungsfällen in der Industrie erstellt wurden. Die Ontologie bildet das Meta-Modell der Wissensbasis und definiert die für die Arbeit mit Produktmodellen relevanten Konzepte und deren Relationen. Insgesamt acht Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen wurden identifiziert und in Teilschritte unterteilt. Diesen Teilschritten werden Regeln und Hinweise über die Gestaltung der Arbeit mit Produktmodellen zugeordnet, wodurch ein anwendungs- und kontextspezifischer Zugriff auf das enthaltene Wissen ermöglicht wird. Die entwickelte Klassifikation von Produktmodelltypen bietet eine Übersicht über vorhandene Produktmodelltypen und erleichtert deren Auswahl entsprechend individueller Bedarfe. Die Nutzung der Wissensbasis wird durch ein fünfstufiges Vorgehen unterstützt. Dieses ermöglicht im Rahmen von Knowledge Engineering Projekten anhand entsprechender Methoden in Form von Checklisten, Vorlagen und Zuordnungsmatrizen den anwendungsspezifischen Wissensbedarf

bei der Arbeit mit Produktmodellen zunächst individuell zu bestimmen und daraufhin bedarfsgerecht zu decken. Das Vorgehen dient im Rahmen der Evaluation des Lösungsansatzes in einem industriellen Anwendungsfall als Grundlage für die Entwicklung eines Assistentensystems zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen. Als Ergebnis der Evaluation werden die Wissensbasis sowie das Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis diskutiert und mögliche Verbesserungspotentiale aufgezeigt.

### **Folgerungen für die industrielle Praxis**

Die Wissensbasis ermöglicht in Kombination mit dem entwickelten Rahmenwerk und dem Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis eine strukturierte Erfassung und Bereitstellung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen. In einem Unternehmen kann damit dieses entwicklungsrelevante Wissen besser erfasst und effizienter bereitgestellt werden. Dies wird durch die klare, tätigkeitsorientierte Strukturierung des Wissens in der Wissensbasis unterstützt. Das Rahmenwerk bietet darüber hinaus die Möglichkeit, das aktuell vielfältige, teils widersprüchliche Wissen über die Arbeit mit Modellen strukturiert zu erfassen und zusammenzuführen. Negative Effekte wie z. B. Wissensverlust durch Mitarbeiterwechsel und unnötige Doppelarbeit werden somit abgeschwächt. Ebenfalls wird durch das verwendete Wissensmodell mit den darin enthaltenen Abstraktionsebenen das benötigte anwendungs- und disziplinübergreifende Verständnis gefördert. Positive Effekte wie z. B. Wissenstransfer zwischen Abteilungen und Wissensbewahrung werden somit unterstützt.

### **Folgerungen für Forschung und Wissenschaft**

In Forschung und Wissenschaft wird der Modellbegriff in unterschiedlichen Bedeutungen verwendet. Das Forschungsfeld bezüglich der Arbeit mit Modellen im Allgemeinen und der Arbeit mit Produktmodellen im Speziellen ist gekennzeichnet durch eine starke Heterogenität bezüglich individuellem Verständnis, verwendeten Begrifflichkeiten und anwendungsspezifischen Herangehensweisen. Anhand der entwickelten Wissensbasis ermöglicht diese Dissertation eine Verortung bestehender Forschungsansätze auf dem Gebiet der Arbeit mit Produktmodellen. Die Ontologie und die Wissensdokumente stellen einen Ordnungsrahmen bereit, mit dem diese bislang heterogene Begriffswelt im Bereich der Produktmodellierung erschlossen werden kann. Dadurch wird beispielsweise das anwendungs- und disziplinübergreifende Verständnis über unterschiedliche Forschungsansätze bezüglich der Arbeit mit Modellen gefördert. Bislang nicht oder nur schwer vergleichbare Ansätze und Erkenntnisse können somit leichter verglichen werden und weiterer Forschungsbedarf auf diesem Gebiet kann abgeleitet werden.

Garching, Oktober 2014

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Lehrstuhl für Produktentwicklung  
Technische Universität München

## DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München von August 2008 bis September 2013.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann danke ich herzlich für das entgegengebrachte Vertrauen und die aktive Unterstützung während meiner Lehrstuhlzeit. Durch Kombination aus gewährtem Raum für Eigeninitiative, steter Rückendeckung und Bereitschaft für Diskussionen und Anregungen gestaltete er einen fruchtbaren Rahmen für meine Arbeit. Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Weber von der Technischen Universität Ilmenau danke ich für die Übernahme der Zweitberichterstattung und seine stets treffenden Anmerkungen auf ICED- und DESIGN-Konferenzen. Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission danke ich Frau Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser.

Ebenfalls herzlichen Dank möchte ich meinen Kolleginnen und Kollegen des Lehrstuhls für Produktentwicklung aussprechen. Die Arbeitsatmosphäre war vom ersten Moment an geprägt durch Kollegialität, Aufgeschlossenheit und Hilfsbereitschaft. Stellvertretend bedanke ich mich zunächst bei Andreas Gaag für die hervorragende Einführung in den Lehrstuhllalltag und das Projektgeschäft. Bei Florian Behncke und Maik Holle bedanke ich mich für die immer angenehme und inspirierende Zeit als Bürokollegen. Frank Hoisl danke ich dafür, dass er mich auf die Idee gebracht hat, am Lehrstuhl für Produktentwicklung zu arbeiten und für die stete Freundschaft vor, während und nach der Lehrstuhlzeit. Für die zahlreichen fruchtbaren Diskussionen in und außerhalb von Projekten bedanke ich mich bei Wieland Biedermann, Stefan Langer, Maximilian Kissel, Robert Orawski, Fatos Elezi, Helena Hashemi Farzaneh und Christopher Münzberg. Für das Feedback zu meiner Dissertation und meinem Promotionsvortrag bedanke ich mich darüber hinaus bei Arne Herberg, Sebastian Maisenbacher, Bergen Helms und Maik Maurer. Schließlich vielen herzlichen Dank an Sebastian Kortler als unorthodoxen Lehrstuhlpaten, intelligenten Bürokollegen, zielstrebigem Projektmitstreiter, kritischen Diskussionspartner und ehrlichen Feedbackgeber.

Stellvertretend für alle Studenten, die mich als Hilfskräfte oder Studienarbeiter in meinen Projekten begleitet haben danke ich insbesondere Max Lutter-Günther, Felix Bergander und Christoph Hollauer für den umfassenden inhaltlichen Austausch und die angenehme Zusammenarbeit.

Bei meinen Freunden aus München und Rosenheim bedanke ich mich für die gemeinsamen Abende, Kinobesuche, Feiern und Ausflüge. Diese waren für mich zugleich gern in Kauf genommene Auszeiten und kostbare Kraftspender. Ebenfalls bedanke ich mich bei meinen Mitspielern aus der Stadtkapelle Rosenheim und dem Rosenheimer Saxophonensemble für die unterhaltsamen Proben und abwechslungsreichen gemeinsamen Auftritte.

Mein besonderer Dank gilt darüber hinaus meiner Frau für die uneingeschränkte Unterstützung während meiner gesamten Promotionszeit. Dazu gehören neben einem gegen nichts einzutauschenden Alltag und unvergesslichen Urlauben auch die immer treffenden und konstruktiven Anregungen zu meiner Dissertation.

Bei meinen Eltern bedanke ich mich dafür, dass sie mich durch meine gesamte Ausbildung hinweg stets gefördert und uneingeschränkt unterstützt haben. Bei meinem Vater bedanke ich mich darüber hinaus für die detaillierte Rechtschreibkorrektur dieser Arbeit. Ebenfalls danke ich meinen Eltern, meinen Großeltern, meiner gesamten Rosenheimer Verwandtschaft und meinen Schwiegereltern dafür, dass sie uns an den Wochenenden immer so herzlich aufnehmen und uns somit ein zweites Zuhause bieten.

München, Oktober 2014

Andreas Kohn

Die folgenden Veröffentlichungen sind Teil der hier vorgestellten Forschungsarbeit:

- Kohn, A.; Lindemann, U.; Maurer, M.: Knowledge base for supporting the handling of product models in engineering design. 19th International Conference on Engineering Design. Seoul, Korea, 19.-22.08.2013.
- Kohn, A.; Hollauer, C.; Huber, M.; Lindemann, U.: Assistentensystem zur Unterstützung der projektspezifischen Arbeit mit Produktmodellen. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung. Stuttgart, 20.07.2013.
- Kohn, A.; Reif, J.; Wolfenstetter, T.; Kernschmidt, K.; Goswami, S.; Krcmar, H.; Brodbeck, F.; Vogel-Heuser, B.; Lindemann, U.; Maurer, M.: Improving common model understanding within collaborative engineering design research projects. International Conference on Research into Design. Chennai, Indien, 07.-09.01.2013
- Kohn, A.; Lutter-Günther, M.; Hagg, M.; Maurer, M.: Handling product information - towards an improved use of product models in engineering design. 12th International Design Conference. Dubrovnik, Kroatien, 21.-24.05.2012.
- Kohn, A.; Maurer, M.; Schmidt, H. X.; Lindemann, U.: Use of existing ontologies as input for Structural Complexity Management - Reducing the effort for analysing and improving engineering systems. International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development. Paris, Frankreich, 25.-30.10.2011.
- Kohn, A.; Schmidt, H. X.; Lindemann, U.: Erfolgreicher Umgang mit Wissensmodellen in Unternehmen - Handhabung semantischer Modelle zur Erschließung und Nutzung von Wissen über technische Lösungen. KnowTech 2011: Unternehmenswissen als Erfolgsfaktor mobilisieren. Bad Homburg, 28.-29.09.2011.
- Kohn, A.; Lindemann, U.: Search for similar technical solutions by object abstraction using an ontology. 18th International Conference on Engineering Design. Kopenhagen, Dänemark, 15.-18.08.2011.
- Kohn, A.; Lindemann, U.: Approach towards a more flexible handling of domains in complex systems. 12th International DSM Conference. Cambridge, England, 22.-23.07.2010.



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung	5
1.3 Zielsetzung	8
1.4 Aufbau der Dissertation	10
<b>2. Grundlagen</b>	<b>13</b>
2.1 Verwendete Begriffe und deren Interpretation	13
2.2 Themen- und Forschungsfelder	15
2.3 Wissenschaftliche Verortung der Arbeit und Forschungsmethodik	16
2.4 Beitrag einzelner Projekte zum Forschungsvorhaben	19
<b>3. Modelle und Modellierung</b>	<b>23</b>
3.1 Modellbegriff und die allgemeine Modelltheorie	23
3.2 Modellvielfalt und Modellklassifikationen	27
3.3 Repräsentation von Modellen in Modellierungssprachen	32
3.4 Systemtheorie und Systemdenken als Grundlage der Modellierung	38
3.5 Lebenszyklus eines Modells	40
<b>4. Produktmodelle im Produktentwicklungsprozess</b>	<b>45</b>
4.1 Der Produktentwicklungsprozess	45
4.2 Daten, Informationen und Wissen in der Produktentwicklung	48
4.2.1 Abgrenzung der Begriffe Daten, Information und Wissen	48
4.2.2 Umgang mit Informationen im Entwicklungsprozess	50
4.2.3 Interpretation von Daten zu Informationen	52
4.2.4 Wissen zur Verarbeitung der Information	52
4.3 Produktmodelle	53
4.3.1 Definition Produktmodell und Produktmodelltyp	54
4.3.2 Verwendung von Produktmodellen	56
4.3.3 Produktmodellklassifikationen	57

---

4.4	Arbeit mit Produktmodellen	60
4.4.1	Faktor Mensch	61
4.4.2	Werkzeugunterstützung	63
4.4.3	Informations- und Wissensmanagement	66
4.4.4	Methodische Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen	70
4.4.5	Integrierende Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen	73
4.4.6	Wissensquellen für die Arbeit mit Produktmodellen	75
4.5	Identifizierter Unterstützungsbedarf	76
<b>5.</b>	<b>Erfassung, Repräsentation und Nutzung von Wissen</b>	<b>79</b>
5.1	Wissensquellen und Wissensbasen	79
5.2	Rechnerbasierte Daten-, Informations- und Wissenssysteme	82
5.3	Knowledge Engineering	85
5.4	Wissensmodelle und ihre Repräsentation in Modellierungssprachen	87
5.5	Methodiken zur Erstellung von Wissensmodellen und Wissensbasen	90
5.6	Anforderungen an die zu entwickelnde Wissensbasis	96
<b>6.</b>	<b>Lösungsansatz: Produktmodell-Wissensbasis</b>	<b>101</b>
6.1	Erstellung der Wissensbasis	101
6.1.1	Vorgehen zur Erstellung der Wissensbasis	101
6.1.2	Aufbau der Wissensbasis	103
6.1.3	Rahmenwerk zur Erstellung der Wissensbasis	104
6.2	Verwendete Wissensquellen	109
6.3	Ontologie zur Abbildung der Arbeit mit Produktmodellen	117
6.3.1	Struktur der Ontologie	117
6.3.2	Merkmale der Konzepte der Ontologie	121
6.4	Teil-Wissensmodell „Tätigkeiten und Teilschritte“	125
6.5	Teil-Wissensmodell „Produktmodelltypen-Klassifikation“	132
6.6	Teil-Wissensmodell „Regeln und Hinweise“	136
6.7	Zusammenfassung des Lösungsansatzes	143
<b>7.</b>	<b>Einsatz der Wissensbasis und Evaluation</b>	<b>145</b>
7.1	Teilaspekte der Evaluation	145

---

7.2	Allgemeines Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis	147
7.2.1	Spezifizierung des Bedarfs nach Unterstützung	148
7.2.2	Identifizierung des benötigten Wissens	151
7.2.3	Wissensakquise und Ergänzung der Wissensbasis	152
7.2.4	Aufbereitung und Bereitstellung des Wissens	153
7.2.5	Nutzung des Wissens, Monitoring und geeignetes Nachsteuern	155
7.3	Einsatz der Wissensbasis	157
7.3.1	Anwendungsbeispiel	157
7.3.2	Klärung des Wissensbedarfs	158
7.3.3	Auffinden des enthaltenen Wissens	162
7.3.4	Aufbereitung und Bereitstellung des Wissens	162
7.3.5	Anwendung und Bewertung des Assistentensystems	165
7.4	Evaluation und Diskussion des Lösungsansatzes	166
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>171</b>
8.1	Zusammenfassung	171
8.2	Ausblick	173
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>175</b>
<b>10.</b>	<b>Anhang</b>	<b>197</b>
10.1	Definitionen von Produktmodellen	198
10.2	Zur Erstellung der Wissensbasis genutzte Literaturquellen	199
10.3	Wissensdokumente für die Konzepte der Ontologie	201
10.4	Tätigkeiten bei der Arbeit mit Modellen	210
10.5	Detaillierung der Teilschritte	213
10.6	Sammlung von Produktmodelltypen	231
10.7	Produktmodelltypen-Klassifikation	236
10.8	Regeln und Hinweise zur Gestaltung der Arbeit mit Modellen	240
10.9	Zuordnung der Regeln zu Teilschritten und Konzepten	246
10.10	Fragen-Checkliste zur Spezifizierung des Wissensbedarfs	252
<b>11.</b>	<b>Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung</b>	<b>255</b>



# 1. Einleitung

*Die vorliegende Dissertation zielt auf eine Unterstützung des Produktentwicklers bei der Arbeit mit Produktmodellen im Produktentwicklungsprozess ab. Dieses Kapitel beschreibt zunächst die Ausgangssituation anhand der unterschiedlichen Verwendung von Produktmodellen und deren Bedeutung im Produktentwicklungsprozess. Herausforderungen in der Nutzung des hierfür erforderlichen Wissens werden dargestellt. Die spezifische Problemstellung des präsentierten Forschungsvorhabens wird abgeleitet und die Ziele zur Lösung der Problemstellung aufgezeigt. Abschließend wird der logische Aufbau der Dissertation beschrieben.*

## 1.1 Ausgangssituation

Produktmodelle dienen zur Repräsentation der Informationen über das Produkt im Produktentwicklungsprozess (HANNAH et al. 2012). Sie beschreiben als essentieller Bestandteil der täglichen Arbeit in der Produktentwicklung reduziert und zweckorientiert den jeweiligen Entwicklungs-Informationsstand. Als wichtige Vertreter lassen sich beispielsweise Anforderungslisten, Funktionsmodelle, Computer-Aided-Design (CAD)-Modelle, Simulationsmodelle, Fertigungszeichnungen und physische Prototypen nennen. Produktmodelle werden in vielfältiger Form in den einzelnen Teilschritten des Entwicklungsprozesses für unterschiedliche Zwecke genutzt (ANDREASEN 1994). Ein Produktmodell dient dabei oftmals mehreren Zwecken. Beispielsweise kann ein CAD-Modell als Grundlage für die Entwicklung eines Kinematik-Simulationsmodells und zur Ableitung einer Fertigungszeichnung genutzt werden. Der effiziente Einsatz von Produktmodellen hat maßgeblichen Einfluss auf die Produktqualität, die Entwicklungszeit und Entwicklungskosten (KÖNIGS 2013, S. 78). Das Wissen, wie mit Produktmodellen gearbeitet werden kann, und seine Verfügbarkeit für den Produktentwickler sind daher entscheidend für eine erfolgreiche Produktentwicklung.

Die folgende Abbildung (Bild 1-1) zeigt abstrahiert die Ausgangssituation anhand der Abhängigkeiten zwischen dem Produktentwicklungsprozess, dem Wissensbedarf des Produktentwicklers als ausführende Person und einigen exemplarischen Produktmodellen. Der Produktentwicklungsprozess umfasst die Entwicklung eines technischen Produktes auf Basis der vorliegenden Informationen unter Nutzung des erforderlichen Wissens (RODENACKER 1991, S. 285; EPPINGER 2001). Ausgehend von Informationen über die Zielstellung werden in den einzelnen Arbeitsschritten Informationen über Funktionen, Wirkprinzipien bis hin zu fertigen Produkten generiert (LINDEMANN 2009, S. 16). Dem Produktentwickler kommt bei diesen Arbeitsschritten die wichtigste Rolle zu (EDER & HOSNEDL 2008, S. 152). Er ist für die zentralen Tätigkeiten der Informationsgewinnung, -verarbeitung und -ausgabe im Entwicklungsprozess verantwortlich (RODENACKER 1991, S. 285; PAHL et al. 2004, S. 65). Sein Wissen befähigt ihn zur Durchführung der komplexen Entwicklungsprozesse und zur Entwicklung komplexer Produkte (LINDEMANN 2009, S. 8).

Da Informationen essentieller Bestandteil der Produktentwicklung sind und Produktmodelle die Informationen über das Produkt repräsentieren, wird zur Durchführung der Arbeitsschritte

insbesondere Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen benötigt. Die Unterstützung bei der Erfassung und Bereitstellung dieses Wissens ist das Ziel der vorliegenden Dissertation. Durch Bereitstellung dieses benötigten Wissens kann die Arbeit mit Produktmodellen unterstützt und damit der gesamte Produktentwicklungsprozess effizienter und effektiver gestaltet werden.

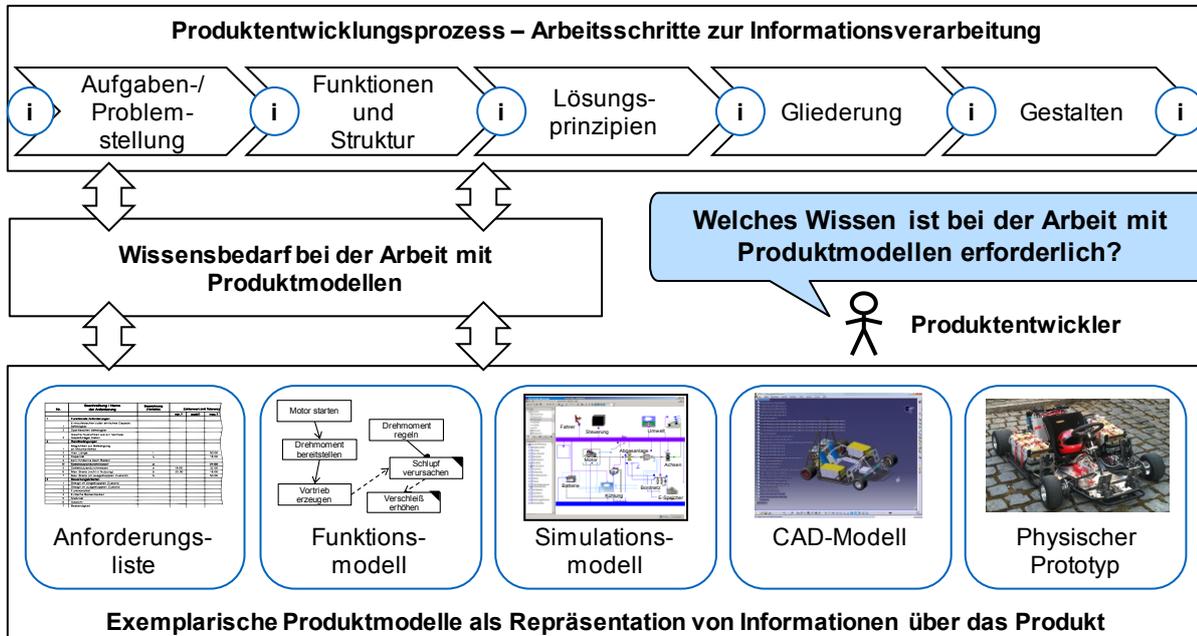


Bild 1-1: Wissensbedarf des Produktentwicklers bei der Arbeit mit Produktmodellen im Entwicklungsprozess

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden zunächst Verwendungsmöglichkeiten von Produktmodellen im Produktentwicklungsprozess aufgezeigt. Damit wird ihre wichtige Rolle in der Produktentwicklung hervorgehoben. Daraufhin erfolgt die Beschreibung der wachsenden Bedeutung von Wissen in der Produktentwicklung im Allgemeinen und des Bedarfs zur Erfassung und Bereitstellung von Wissen für die Arbeit mit Produktmodellen im Speziellen.

## Einsatz von Produktmodellen im Entwicklungsprozess

Produktmodelle sind essentieller Bestandteil des Entwicklungsprozesses. Sie werden in den einzelnen Phasen des Entwicklungsprozess für vielfältige Zwecke eingesetzt und ermöglichen damit eine erfolgreiche Produktentwicklung. Produktmodelle unterstützen beispielsweise den Prozess der Lösungsgenerierung, indem sie interne Modelle des Entwicklers externalisieren (BUUR & ANDREASEN 1989). Sie helfen den Entwicklern einerseits informal, um mentale Experimente durchzuführen oder aus vorhandenem Material einfache erste Prototypen zu erstellen. Andererseits können formale Produktmodelle nützlich sein für die Durchführung mathematischer Analysen oder die Erstellung von physischen Modellen z. B. anhand von Rapid Prototyping (EDER & HOSNEDL 2008, S. 167). Bestehende Produktmodelle fungieren als Ausgangspunkt für die Entwicklung und regen zur Adaption und Weiterentwicklung vorhandener Ideen an. Durch sie wird das Treffen von Entscheidungen und das Planen

weiterer Schritte im Entwicklungsprozess unterstützt, indem Lösungskonzepte gegenübergestellt werden können (ULLMANN 2002, S. 47). Das Bewerten von Lösungsideen und Vorhersagen über zukünftiges Produktverhalten wird durch sie ermöglicht (TREVELYAN 2008). Auch dienen vor allem bildliche Produktmodelle, die Kreativität in der Entwicklung zu fördern (LIPPARDT 2000, S. 1).

Bei komplexen Projekten hilft der gezielte Einsatz von Produktmodellen dabei, die Anforderungserfüllung frühzeitig zu überprüfen bevor ein großer Ressourcenaufwand für die Gesamtentwicklung des Produktes aufgewendet wird (HASKINS 2011, S. 289; RUMBAUGH et al. 1994, S. 19). Wichtige Fragen der Produktentwicklung, wie beispielsweise zur Absicherung der Eigenschaften neuer Produkte können durch Nutzung von Produktmodellen beantwortet werden (VAJNA et al. 2009, S. 153). Vorhandene Abhängigkeiten im komplexen Produkt werden transparent gemacht und das für die Entwicklung erforderliche Verständnis gefördert (RUMBAUGH et al. 1994, S. 20). Somit können Aussagen über das Aussehen, die Struktur und das zu erwartende Verhalten des Produktes getroffen werden (GROBE AUSTING 2012, S. 11). Besonders durch den verstärkten Einsatz virtueller Modelle kann so der zeit- und kostenintensive Bau von physischen Prototypen gar auf ein Minimum reduziert werden (GAUSEMEIER et al. 2012, 54) und das Entwicklungs- und das Versagensrisiko des fertigen Produktes signifikant verringert werden (HASKINS 2011, S. 111).

Produktmodelle dienen ebenfalls der Kommunikation der jeweiligen Entwicklungsstände unter den Entwicklern und mit weiteren am Entwicklungsprozess beteiligten Personen in allen Phasen des Entwicklungsprozesses (BUSKERMOLEN & TERKEN 2012). Design-Studien werden beispielsweise mittels physischer Oberflächen-Prototypen genutzt, um frühzeitig das spätere Produktaussehen abzustimmen. Im unternehmensübergreifenden Kontext nehmen Produktmodelle ebenfalls eine essentielle Rolle ein. Anforderungen an zu entwickelnde Produkte werden in Form von Lasten- und Pflichtenheften an Auftragnehmer weitergegeben (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009). Fertigungszeichnungen, CAD-Baugruppen-Module und Fertigungsbeschreibungen werden als Resultat von ausgelagerter Entwicklungstätigkeit zurück an den Auftraggeber übergeben. Darüber hinaus schreiben Richtlinien und Normen die Dokumentation von Entwicklungsergebnissen in Form von Produktmodellen vor (z. B. Fertigungszeichnungen).

Die beschriebenen Verwendungsmöglichkeiten von Produktmodellen heben deren besonderen Stellenwert in den Arbeitsabläufen der Produktentwicklung hervor. Der gezielte und effiziente Einsatz von Produktmodellen ist damit in der heutigen Produktentwicklung ein wichtiger Erfolgsfaktor und muss durch geeignete Maßnahmen unterstützt werden.

### **Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen**

Wie oben beschrieben, ist die effiziente und effektive Arbeit mit Produktmodellen entscheidend für eine erfolgreiche Produktentwicklung. Um die einzelnen Arbeitsschritte entsprechend ausgestalten zu können, muss das dafür erforderliche Wissen dem Produktentwickler zur Verfügung stehen.

Generell wird Wissen und dem Umgang mit Wissen im Unternehmen in der heutigen Zeit eine zunehmende Bedeutung beigemessen. Wissen wird neben den Faktoren Naturkapital, Sachkapital und Humankapital als „vierter Produktionsfaktor“ gesehen, was als Indikator für

einen Paradigmenwechsel hin zur Informations- und Wissensgesellschaft interpretiert werden kann (GRONAU 2009, S. 6). Dem Produktionsfaktor Wissen wird 60 - 80 % der Gesamtwertschöpfung zugerechnet, wobei allerdings nur 20 - 40 % des betrieblichen Wissens tatsächlich genutzt werden (VAJNA et al. 2009, S. 429). Das Management der Ressource Wissen wird angesichts der zunehmenden Abhängigkeit des Wettbewerbserfolgs eines Unternehmens von dem effizienten und effektiven Umgang mit Wissen immer wichtiger (KRCMAR 2010, S. 623). Als Gründe lassen sich die wachsende Wissensintensität der Leistungen, kürzere Lebenszyklen des Produktes, zunehmende geografische Verteilung von wissensintensiven Prozessen im Unternehmen und die schnellere Veränderung von Humanressourcen nennen (KRCMAR 2010, S. 624). Wissen im Unternehmen muss deshalb neben der laufenden Rationalisierung von Tätigkeiten und Abläufen und der kontinuierlichen Verbesserung der Produkte in Zukunft stärker gepflegt werden (KUNZ 2004, S. 18). Als besondere Herausforderung des Wissensmanagements lässt sich der Austausch von Wissen und Informationen über Abteilungs- und Unternehmensgrenzen nennen. Auf Grund der Komplexität der Produkte können Entwicklungsaufgaben nicht mehr abteilungs- oder unternehmensintern gelöst werden. Sie werden vielmehr gemeinsam durch weltweit verteilte Experten und in multidisziplinären Teams bearbeitet (SZYKMAN et al. 2001). Die Folge ist ein wachsender Bedarf nach einer gezielten Verteilung, Koordination und Abstimmung des in den einzelnen Tätigkeiten erforderlichen Wissens und der benötigten und generierten Informationen als Teilergebnisse des Entwicklungsprozesses.

Der in der Literatur beschriebene Trend zur wachsenden Bedeutung des Wissens und dessen Managements in heutigen Unternehmen trifft ebenfalls auf das für die Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Wissen im Entwicklungsprozess zu. Der dabei auftretende Wissensbedarf muss daher mit geeigneten Methoden gedeckt werden und das erforderliche Wissen gezielt erfasst und bereitgestellt werden.

Der Wissensbedarf bei der Arbeit mit Produktmodellen lässt sich an folgenden Beispielen exemplarisch aufzeigen. Für die Produktentwicklung steht eine Vielfalt an unterschiedlichen Produktmodelltypen zur Verfügung, die entsprechend der jeweiligen Zielstellungen und Rahmenbedingungen ausgewählt werden müssen (BUUR & ANDREASEN 1989). Der Entwickler muss wissen, welcher Produktmodelltyp für den jeweiligen Anwendungsfall passend ist. Jeder dieser Produktmodelltypen besitzt Vor- und Nachteile hinsichtlich seiner spezifischen Anwendung (z. B. Datenstruktur, Verständlichkeit, Werkzeugvoraussetzungen). Die Wahl des passenden Produktmodelltyps unter Berücksichtigung der jeweiligen Fähigkeit des Entwicklers bestimmt wesentlich die Qualität einzelner Teilaktivitäten des Produktentwicklungsprozesses (HENDERSON 1999). Darüber hinaus ist die passende Kombination von Produktmodelltypen entscheidend. In Produktmodellen enthaltene Informationen werden genutzt, um weitere Produktmodelle zu erstellen (ANDREASEN 1994; BUUR & ANDREASEN 1989; HERBERG et al. 2010). Im Entwicklungsprozess konkretisieren sich die in den Produktmodellen enthaltenen Informationen bis hin zur finalen Konstruktion und Fertigung des Produktes (PONN & LINDEMANN 2011, S. 20 ff.). Um die erforderliche Wieder- und Weiterverwendung von Produktmodellen zu ermöglichen, müssen diese geeignet dokumentiert werden. Es wird daher sowohl Wissen über die Dokumentation als auch über die Interpretation von vorhandenen Produktmodellen benötigt. So kann bereits bei der

Erstellung von Produktmodellen eine spätere Wieder- bzw. Weiterverwendung antizipiert und auf eine dementsprechende Dokumentation geachtet werden.

Zusammenfassend lässt sich die Ausgangssituation dieser Dissertation als Zusammenspiel zwischen der wichtigen Rolle von Produktmodellen im Entwicklungsprozess und der allgemein wachsenden Bedeutung des Managements der Ressource Wissen im Unternehmen beschreiben. Auf Grund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Produktmodellen, der Vielfalt an unterschiedlichen Produktmodelltypen und dem zunehmend abteilungs-, disziplin- und unternehmensübergreifenden Arbeitsumfeld ist ein hoher Wissensbedarf für die Arbeit mit Produktmodellen erkennbar. Die Herausforderungen, die bei der Deckung dieses Wissensbedarfs bestehen, werden im folgenden Kapitel als Problemstellung dieser Dissertation detailliert.

## 1.2 Problemstellung

Dieses Kapitel beschreibt die Problemstellung der vorliegenden Dissertation anhand bestehender Herausforderungen bei der Bereitstellung des für die Arbeit mit Produktmodellen benötigten Wissens. Bild 1-2 gruppiert die Herausforderungen nach deren Ursprung. Links dargestellt sind Herausforderungen, die aus der aktuellen Nutzung von Produktmodellen im Entwicklungsprozess resultieren. Insbesondere die bestehende Vielfalt an Produktmodelltypen, das breite Verwendungsspektrum von Produktmodellen und der kontinuierliche Bedarf nach Wieder- und Weiterverwendung der Produktmodelle zeigen sich hier als Gründe, die eine erfolgreiche Arbeit mit Produktmodellen erschweren. Demgegenüber stehen aus dem vorliegenden Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen resultierende Herausforderungen. Vorwiegend modellspezifische Ausbildung bzw. Wissensquellen, unterschiedliche Disziplinen und die individuelle Arbeitsweise erschweren die effiziente Arbeit mit Produktmodellen. Die genannten Herausforderungen beeinflussen sich gegenseitig und werden im Folgenden detailliert beschrieben.

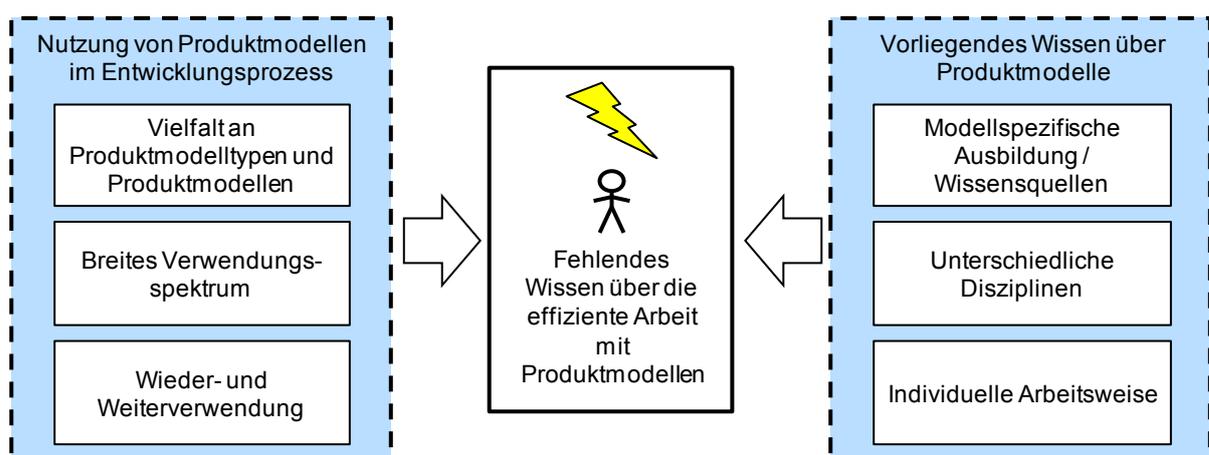


Bild 1-2: Herausforderungen für eine aktuell unzureichende Wissensnutzung bei der Arbeit mit Produktmodellen

Die erste Herausforderung ergibt sich aus der **Vielfalt an Produktmodelltypen** mit spezifischen Vor- und Nachteilen (z. B. Funktionsmodelle, CAD-Modelle, Simulations-

modelle, etc.). Es müssen die für die jeweiligen Zielstellungen und Rahmenbedingungen passenden Produktmodelltypen ausgewählt werden (BUUR & ANDREASEN 1989). Die Nutzung eines nicht geeigneten Produktmodelltyps kann zu Nachteilen im Entwicklungsprozess führen. HANNAH et al. 2012 zeigen beispielsweise anhand der Untersuchung der Eignung von Skizzen, 3D-CAD-Modellen und physischen Prototypen zur Bewertung der Anforderungserfüllung, dass es für Entwickler wichtig ist, beurteilen zu können, welche Informationen in welchen Modelltypen enthalten sind. Auch der Zeitpunkt der Auswahl eines bestimmten Modelltyps ist entscheidend. Wird beispielsweise zu früh mit der detaillierten Geometriemodellierung mit CAD-Modellen begonnen, können aufwändige Iterationsschleifen die negative Folge sein.

Neben den Problemen, die bei der Auswahl des passenden Produktmodelltyps entstehen, führt die große Anzahl und **Vielfalt an Produktmodellen** zu einer Informationsflut im Entwicklungsprozess (MEERKAMM et al. 2009, S. 64). In Kombination mit dem Problem der oftmals dezentralen und unstrukturierten Verwaltung von Produktinformationen resultieren lange Suchzeiten und ein erhöhter Aufwand für die Datenextraktion (KUNZ 2004, S. 4). Dies führt dazu, dass benötigte, in Produktmodellen enthaltene, Informationen nicht immer erhältlich sind und sich somit der Informationsfluss im Entwicklungsprozess verschlechtert (MEERKAMM et al. 2009, S. 64 f.).

Das **breite Verwendungsspektrum von Produktmodellen** stellt eine weitere Herausforderung dar. Wie in der Ausgangssituation beschrieben, werden Produktmodelle im Produktentwicklungsprozess zu unterschiedlichen Zwecken von unterschiedlichen Personen verwendet. Projekt-, unternehmens- und personenspezifische Rahmenbedingungen wirken sich auf die Verwendung von Produktmodellen aus. Eine Vielfalt an Werkzeugen steht für die Erstellung und Bearbeitung der einzelnen Produktmodelle zur Verfügung. Diese müssen korrekt eingesetzt und bedient werden. In Kombination mit der ersten Herausforderung ergibt sich das Problem, dass der Ersteller eines Produktmodells nicht einschätzen kann, wie die Produktmodelle weiter genutzt werden. Es ist nicht bekannt, für welche weiteren Zwecke sie durch wen eingesetzt werden und mit welchen Werkzeugen sie bearbeitet werden. Dies kann dazu führen, dass Anforderungen die aus der weiteren Nutzung resultieren bei der Modellerstellung nicht berücksichtigt werden.

Die **Wieder- und Weiterverwendung von Produktmodellen** ergibt sich als dritte Herausforderung. Produktentwickler sind auf vorhandene Produktinformationen und Erkenntnisse aus früheren Projekten angewiesen. Vorhandene Produktmodelle können beispielsweise genutzt werden, um Anpassungskonstruktionen durchzuführen. Deshalb müssen Produktmodelle effizient wieder- und weiterverwendet werden können. Dies wird aktuell durch eine unzureichende Dokumentation von Modellen eingeschränkt (QUIROGA 2011). Informationsverlust und damit verbundene negative Auswirkungen auf die Produktivität und Effizienz in der Produktentwicklung sind die Folge (CONWAY & ION 2013). Unvollständig dokumentierte Informationen führen dazu, dass bereits bestehende Ergebnisse von den Entwicklern neu interpretiert werden müssen (KUNZ 2004, S. 25). Als Konsequenz entsteht ein erhöhter Zeitaufwand und es wächst die Gefahr, dass Informationen falsch interpretiert werden. Wenn generierte Informationen aus Produktentwicklung, Fertigung und Nutzung des Produktes nicht angemessen dokumentiert werden, können darüber hinaus

kostspielige Fehler wiederholt auftreten (CONWAY & ION 2013). Dies hat zur Folge, dass aufwändig neue Produktmodelle erstellt werden, obwohl geeignete Modelle vorhanden sind. SCHWANKL 2002 (S. 83) weist auf den hohen Zeitaufwand für die Erstellung von Dokumentationen hin. Auf Grund des häufig zeitintensiven Tagesgeschäfts in Produktentwicklungsprozessen fehlt deshalb oft die Kapazität für ausführliche Dokumentationen (BUSBY 1999). Wenn zusätzlich das Wissen darüber fehlt, was dokumentiert werden muss, erfolgt die Dokumentation entweder nur ansatzweise oder gar nicht. CONWAY & ION 2013 heben den Bedarf der schnellen und einfachen Erfassung von Kontext-Informationen parallel zum Entwicklungsprozess hervor. Die Autoren weisen darauf hin, dass aktuelle Unterstützungsansätze lediglich die Erfassung formaler Produktinformationen fokussieren (z. B. Geometrie bzw. Anforderungen) allerdings nicht-formale Informationen und Wissen über das Produkt und den Entwicklungsprozess vernachlässigen (CONWAY & ION 2013). Für Produktmodelle bedeutet dies, dass eine Dokumentation über das Modell an sich – im Sinne einer Beschreibung der Bedeutung der Modellinhalte – erfolgen muss. Zudem müssen das Vorgehen und die Ergebnisse der Modellerstellung und Modellabsicherung dokumentiert werden. Die aktuell unzureichende Dokumentation sowohl der Modellerstellung, des Modells und der Modellanwendung hat zur Folge, dass vorhandene Produktmodelle und darin enthaltene Informationen oftmals nicht weiter genutzt werden können, weil die Nutzbarkeit für den neuen Anwendungsfall nicht beurteilt werden kann.

Diesen Herausforderungen stehen die Herausforderungen auf Seite der Bereitstellung des erforderlichen Wissens gegenüber. Um Wissen für eine Aufgabe nutzen zu können, muss das erforderliche Wissen erfasst und aufbereitet werden (PROBST et al. 2010, S. 28 ff.). Für eine sinnvolle Auswahl des richtigen Produktmodelltyps aus der Vielfalt an vorhandenen Produktmodelltypen ist Wissen über die prinzipiell vorhandenen Produktmodelltypen und deren Eigenschaften erforderlich. Allerdings führt die vorrangig **modellspezifische Schulung** in der heutigen Ingenieurausbildung dazu, dass dieses umfassende Wissen nicht vorhanden ist (HANNAH et al. 2012). Daher stellt eine Unterstützung in der Auswahl des situationsspezifisch passenden Modelltyps ein wesentliches Verbesserungspotential dar (HANNAH et al. 2012). Vorhandene **Wissensquellen** wie beispielsweise Weiterbildungen und Lehrbücher sind meist ebenfalls modellspezifisch und ermöglichen nicht den für ein umfassendes Verständnis erforderlichen Überblick. Lehrbücher beschreiben beispielsweise fachspezifisch einzelne Aspekte der Arbeit mit bestimmten Produktmodelltypen. Das darin enthaltene Wissen ist meist in unstrukturierter, nicht computerinterpretierbarer Form enthalten. Um aus diesen spezifischen und unstrukturierten Wissensquellen das erforderliche modell- und nutzungsübergreifende Verständnis aufzubauen, fehlt allerdings im Tagesgeschäft des Entwicklungsprozesses die nötige Zeit.

Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus der **Unterschiedlichkeit der beteiligten Disziplinen** im Entwicklungsprozess. Wie in der Ausgangssituation beschrieben, wird häufig in interdisziplinären Teams gearbeitet. Entstehende Produktmodelle müssen disziplinübergreifend kommuniziert und ausgetauscht werden. Allerdings können unterschiedliche Vorgehensweisen und Begriffswelten in interdisziplinären Entwicklungsprojekten dabei zu Problemen führen (HELLENBRAND 2013, S. 194). Dies gilt insbesondere bei der Arbeit mit Produktmodellen. Einzelne Disziplinen besitzen ein voneinander abweichendes Verständnis des Modell-Begriffs und haben unterschiedliche Vorstellungen,

welche Bestandteile ein Modell enthält und wie die Erstellung und Absicherung eines Modells durchgeführt wird (KOHN et al. 2013c). Dies kann dazu führen, dass vorhandene Produktmodelle aus anderen Abteilungen bzw. Unternehmen nicht bzw. falsch verstanden werden.

Die Ausführung einer Tätigkeit ist zudem geprägt durch individuelle Erfahrungen und Wissen der einzelnen Mitarbeiter. Die wirkt sich auf die **individuellen Arbeitsweisen** mit Produktmodellen aus. Das Vorgehen zur Erstellung eines Modells variiert wie auch die mentale Fähigkeit zur Arbeit mit einem Modell zwischen einzelnen Individuen. Dies kann dazu führen, dass Modelle nur von deren Ersteller verstanden werden und nicht wieder- bzw. weiterverwendet werden können.

Die genannten Herausforderungen hemmen die Bereitstellung des erforderlichen Wissens und führen zu den beschriebenen Nachteilen im Produktentwicklungsprozess. Denn die aktuell unstrukturierte Erfassung des vorhandenen und Bereitstellung des benötigten Wissens führt dazu, dass der bestehende Wissensbedarf nicht gedeckt wird. Eine strukturierte Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung des für die Arbeit mit Produktmodellen erforderlichen Wissens unter Berücksichtigung der beschriebenen Herausforderungen stellt somit einen Mehrwert in der Produktentwicklung dar.

### 1.3 Zielsetzung

Ausgehend von der Problemstellung ist es das Ziel der Dissertation, die Arbeit mit Produktmodellen in der Produktentwicklung zu verbessern. Dies erfolgt anhand der Bereitstellung einer Produktmodell-Wissensbasis. Die Wissensbasis enthält strukturiert das für die erfolgreiche Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Wissen. Sie kann genutzt werden, um den Entwickler situationspezifisch bei der Arbeit mit Produktmodellen zu unterstützen. Dadurch wird eine effizientere Handhabung von Produktmodellen ermöglicht und damit Entwicklungszeiten und -kosten reduziert. Das folgende Bild 1-3 bettet die Teilziele dieser Arbeit in das Gesamtziel ein.

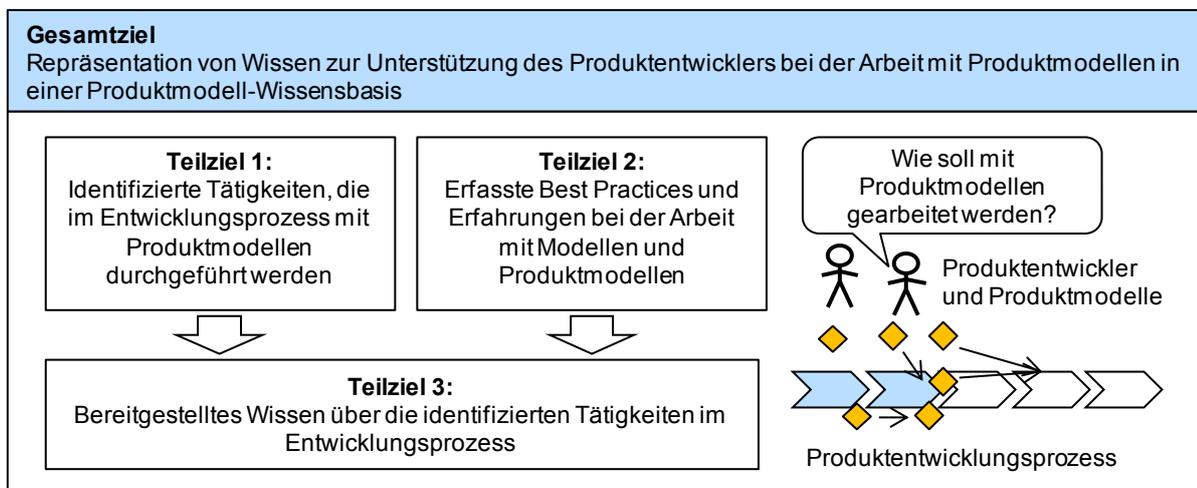


Bild 1-3: Gesamtziel und Zusammenspiel der Teilziele der Arbeit

Die Dissertation verfolgt die Bereitstellung von Wissen zur Unterstützung des Produktentwicklers bei der Arbeit mit Produktmodellen. Dieses Gesamtziel lässt sich in drei Teilziele gliedern. Teilziel 1 beinhaltet die Identifikation und Analyse von Tätigkeiten, die im Entwicklungsprozess mit Produktmodellen durchgeführt werden. Daraus werden der vorhandene Unterstützungsbedarf bei der Arbeit mit Produktmodellen und die Anforderungen an den Lösungsansatz abgeleitet. Das Teilziel 2 beinhaltet die Erfassung von Best Practices und Erfahrungen zur erfolgreichen Arbeit mit Modellen im Allgemeinen und Produktmodellen im Speziellen. So kann ein gewinnbringender Transfer von Erfahrungen, Erkenntnissen und bestehendem Wissen aus anderen Modellanwendungen bzw. Disziplinen ermöglicht werden. Als Resultat werden aktuelle Defizite in der Arbeit mit Produktmodellen, vorhandene Verbesserungsmaßnahmen, Best Practices und Erfahrungen identifiziert. Teilziel 3 integriert die aus den Teilzielen 1 und 2 gewonnene Erkenntnisse in Form von Wissen zur Durchführung der identifizierten Tätigkeiten entsprechend der vorhandenen Anforderungen und bestehenden Defizite.

Aus dem Gesamtziel und den Teilzielen lassen sich die zentralen Forschungsfragen dieser Dissertation wie folgt formulieren:

- Welche Tätigkeiten werden bei der Arbeit mit Produktmodellen durchgeführt?
- Welches Wissen ist für die Arbeit mit Produktmodellen erforderlich?
- Wie kann dieses Wissen erfasst, repräsentiert und bereitgestellt werden?

Der angestrebte industrielle und wissenschaftliche Mehrwert der Ergebnisse leitet sich direkt ab aus den beschriebenen Zielen und der Beantwortung der Forschungsfragen. Die Erfassung und Strukturierung existierenden Wissens über die Arbeit mit Produktmodellen dient sowohl Industrie als auch Forschung. Die Produktmodell-Wissensbasis spannt anhand ihrer Struktur ein mehrdimensionales Ordnungsschema auf, das die Einordnung bestehender Erkenntnisse und Wissen über die Arbeit mit Modellen ermöglicht. Aus Forschungs-Sicht kann sie zur Identifikation von zusätzlichem Forschungsbedarf über die Arbeit mit Produktmodellen genutzt werden. Weiße Felder in diesem Ordnungsschema weisen auf fehlendes Wissen hin. Ebenfalls wird durch die Sammlung und Klassifikation von Produktmodelltypen eine Übersicht über die aktuelle Produktmodelllandschaft ermöglicht.

Aus industrieller Perspektive liegt der Mehrwert in der Nutzung der Ergebnisse zur direkten Unterstützung des Entwicklers. Die Wissensbasis kann im Rahmen eines Knowledge Engineering Projektes genutzt werden, um Arbeitsabläufe zu analysieren und Verbesserungsmaßnahmen zu initiieren. Anwendungsspezifische Wissensbedarfe werden identifiziert, das benötigte Wissen erfasst und zur Verfügung gestellt. Dadurch können Fehler bei der Arbeit mit Produktmodellen vermieden werden. Beispielsweise kann das unzureichende Validieren eines Simulationsmodells zu falschen Ergebniswerten und damit zu falsch getroffenen Entscheidungen führen. Darüber hinaus können Entwicklungsprozesse durch die Bereitstellung und Nutzbarmachung des Wissens verkürzt werden, indem eine verbesserte disziplinübergreifende Kommunikation und Diskussion der genutzten Produktmodelle ermöglicht wird. Ebenfalls können anfallende Kosten gesenkt werden. Denn wenn zum Beispiel nur tatsächlich erforderliche Produktmodelle erstellt werden, kann auf unnötige Produktmodellierungssoftware verzichtet werden und Lizenzkosten werden gespart.

## 1.4 Aufbau der Dissertation

Der Aufbau der Dissertation folgt dem in Bild 1-4 dargestellten Ablauf. Ausgehend von der Einleitung (Kapitel 1) werden die Grundlagen der Arbeit (Kapitel 2) beschrieben. Daraufhin werden der Stand der Technik (Kapitel 3 und 4), die Methodengrundlage (Kapitel 5), der Lösungsansatz (Kapitel 6) und dessen Evaluation (Kapitel 7) aufgezeigt. Die zentralen Ergebnisse werden abschließend zusammengefasst und offene Schritte aufgezeigt (Kapitel 8). Im Anhang (Kapitel 10) werden ergänzende Informationen und Formblätter zu den einzelnen Kapiteln bereitgestellt.

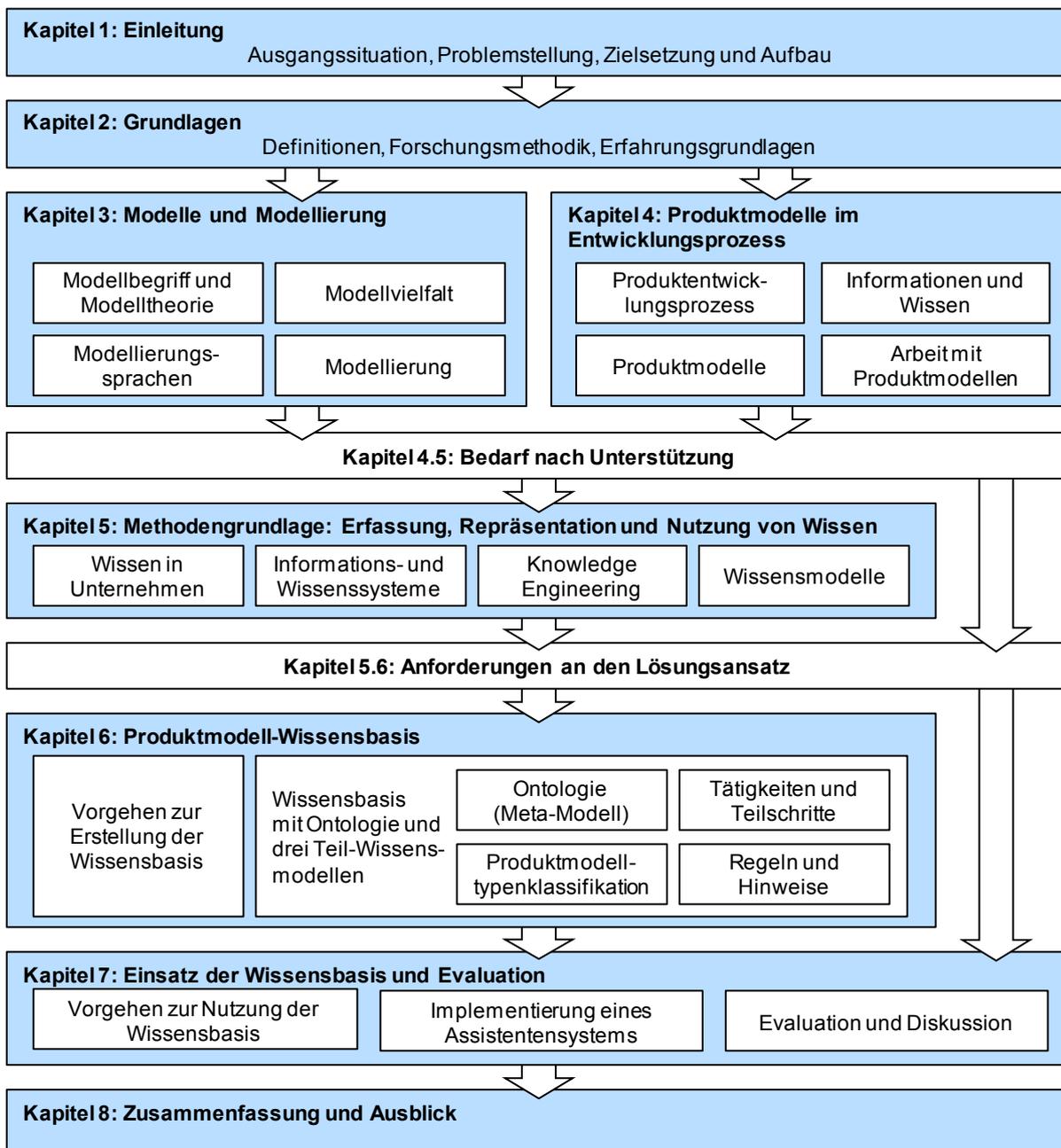


Bild 1-4: Aufbau der Dissertation

In der **Einleitung** werden die Ausgangssituation, die generelle Problemstellung und die konkreten Ziele der vorliegenden Dissertation beschrieben. Die Arbeit mit Produktmodellen im Entwicklungsprozess wird als zentraler Betrachtungsgegenstand hervorgehoben und als Zielstellung die Entwicklung einer Wissensbasis zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen im Entwicklungsprozess mit ihren Teilzielen vorgestellt. Der Aufbau der Dissertation bietet dem Leser den notwendigen Überblick über die einzelnen Kapitel und beschreibt deren inhaltliche und logische Abhängigkeiten.

In **Kapitel 2** werden aufbauend auf der Zielsetzung zunächst die für das Verständnis der vorliegenden Dissertation notwendigen Begrifflichkeiten definiert. Daraufhin wird das Vorgehen zur Erstellung und Evaluation der Arbeit im Rahmen des Forschungsansatzes vorgestellt. Die Design Research Methodology (DRM) nach BLESSING & CHAKRABARTI 2009 dient als Grundlage für das Forschungsvorgehen. Eine kurze Übersicht über für diese Dissertation relevanten Projekte und betreuten Studienarbeiten wird ebenfalls gegeben.

Die theoretischen Grundlagen über Modelle werden in **Kapitel 3** aufgezeigt. Dies bildet die Grundlage für die Beschreibung der Arbeit mit Produktmodellen in Kapitel 4. Dazu wird zunächst der Modellbegriff näher erläutert. Allgemeine Modellattribute werden vorgestellt und die Modellvielfalt anhand beschreibender Attribute transparent gemacht. Erkenntnisse der allgemeinen Modelltheorie nach STACHOWIAK 1973 werden als übergreifender Rahmen zur Beschreibung von Modellen vorgestellt. Darüber hinaus wird der Lebenszyklus eines Modells in seinen einzelnen Teilschritten detailliert.

**Kapitel 4** fokussiert aufbauend auf Kapitel 3 das Produktmodell als eine spezielle Art von Modellen. Das Produktmodell wird als zentrales Hilfsmittel zur Repräsentation von Produktinformationen im Produktentwicklungsprozess vorgestellt und seine Rolle in der Produktentwicklung aufgezeigt. Um Verbesserungsbedarfe abzuleiten, werden aktuell vorhandene Methoden, Werkzeuge und Hilfsmittel zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen beschrieben. Zusammenfassend wird aus Kapitel 3 und 4 der Bedarf nach der Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen in Kapitel 4.5 abgeleitet.

Der identifizierte Bedarf wird durch die Entwicklung einer Wissensbasis zur Erfassung und Bereitstellung des für die Arbeit mit Produktmodellen erforderlichen Wissens gedeckt. Deshalb werden in **Kapitel 5** die notwendigen Methodengrundlagen über Wissensmodellierung und wissensbasierte Systeme vorgestellt. Es erfolgt die Definition der Begriffe im Umfeld des Wissensmanagements und die Vorstellung von aktuellen Methoden und Werkzeugen des Knowledge Engineerings zur Erfassung, Strukturierung und Bereitstellung von Wissen. Als Schlussfolgerung aus Kapitel 4 und 5 werden Anforderungen an den Lösungsansatz in Kapitel 5.6 formuliert.

Die formulierten Anforderungen bilden die Grundlage für die Entwicklung der Produktmodell-Wissensbasis in **Kapitel 6**. Das Vorgehen zur Erstellung der Wissensbasis wird beschrieben. Ein Rahmenwerk ermöglicht die Zusammenführung des erforderlichen Wissens aus unterschiedlichen Quellen. Daraufhin wird die Wissensbasis als zentrales Ergebnis dieser Dissertation vorgestellt. Die Wissensbasis besteht aus einer Ontologie und drei Teil-Wissensmodellen, in denen das für die Arbeit mit Produktmodellen relevante Wissen strukturiert repräsentiert ist. Die Ontologie bildet das Meta-Modell der Wissensbasis und definiert die erforderlichen Konzepte, deren Merkmale und Relationen. Die Teil-

Wissensmodelle „Tätigkeiten und Teilschritte“, „Regeln und Hinweise“ und „Produktmodelltypen-Klassifikation“ detaillieren darauf aufbauend das benötigte Wissen.

Die Evaluation der Ergebnisse erfolgt in **Kapitel 7**. Die Nutzung der Wissensbasis wird zunächst allgemein beschrieben und daraufhin am Beispiel der Erstellung eines Assistentensystems zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen in einem industriellen Anwendungsfall aufgezeigt. Eine Evaluation des Lösungsansatzes und der entwickelten Wissensbasis hinsichtlich der gestellten Anforderungen offenbart Vor- und Nachteile der Wissensbasis und deren Nutzung. Ebenfalls werden das gewählte Forschungsvorgehen und die erzielten Ergebnisse übergreifend diskutiert.

Abschließend fasst **Kapitel 8** die zentralen Ergebnisse zusammen. Aus den in der Evaluation aufgezeigten Verbesserungspotentialen, der Diskussion und Reflexion der Ergebnisse und des Vorgehens werden in der Zukunft notwendige Schritte als Ausblick dieser Dissertation aufgezeigt.

## 2. Grundlagen

Dieses Kapitel stellt die begrifflichen und methodischen Grundlagen vor. Zunächst werden die zentralen Begriffe aufgezeigt und zueinander in Bezug gesetzt werden. Es erfolgt eine Beschreibung der in dieser Dissertation relevanten Themen- und Forschungsfelder. Zudem werden anhand des Forschungsansatzes die einzelnen Teilschritte aufgezeigt, die zur Ergebniserarbeitung und –evaluation durchgeführt werden. Zuletzt wird eine Übersicht über die zu dieser Dissertation beitragenden Projekte gegeben.

### 2.1 Verwendete Begriffe und deren Interpretation

Die für diese Dissertation wesentlichen Begriffe sind in der folgenden Abbildung (Bild 2-1) aufgezeigt und zueinander in Beziehung gesetzt. Nach DIN 2330 ist ein Begriff eine „(...) gedankliche Zusammenfassung derjenigen Merkmale, die bei Gegenständen als gemeinsame Eigenschaften erkannt werden“ (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2011a, S. 6). Ein Begriff ist demnach eine Denkeinheit, mit der ein bestimmter Gegenstand beschrieben wird. Er ist gekoppelt mit einer Benennung, die der Definition des Gegenstandes eindeutig zugeordnet ist.

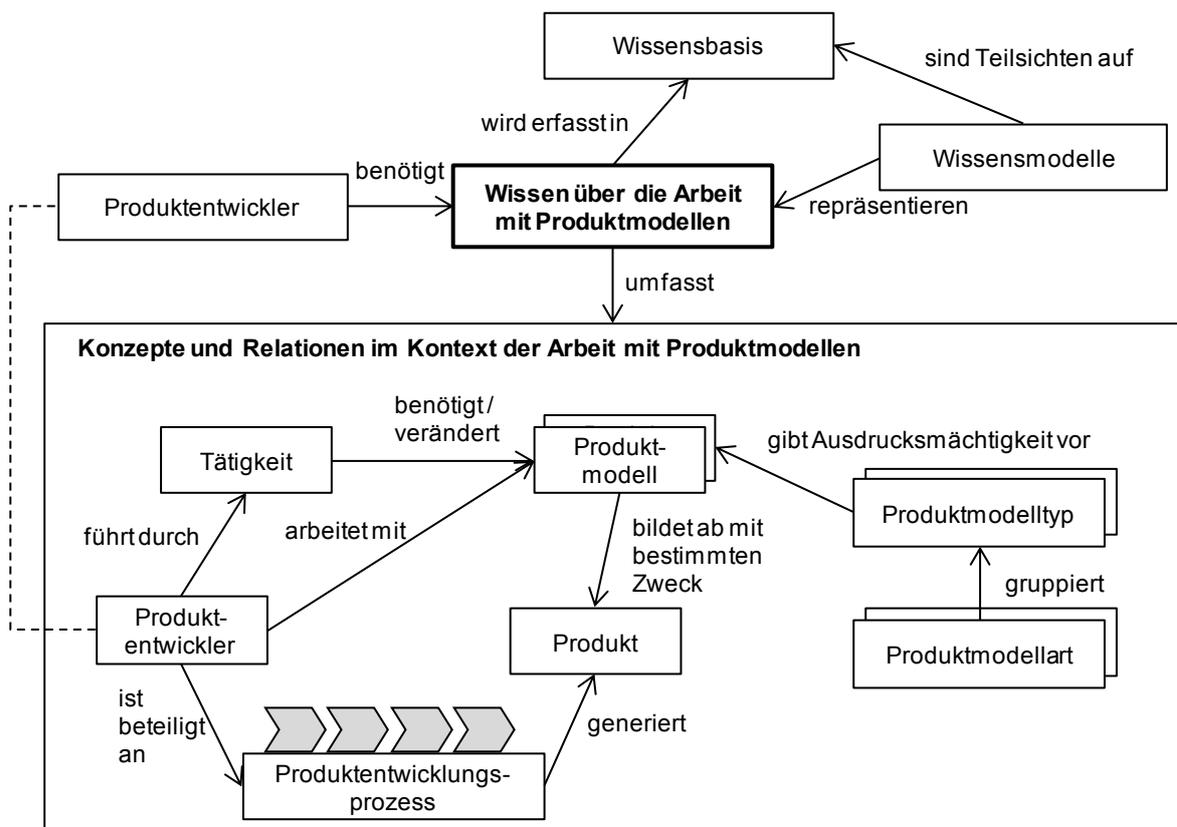


Bild 2-1: Abhängigkeiten der wesentlichen Begriffe der Dissertation

Die in dieser Arbeit verwendeten Begriffsdefinitionen orientieren sich an etablierten Definitionen aus dem Bereich der Produktentwicklung und Produktentwicklungsforschung (in

Anlehnung an LINDEMANN 2009, BIRKHOFFER 2011, PAHL et al. 2007, GAUSEMEIER et al. 2006, EIGNER & STELZER 2009 und EDER & HOSNEDL 2008). Wie in Bild 2-1 dargestellt ist der zentrale Betrachtungsgegenstand dieser Dissertation das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen im Produktentwicklungsprozess. Die Arbeit mit Produktmodellen umfasst all diejenigen Arbeitsschritte im Produktentwicklungsprozess, bei denen der Produktentwickler mit Produktmodellen zu tun hat. Ein Produktmodell ist eine Abbildung eines realen oder gedachten Produktes hinsichtlich eines bestimmten Zwecks (des Modellzwecks). Es ist ein Modell im Sinne der allgemeinen Modelltheorie (STACHOWIAK 1973), das als Original ein Produkt bzw. Teilaspekte des Produktes abbildet. Damit wird das Produktmodell von anderen Modellen wie beispielsweise den Prozess-, Organisations- oder Marktmodellen eindeutig abgegrenzt. Der Produktentwickler kann ein Produktmodell entsprechend des jeweiligen Modellzwecks für die Erreichung unterschiedlicher Ziele im Produktentwicklungsprozess einsetzen. Produktmodelle können extern vorliegen (reales Modell) oder intern in den Köpfen von Menschen (gedankliches Modell) (LINDEMANN 2009, S. 11). Sie können bereits real existierende Produkte oder zukünftige, noch in Planung befindliche Produkte abbilden.

Als Produkte werden in dieser Dissertation technische Produkte betrachtet. Technische Produkte spannen einen Bereich auf von rein mechanischen Produkten bis hin zu mechatronischen Produkten, die mechanische, elektronische und softwaretechnische Komponenten in einem System integrieren (ISERMANN 2007). Technische Produkte lassen sich abgrenzen von Dienstleistungen und von Produkt-Service-Systemen als Kombinationen technischer Produkte und Dienstleistungen (für eine Übersicht zu dem Stand der Technik bezüglich Produkt-Service-Systeme siehe (HEPPERLE 2013)).

Das Produktmodell wird definiert durch seinen Produktmodelltyp. Der Produktmodelltyp gibt die Ausdrucksmächtigkeit vor, anhand derer ein Produktmodell das Produkt beschreiben kann. Er wird bestimmt durch die jeweilige Modellierungssprache, die Semantik, Pragmatik und Syntax der Modellbeschreibung in unterschiedlichen Formalisierungsstufen festlegt. Produktmodelltypen können in Produktmodellarten gruppiert werden. Produktmodellarten fassen Produktmodelltypen zusammen, die hinsichtlich eines oder mehrere Merkmale gleich sind (Beispielsweise gibt es unterschiedliche Typen an CAD-Produktmodellen, die alle der Produktmodellart CAD-Modell angehören).

Der Produktentwicklungsprozess ist ein Teil des Produktlebenszyklus. Er umfasst alle Teilschritte ausgehend von der Idee eines Produktes über Anforderungen, Konstruktion, Simulation, und technische Dokumentation. Die Produktentwicklung kann gegenüber der strategischen Produktplanung und der (Fertigungs-) Prozessplanung abgegrenzt werden (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 27 f.). Die einzelnen Tätigkeiten im Produktentwicklungsprozess können anhand des Münchner Produktkonkretisierungsmodells (MKM) entsprechend ihrer Auswirkungen auf die Entwicklungsergebnisse (d. h. die Produktmodelle) beschrieben werden (PONN & LINDEMANN 2011, S. 26 ff.). Ausgehend von einer unkonkreten und abstrakten Idee wird das Produkt über die Tätigkeiten des Konkretisierens, Abstrahierens, Zerlegens, Zusammenfügens, Variierens und Einschränkens definiert.

Das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen ist das Wissen über diejenigen Tätigkeiten im Produktentwicklungsprozess, für die Produktmodelle benötigt bzw. genutzt werden. Das

Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen wird vom Produktentwickler benötigt, um die jeweiligen Tätigkeiten auszuführen. Das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen wird in dieser Dissertation in einer Wissensbasis erfasst. Die Wissensbasis enthält die für die Durchführung der Arbeit mit Produktmodellen relevanten Wissensartefakte. Das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen wird in einzelnen, miteinander vernetzten Wissensmodellen repräsentiert. Die Wissensmodelle sind somit Teilsichten auf das in der Wissensbasis erfasste Wissen.

## 2.2 Themen- und Forschungsfelder

Zur Erforschung der Arbeit mit Produktmodellen entsprechend der aufgezeigten Zielstellung fließen in diese Dissertation Inhalte und Erkenntnisse aus unterschiedlichen Themen- und Forschungsfeldern ein.

Die folgende Abbildung (Bild 2-2) gibt einen schematischen Überblick der wesentlichen Themen- und Forschungsfelder, die für die Schärfung des Problemverständnisses, die Vermittlung der Problemlösungsexpertise und die Evaluation der Ergebnisse in dieser Dissertation Relevanz aufweisen. Einige Themengebiete werden als erforderliche Grundlagen benötigt, um in denjenigen Themengebieten mit hoher Relevanz einen wissenschaftlichen Mehrwert zu ermöglichen.

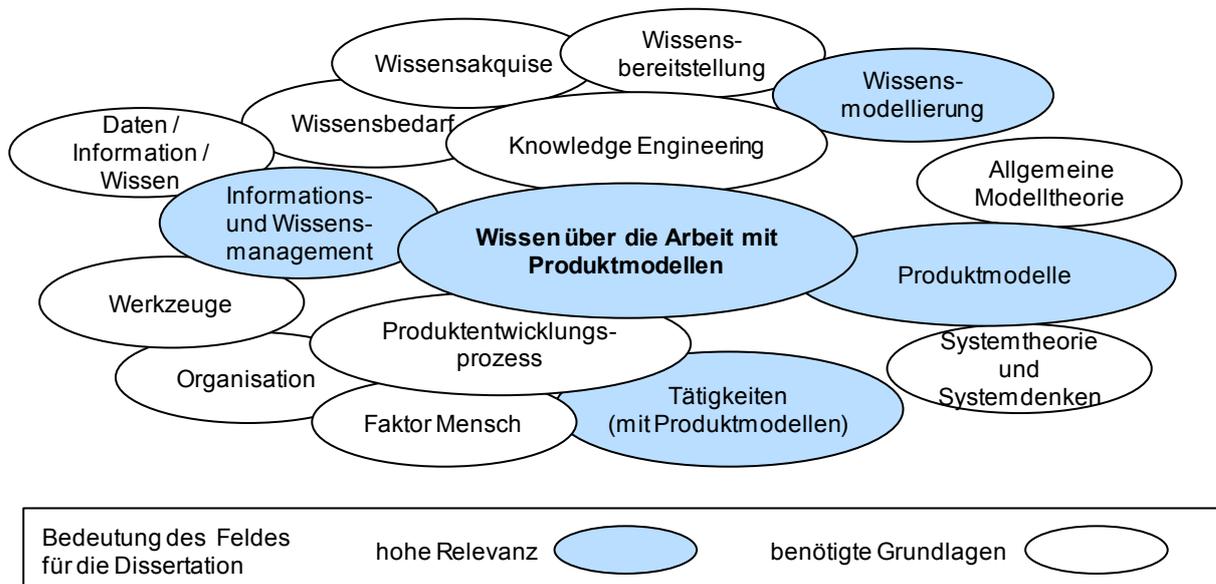


Bild 2-2: Themen- und Forschungsfelder der Dissertation

Bei der angestrebten Verbesserung handelt es sich um eine Unterstützung der Geschäftsprozesse eines Unternehmens unter Anwendung von Methoden und Prinzipien des **Knowledge Engineerings**. Dies beinhaltet die Ermittlung des Bedarfs nach Unterstützung, indem der aktuelle Ist-Stand der Prozesse, d. h. der aktuelle Umgang mit Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen, analysiert wird. Das für die Durchführung der Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Wissen muss akquiriert und in geeigneten Wissensmodellen erfasst und entsprechend den Bedarfen bereitgestellt werden.

Der Betrachtungsgegenstand sind **Produktmodelle** im Entwicklungsprozess. Für die Klärung der erforderlichen Begrifflichkeiten bei der Arbeit mit Modellen, der Erfassung der Produktmodellvielfalt und der Aufschlüsselung unterschiedlicher Produktmodelltypen werden Erkenntnisse aus der allgemeinen Modelltheorie und der Systemtheorie genutzt.

Der **Produktentwicklungsprozess** als zeitlicher Rahmen der Betrachtung beinhaltet Aspekte wie den Faktor Mensch, dessen individuellen Informations- und Wissensbedarf, sowie Produkt- und Organisationseigenschaften. Die Unterstützung erfolgt durch die Bereitstellung des für die erfolgreiche Arbeit mit Produktmodellen erforderlichen Wissens. Besonders wichtig sind hierbei vor allem diejenigen Tätigkeiten, die bei der Arbeit mit Produktmodellen durchgeführt werden.

Erkenntnisse des **Daten-, Informations- und Wissensmanagements** spielen für die Bereitstellung des Wissens und die Integration neu entwickelter Lösungen in bestehenden Informations- und Wissensinfrastrukturen eine entscheidende Rolle. Mögliche bzw. genutzte Werkzeuge zur Unterstützung des Umgangs mit Daten, Informationen und Wissen sind ebenso relevant wie aktuell gelebte Ansätze des Informations- und Wissensmanagements in der Produktentwicklung.

## 2.3 Wissenschaftliche Verortung der Arbeit und Forschungsmethodik

Nach KOTHARI 2012 (S. 8) ist eine Forschungsmethodik ein Vorgehen zur systematischen Erarbeitung eines Forschungsproblems. Sie besteht aus der Kombination von einzelnen Forschungsmethoden und beschreibt und erklärt deren logischen Ablauf (siehe Bild 2-3 für den Ablauf einer allgemeinen Forschungsmethodik).

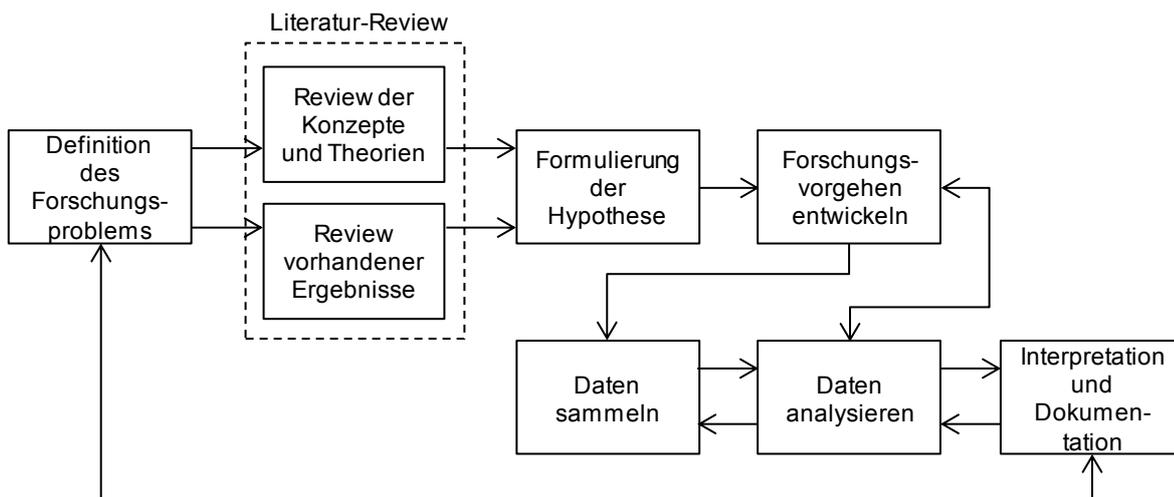


Bild 2-3: Allgemeine Forschungsmethodik (nach KOTHARI 2012, S. 11)

Ausgehend von der Definition des Forschungsproblems erfolgt die Durchführung der aufgezeigten Arbeitsschritte bis hin zur Dokumentation der Ergebnisse. Durch Nutzung einer Forschungsmethodik werden Forschungsergebnisse sowohl durch den Forscher selbst als

auch durch andere besser evaluierbar. In einer Forschungsmethodik werden unter anderem die folgenden zentralen Fragen beantwortet (KOTHARI 2012, S. 8):

- Warum wird das Forschungsprojekt durchgeführt?
- Wie wurde das Forschungsproblem festgelegt?
- Wie und warum wurde die Hypothese formuliert?
- Wie wurde welche Datengrundlage geschaffen und Daten gesammelt?
- Warum wurde eine bestimmte Art der Datenanalyse genutzt und wie wurden Methoden angepasst?

Forschungsmethoden können in den einzelnen Abschnitten der Forschungsmethodik genutzt werden, z. B. für die Sammlung von erforderlichen Daten bzw. Informationen, die Auswertung der Informationen und die Generierung und Evaluation der Ergebnisse. Die Literatur stellt eine Vielzahl unterschiedliche Arten von Methoden bereit, wie Informationen über den Betrachtungsgegenstand gesammelt werden können (z. B. Interviews, Beobachtung, Laborversuche etc.) und wie Informationen analysiert und ausgewertet werden (z. B. statistische Untersuchungen, Modellbildung, etc.) (siehe MILES & HUBERMAN 1994). Literaturbasierte Studien dienen beispielsweise dazu, einen breiten Überblick über bestehende Arbeit zu gewinnen. Feldforschung ermöglicht einen direkten Einblick in die praktische Anwendung. Dagegen bieten Laboruntersuchungen den Vorteil, Experimente unter kontrollierten Rahmenbedingungen durchführen zu können (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 255). Auch Mischversionen dieser Varianten sind möglich.

Forschung im Bereich der Produktentwicklung legt den Fokus auf die wissenschaftliche Betrachtung der Prozesse und Ergebnisse in der Produktentwicklung (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 2 ff.). Produktentwicklungsforschung verfolgt generell die beiden Ziele der Generierung von Verständnis und der Entwicklung von Unterstützung in der Produktentwicklung (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 5). Produktentwicklungsforschung unterscheidet sich von anderen wissenschaftlichen Disziplinen vor allem im nahen Praxisbezug und der Abhängigkeit der Produktentwicklungsforschung von der praktischen Anwendung und Anwendbarkeit der Ergebnisse (BIGGS & BÜCHLER 2007). Dieser Unterschied kann eine Anpassung der wissenschaftlichen Qualitätskriterien in der Produktentwicklungsforschung im Vergleich zu etablierten Wissenschaftszweigen erforderlich machen (BIGGS & BÜCHLER 2007). CROSS 2007 gibt einen Überblick über die Entwicklung der „Design“-Forschung der vergangenen 40 Jahre. Er weist auf die Herausforderungen hin, die aus den schwierigen Rahmenbedingungen entstehen und die dazu führen, dass Standard-Forschungsmethoden oftmals nicht anwendbar sind. Vor allem Zeit- und Kostendruck im Entwicklungsalltag hemmen einerseits den Zugang zu benötigten Informationen, da die Zeit zur Durchführung von Interviews oftmals knapp ist. Andererseits können Ergebnisse selten vollständig evaluiert werden, da diese noch nicht den für einen akzeptablen Einsatz in der Industrie erforderlichen Reifegrad aufweisen. Vor allem bei werkzeugunterstützten Methoden (z. B. durch IT-Tools) stellt die Evaluation eine besondere Herausforderung dar, da Ingenieure als zukünftige Anwender voll funktionsfähige, hochwertige Software aus ihrem Arbeitsalltag gewöhnt sind (BRACEWELL et al. 2008).

Im Bereich der Produktentwicklungsforschung haben sich spezifische Forschungsmethodiken etabliert, die den besonderen Herausforderungen der Forschung in der Produktentwicklung

gerecht werden. Eine Übersicht über verschiedene Methodiken kann BLESSING & CHAKRABARTI 2009 (S. 38 ff.) bzw. MACGREGOR 2003 entnommen werden. Als eine etablierte Methodik hat sich die Design Research Methodology (DRM) nach BLESSING & CHAKRABARTI 2009 durchgesetzt. Sie berücksichtigt die oben erwähnten Herausforderungen und stellt eine Sammlung von für die Produktentwicklungsforschung relevanten Methoden zusammen. DRM gliedert das Forschungsvorgehen in insgesamt 4 Teilschritte (siehe Bild 2-4). Wie in jeder Methodik sind Anpassungen und Ergänzungen entsprechend den individuellen Bedarfen eines Forschungsprojektes möglich und erforderlich. BLESSING & CHAKRABARTI 2009 (S. 18 und S. 61) nennen sieben unterschiedliche Typen von Forschungsprojekten, die sich in den durchlaufenen Stufen und der jeweiligen Intensität der Bearbeitung der einzelnen Stufen (literaturbasiert, initial oder umfassend) unterscheiden.

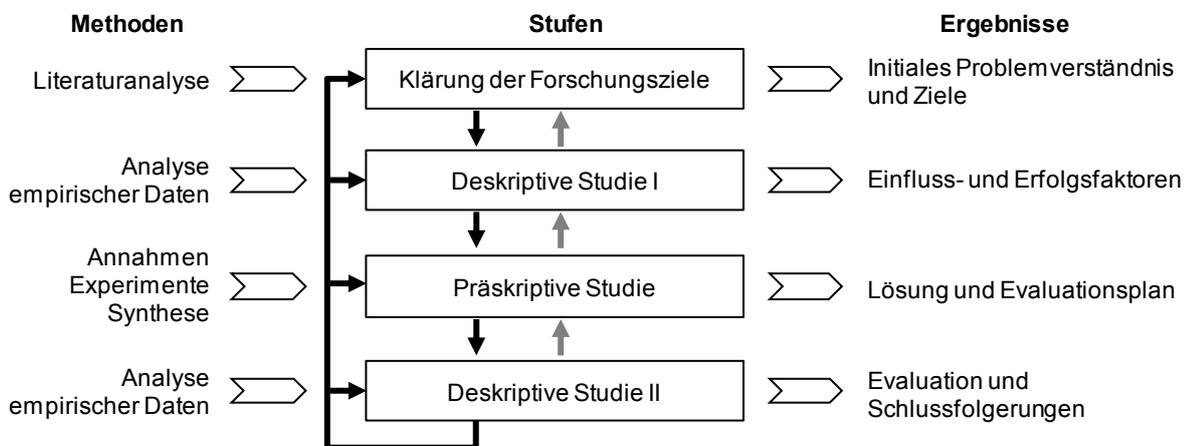


Bild 2-4: Vier Stufen der Design Research Methodology (DRM) nach BLESSING & CHAKRABARTI 2009

Die vorliegende Dissertation orientiert sich an dem Forschungsprojekttyp fünf der DRM (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 60 f.). Darin wird eine Unterstützung anhand eines detaillierten Verständnisaufbaus der aktuellen Ausgangslage entwickelt und initial evaluiert. Dieser Forschungstyp wird gewählt, da eine konkrete Unterstützung in der Arbeit mit Produktmodellen erzielt werden soll, das Verständnis über die Ausgangslage bezüglich der Arbeit mit Produktmodellen allerdings noch unvollständig ist. In den folgenden Abschnitten wird kurz auf die wesentlichen Tätigkeiten und Ergebnisse dieser Arbeit entsprechend den einzelnen Stufen der DRM eingegangen.

Die **Klärung der Forschungsziele (RC = Research Clarification)** erfolgt erfahrungs- und literaturbasiert und zeigt den Bedarf nach Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen auf. Die Erfahrung resultiert aus den durch den Autor bearbeiteten Projekten (siehe folgendes Kapitel 2.4). Als Ergebnis entsteht die in Kapitel 2.2 aufgezeigte Abgrenzung des Forschungsvorhabens und die Definition der wesentlichen Betrachtungsgegenstände und Ziele (wie in Kapitel 1.3 beschrieben).

Die **deskriptive Studie I (DS I)** wird einerseits anhand einer Literaturanalyse und andererseits basierend auf Untersuchungen in der Industrie durchgeführt. Die Literaturanalyse gliedert sich in drei wesentliche Aspekte. Um das theoretische Fundament für eine

erfolgreiche Arbeit mit Produktmodellen zu legen wird zunächst das Verständnis über die Arbeit mit Modellen im Allgemeinen vermittelt (siehe Kapitel 3). Darauf aufbauend erfolgt die literaturbasierte Analyse des aktuellen Stands der Technik der Arbeit mit Produktmodellen (dargestellt in Kapitel 4). Als erstes Zwischenresultat der deskriptiven Studie I werden die Bedarfe der Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen erarbeitet. Als dritter Bestandteil der deskriptiven Studie I wird die Methodengrundlage für die Entwicklung des Lösungsansatzes geschaffen. Da Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen transportiert und vermittelt werden soll, wird eine Literaturrecherche bezüglich Informationsbedarf und Wissensbereitstellung im Forschungsfeld des Knowledge Engineerings durchgeführt (siehe Kapitel 5). Möglichkeiten der Nutzung von Ansätzen des Informationsmanagement und wissensbasierte Systeme werden analysiert und Methoden zur Unterstützung von Knowledge Engineering Projekten aufgezeigt. Als Ergebnis der deskriptiven Studie I werden Anforderungen an die wissensbasierte Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen formuliert und somit die Erfolgsfaktoren der Lösung festgelegt (siehe Kapitel 5.6).

Die **präskriptive Studie (PS)** wird umfassend durchgeführt und ein vollständiger Lösungsvorschlag für eine Wissensbasis zur Abbildung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen vorgestellt (Kapitel 6). Die Lösungsgenerierung erfolgt basierend auf etablierten Methoden der Entwicklung von Wissensmodellen. In den Fallstudien und der Literaturanalyse gewonnene Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Erstellung der Wissensbasis. In der präskriptiven Studie wird vorliegendes Wissen über die erfolgreiche Arbeit mit Modellen aus Literaturquellen analysiert und in die erstellte Wissensbasis überführt. Einzelne Teil-Wissensmodelle repräsentieren Teilaspekte des Wissens und machen es für die Nutzung verfügbar.

Die Evaluation im Rahmen der **deskriptiven Studie II (DS II)** erfolgt initial und zeigt weitere Möglichkeiten der Ergebnisnutzung in der Praxis auf. Der Fokus der Evaluation liegt auf der Anwendung der Wissensbasis (Kapitel 7). In einer Fallstudie werden zunächst Bedarfe an die anwendungsspezifische Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen ermittelt. Unter Nutzung der Wissensbasis wird ein Assistentensystem zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen entwickelt. Sowohl die Anwendung der Wissensbasis zur Bereitstellung des erforderlichen Wissens als auch die Nutzung des Assistentensystems zur Unterstützung werden in der deskriptiven Studie II evaluiert.

## 2.4 Beitrag einzelner Projekte zum Forschungsvorhaben

Die in der vorliegenden Dissertation dargestellten Ergebnisse sind im Zusammenspiel mehrerer Einzelprojekte entstanden. In der folgenden Tabelle 1 sind die Projekte mit einer kurzen Beschreibung der wesentlichen Inhalte und den zentralen Veröffentlichungen bzw. entstandenen Studienarbeiten aufgeführt. Ihre Bedeutung anhand ihres Beitrags in den einzelnen Phasen der DRM ist angegeben und wird weiter unten detailliert beschrieben.

Tabelle 1 Beitrag der Projekte zum Forschungsvorgehen

Nr.	Projekt und zentraler Inhalt	Beitrag in DRM	Zentrale Publikation / Studienarbeit
<i>Forschungsprojekte</i>			
1	PROCESSUS: Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Suche nach technischen Lösungen	RC	KOHN et al. 2010; KOHN & LINDEMANN 2011; KOHN et al. 2011
2	SFB 768 Teilprojekt A2 – Strukturbasierte Modellierung und Analyse disziplinübergreifender Entwicklungszusammenhänge	RC, DS I, PS	KOHN et al. 2012; KOHN et al. 2013b; KASPEREK et al. 2013
3	SFB 768 Arbeitskreis Modell- und Prozessentwicklung – transdisziplinäre Abstimmung und Kopplung einzelner Teilmodelle der Entwicklung von Produkt-Service-Systemen	RC, DS I, PS, DS II	KOHN et al. 2013c
4	Energiemanagement im Kraftfahrzeug – Bewertung des Energiebedarfs elektrifizierter Komponenten im Antriebsstrang	PS, DS I, DS II	KORTLER et al. 2013b
5	Forschungsgruppe Systems Engineering – Diskussion und Erstellung von angewandten Methoden des Systems Engineering in der Produktentwicklung	RC, PS	KOHN & LINDEMANN 2009; KOHN & LINDEMANN 2010
<i>Forschungsprojekte in Begleitung von Studienarbeiten</i>			
6	Informationsvisualisierung in der Montageabsicherung – Nutzung von VR-Techniken zur Vermittlung absicherungsrelevanter Informationen	DS I	PRODUKTENTWICKLUNG 2012b; SPÄTH et al. 2012
7	Entwicklung einer elektrischen Rückfahrlilfe im Motorrad und Analyse der Produktmodellnutzung	DS I, DS II	PRODUKTENTWICKLUNG 2013a; KOHN et al. 2013a
8	3D-Visualisierung fertigungsrelevanter Informationen – Entwicklung einer Methode zur Transformation von Informationen aus der technischen Zeichnung in 3D-CAD-Modelle	DS I	PRODUKTENTWICKLUNG 2013b
9	Prozessverbesserung in der Entwicklung variantenreicher Produkte – Analyse und Verbesserung der Informationsnutzung in der Produktabsicherung	DS I	PRODUKTENTWICKLUNG 2012a
10	Evaluation des Einsatzes semantischer Technologien zum Management von Lösungswissen	RC	PRODUKTENTWICKLUNG 2010
11	E-Kart: Entwicklung eines elektrischen Go-Karts in einem Team von insgesamt 10 Studenten	RC	Diverse Studienarbeiten, siehe LAUER 2010
12	Aufbereitung und Präsentation von CATIA-Anwendungswissen in einem Wiki-System	RC	PRODUKTENTWICKLUNG 2009
13	Untersuchung des Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung	PS, DS I	PRODUKTENTWICKLUNG 2011a; KOHN et al. 2012
14	Übertragung von Informationen zwischen Produktmodellen bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen	PS, DS I	PRODUKTENTWICKLUNG 2011; KOHN et al. 2012
15	Entwicklung eines Assistentensystems zur Unterstützung der projektspezifischen Arbeit mit Produktmodellen	PS, DS II	PRODUKTENTWICKLUNG 2013; KOHN et al. 2013a
RC = Research Clarification; DS I = deskriptive Studie I; PS = präskriptive Studie; DS II = deskriptive Studie II			

In der Phase „Klärung der Forschungsziele“ werden sieben Projekte als **Erfahrungsgrundlage** genutzt, um die Forschungslücke und den Forschungsbedarf zu erkennen (Projekte 1, 2, 3, 5, 10, 11, 12). Sie sind alle in den Themenfeldern des Wissens- und Informationsmanagements in der Produktentwicklung angesiedelt. Besonders hervorzuheben das Forschungsprojekt PROCESSUS und die darin gesammelten Erfahrungen

im Bereich der Wissensmodellierung, Wissensakquise und Evaluation von wissensintensiven Systemen. Als Teil des THESEUS-Projektes<sup>1</sup> stand die Entwicklung eines Software-Systems zur Unterstützung der Suche nach technischen Lösungen im Vordergrund dieses Projektes. Eine Wissensbasis zur Erfassung des erforderlichen Wissens über technische Lösungen wurde darin entwickelt, in eine Software integriert und im industriellen Umfeld getestet. Ebenfalls trugen die in diesen Projekten gesammelten Erfahrungen dazu bei, die **Lösungskompetenz** für die erfolgreiche Entwicklung der Wissensbasis zu erlangen.

Insgesamt neun Projekte dienten nach der Formulierung des Forschungsbedarfs für die Ermittlung des **Unterstützungsbedarfs** und der **Erfolgsfaktoren** in der deskriptiven Studie I (Projekte 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 13 und 14). Fallstudien in der Industrie, Expertenbefragungen und Workshops lieferten die erforderliche Datengrundlage und dienten in diesen Projekten zur Schärfung des Problemverständnisses.

Zur **Lösungserarbeitung** in der präskriptiven Studie trugen sechs Projekte bei (Projekte 2, 3, 4, 13, 14, 15). Als zentrales Projekt ist der Sonderforschungsbereich 768<sup>2</sup> hervorzuheben. In dessen zweiten Förderphase steht die Modellierung sowohl der Entwicklungsprozesse eines Produkt-Service-Systems, als auch die Modellierung der entstehenden Produkt-Service-Systeme im Vordergrund. Im Arbeitskreis Modell- und Prozessentwicklung wurden Maßnahmen zur Unterstützung der interdisziplinären kooperativen Modellierung erarbeitet und evaluiert (KOHN et al. 2013c). Des Weiteren sind die entstandene Sammlung und Klassifikation von Produktmodelltypen und die literaturbasierte Recherche zur Identifikation von Wissen über erfolgreiche Arbeit mit Modellen Teil dieser Projekte.

Schließlich wurden gezielt vier Projekte zur **Evaluation** der Ergebnisse und zur Reflexion der Anforderungen im Rahmen der deskriptiven Studie II genutzt (Projekte 3, 4, 7 und 15). Dabei dient ein Projekt zur Entwicklung einer Rückfahrhilfe für Motorräder (Projekt 7) als zentrales Evaluationsbeispiel in dieser Dissertation.

---

<sup>1</sup> Das Forschungsprogramm THESEUS wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) initiiert mit dem Ziel, eine neue internetbasierte Wissensinfrastruktur zu entwickeln. Für weitere Informationen siehe <http://theseus-programm.de/>

<sup>2</sup> Der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Sonderforschungsbereich 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen“ widmet sich der Verbesserung von Innovationsprozessen integrierter Sach- und Dienstleistungen. Für weitere Informationen siehe <http://www.sfb768.tum.de/>



### 3. Modelle und Modellierung

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, was Modelle im Allgemeinen sind und wie sie in unterschiedlichen Anwendungsfällen und Anwendungsgebieten genutzt werden. Insbesondere findet eine Klärung der im Kontext von Modellen relevanten Begrifflichkeiten statt. Als Ausgangspunkt dienen Modelldefinitionen aus verschiedenen Anwendungsgebieten. Daran werden Unterscheidungsmerkmale von Modellen aufgezeigt. Erkenntnisse der allgemeinen Modelltheorie und Systemtheorie werden genutzt, um diese Unterschiede in ein gemeinsames Verständnis zusammenzufassen. Ebenfalls werden Möglichkeiten der Repräsentation von Modellen in Modellierungssprachen beschrieben und der Lebenszyklus von Modellen aufgezeigt.

#### 3.1 Modellbegriff und die allgemeine Modelltheorie

Der Begriff des Modells lässt sich aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten<sup>3</sup>. Eine allgemeine Begriffsbeschreibung findet sich im Duden (DUDEN 2013b). Dort werden dem Begriff des Modells unterschiedliche Interpretationen entsprechend dem jeweiligen Betrachtungsbereich zugeordnet. Die folgende Tabelle 2 gibt hierzu eine Übersicht.

Tabelle 2: Definitionen des Modellbegriffs aus unterschiedlichen Bereichen (nach DUDEN 2013b)

Nr.	Bereich	Definition
1	Allgemein, Technik	Form, Beschaffenheit, Maßverhältnisse (3-dimensionale) veranschaulichende Ausführung eines vorhandenen oder noch zu schaffenden Gegenstandes in bestimmtem (besonders verkleinerndem) Maßstab.
2	Bildende Kunst, Technik	Muster, Entwurf einer Plastik, eines technischen o. ä., durch Guss herzustellenden Gegenstandes, nach dem die Guss- bzw. Gipsform hergestellt wird.
3	Wissenschaft	Objekt, Gebilde, das die inneren Beziehungen und Funktionen von etwas abbildet bzw. (schematisch) veranschaulicht (und vereinfacht, idealisiert).
4	Mathematische Logik	Interpretation eines Axiomensystems, nach der alle Axiome des Systems wahre Aussagen sind.
5	Bildende Kunst	Als Gegenstand der bildnerischen, künstlerischen o. ä. Darstellung oder Gestaltung benutztes Objekt, Lebewesen usw.
6	Fertigung	Entwurf, Muster, Vorlage für die (serienweise) Herstellung von etwas.
7	Markt	Typ bzw. Art der Ausführung eines Fabrikats.
8	Rechtssprache	Durch Gesetz urheberrechtlich geschützte Gestaltungsform eines Gebrauchsgegenstandes.
9	Mode	[Kleidungs]stück, das eine Einzelanfertigung ist (und ungefähr als Muster, Vorlage oder Anhaltspunkt für die serienweise Herstellung bzw. Konfektion dienen kann).
10	Bildungssprachlich	Etwas, was (durch den Grad seiner Perfektion, Vorbildlichkeit o. Ä.) für anderes oder für andere Vorbild, Beispiel, Muster sein kann.
11	Technik	Eine vereinfachte, oftmals mathematische Darstellung eines Systems oder Prozesses, um Berechnungen und Prognosen durchzuführen.

---

<sup>3</sup> Für eine wortgeschichtliche und kulturtechnische Betrachtung des Modellbegriffs wird auf THOMAS 2002 (S. 22 ff.) verwiesen.

Die Definitionen unterscheiden sich bezüglich „was“ ein Modell ist. Demnach kann ein Modell eine „Ausführung“, eine „Plastik“, ein „Entwurf“, eine „Interpretation“, ein „Gestaltungsform“, ein „Stück“, ein Lebewesen bzw. allgemein „etwas“ sein (DUDEN 2013b). Spezifiziert werden die einzelnen Definitionen durch das, was mit dem Modell getan wird bzw. womit das Modell in Bezug steht und wie dieser Bezug gestaltet ist.

Die Vielfalt an Definitionen in Abhängigkeit von dem jeweiligen Bereich zeigt einerseits, dass Modelle in unterschiedlichen Bereichen für unterschiedliche Zwecke genutzt werden. Andererseits liegt in der Vielfalt an Definitionen und Interpretationsmöglichkeiten bereits die erste Herausforderung bei der Arbeit mit Modellen. Sie besteht in der Vermeidung von Missverständnissen, die in der Zusammenarbeit von Personen mit unterschiedlichen Modellverständnissen entstehen können.

In dieser Dissertation liegt der Fokus auf den technischen Bereichen – d. h. die Definitionen 1, 2, 3, 4, 6 und 11 in Tabelle 2 weisen besondere Relevanz auf. Das Bewusstsein über die Existenz der anderen Definitionen ist allerdings wichtig, da dadurch die angesprochenen Missverständnisse antizipiert und vermieden werden können. Wird der Fokus auf Modelldefinitionen aus technischen Bereichen gelegt, zeigt sich ebenfalls eine stark heterogene Interpretation des Begriffes. Auch hier gibt es auf Grund der Vielfalt an möglichen Interpretationen zahlreiche Definitionen des Modellbegriffs.

Einige Modelldefinitionen mit technischem Hintergrund sind exemplarisch in Tabelle 3 und Tabelle 4 aufgelistet. Die unterschiedlichen Interpretationen werden im Folgenden diskutiert.

Tabelle 3: Definitionen des Modellbegriffs in technischen Bereichen (Teil 1)

Bereich	Definition
Produktentwicklung	„Ein Modell ist ein gegenüber einem Original zweckorientiert vereinfachtes, gedankliches oder stoffliches Gebilde, das Analogien zu diesem Original aufweist und so bestimmte Rückschlüsse auf das Original zulässt.“ (LINDEMANN 2009, S. 333)
Produktentwicklung	„Ein Modell ist ein standardisiertes System, welches einen ganz speziellen Sachverhalt abbildet. Ein solches Modell ist immer eine unvollständige Abstraktion der Wirklichkeit.“ (SCHULZ 2008 S. 40)
Produktentwicklung	„In einem Modell wird der unübersichtliche Gegenstand abstrahiert, so dass er besser verstanden und bearbeitet werden kann. Dementsprechend sind Modelle zweckorientiert und trennen das für die jeweilige Betrachtung Wesentliche vom Unwesentlichen.“ (EHRENSPIEL 2009, S. 18 f.)
Produktentwicklung	„Ein Modell ist gegenüber einem Objekt ein vereinfachtes, abstrahiertes, gedankliches, programmtechnisches oder stoffliches Gebilde, das Analogien zu diesem Objekt aufweist. Modelle sind zweckorientiert und trennen das für die jeweilige Problematik Wesentliche vom Unwesentlichen. Damit können aus dem Verhalten des Modells Rückschlüsse auf das Objekt gezogen werden.“ (EHRENSPIEL 2009, S. 694)
Engineering Design	“A model is an artifact, which reproduces the properties of an object.” (ANDREASEN 1994, S. 105)
Engineering Design	„A model reproduces properties of an object.“ (BUUR & ANDREASEN 1989)
Leittechnik, Regelungstechnik, Steuerungstechnik	„Ein Modell ist die Abbildung eines Systems oder Prozesses in ein anderes begriffliches oder gegenständliches System, das aufgrund der Anwendung bekannter Gesetzmäßigkeiten, einer Identifikation oder auch getroffener Annahmen gewonnen wird und das System oder den Prozess bezüglich ausgewählter Fragestellungen hinreichend genau abbildet.“ (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1994)

Tabelle 4: Definitionen des Modellbegriffs in technischen Bereichen (Teil 2)

Bereich	Definition
Logistik-, Materialfluss- und Produktion	„Ein Modell ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild.“ (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009)
Rechnergestützte Konstruktion	„Ein Modell ist eine dem Zweck entsprechende und interaktiv beeinflussbare rechnerinterne Beschreibung eines Objektes.“ (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2003)
Simulation	„A model is a representation of an object, system or idea in some form other than itself.“ (SHANNON 1975)
Systems Engineering	„Models (of any kind) are not descriptions of the real world, they are descriptions of ways of thinking about the real world.“ (WILSON 2001, S. 4)
Softwareentwicklung	„Ein Modell ist die Abstrahierung einer Sache, mit dem Zweck sie zu verstehen, bevor sie erstellt wird.“ (RUMBAUGH et al. 1993.)
Informations-technologie	„A model is a purposely abstracted, clear, precise and unambiguous conception.“ (FALKENBERG et al. 1998, S. 56)
Simulation	„A model is a specification for behaviour generation.“ (BIRTA 2007, S. 6)
Simulation	„In its most general guise, a model is a system specification at any of the system knowledge levels“ (ZEIGLER 2000, S. 29)
Systems Engineering	„A model is any incomplete representation of reality, an abstraction.“ (BUEDE 2000, S. 60)
Softwaretechnik	„Ein Modell ist im weitesten Sinne ein Stellvertreter – für das, was verstanden, geschaffen, unternommen oder betrieben werden soll.“ (HESSE & MAYR 2008)

Die meisten der genannten Definitionen aus technischen Bereichen fokussieren sich auf eine bestimmte Anwendung (z. B. zur Simulation) oder der Darstellungsart (z. B. rechnerinterne Modelle). Einige sind dagegen allgemein gefasst und lassen nach wie vor viel Interpretationsspielraum zu. Wie auch bei den Modelldefinitionen aus dem Duden, besteht keine Einheitlichkeit bezüglich dem Inhalt, dem Zweck und der Nutzung der Modelle.

Die Überwindung dieser Heterogenität in der Interpretation des Modellbegriffs wird in der allgemeinen Modelltheorie nach STACHOWIAK 1973 angestrebt. Darin wird eine engere, aber dennoch anwendungsunabhängige Definition des Modellbegriffs beschrieben. Die allgemeine Modelltheorie kann als systematischer Ordnungsversuch des Modellbegriffs gesehen werden, der durch erkenntnispsychologische und wissenschaftstheoretische Erkenntnisse beeinflusst ist (STACHOWIAK 1973). Ein Bestandteil der allgemeinen Modelltheorie ist eine Modelldefinition, die sich auf drei wesentliche Merkmale eines Modells stützt. Dabei handelt es sich um das Abbildungsmerkmal, das Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal. Die folgende Abbildung (Bild 3-1) veranschaulicht die in der Beschreibung der Merkmale verwendeten zentralen Begrifflichkeiten.

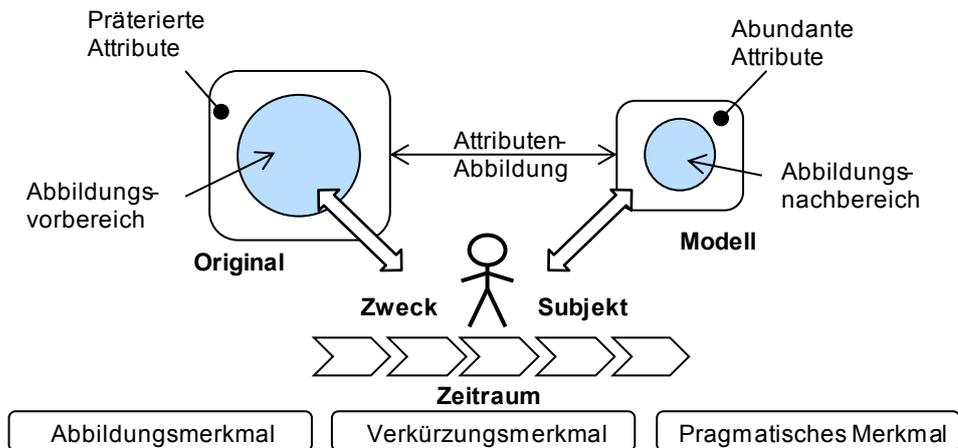


Bild 3-1: Modelldefinition nach der allgemeinen Modelltheorie (in Anlehnung an STACHOWIAK 1973, S. 157)

Das **Abbildungsmerkmal** sagt aus, dass Modelle stets Modelle von etwas sind, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können (STACHOWIAK 1973, S. 131). Stachowiak nimmt keine Einschränkung bezüglich der Herkunft oder Art der Originale vor. Damit kann jedes Objekt aus dem Bereich der Symbole, der Vorstellungen oder der physischen Wirklichkeit als Original für Modelle dienen. Originale und Modelle werden als „Attributklassen“ verstanden – d. h. allen Originalen und Modellen werden bestimmte, sie erfassbar machende Attribute zugeordnet. Die Attribute spielen eine wesentliche Rolle beim zweiten Merkmal von Modellen – dem Verkürzungsmerkmal.

Das **Verkürzungsmerkmal** bezieht sich auf den Umfang der Abbildung des Originals. Modelle erfassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen (STACHOWIAK 1973, S. 132). Attribute können Merkmale und Eigenschaften von Individuen sein, oder auch Relationen zwischen Individuen, Eigenschaften von Eigenschaften oder Eigenschaften von Relationen. Die im Modell abgebildeten Attribute des Originals stammen aus dem Abbildungsvorbereich und werden im Abbildungsnachbereich des Modells abgebildet. Die Originalattribute können mit einer anderen Bedeutung belegt werden (Transkodierung) oder auch besonders hervorgehoben werden (Kontrastierung). Bestimmte Attribute des Originals werden somit nicht abgebildet (präterierte Attribute). Ebenfalls können zusätzliche, beschreibende Merkmale dem Modell hinzugefügt werden, auch wenn diese kein Äquivalent im Original aufweisen (abundante Attribute). Die Auswahl der abzubildenden Attribute erfordert sowohl Kenntnis über das Original als auch über das Modell. Die Auswahl ist stark verbunden mit dem pragmatischen Aspekt der Modellbildung, der den Grundstein des dritten Merkmals legt.

Das **pragmatische Merkmal** besagt, dass Modelle ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet sind. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen (STACHOWIAK 1973,

S. 132 f.). Mit dem pragmatischen Merkmal werden die ersten beiden Merkmale relativiert. Modelle stellen nicht nur Attributenabbildungen von etwas dar, sondern erfüllen immer einen spezifischen Zweck innerhalb eines Zeitintervalls. Durch Einführung des pragmatischen Merkmals wird Modellen der allumfassende Gültigkeitsbereich abgesprochen.

Für diese Dissertation wird die Modelldefinition in Anlehnung an die von Stachowiak beschriebenen Merkmale zusammenfassend wie folgt übernommen:

*Ein Modell ist eine Abbildung eines Originals. Es repräsentiert die für jemanden in einem Zeitraum hinsichtlich eines bestimmten Zwecks relevanten Attribute des Originals.*

Aus dieser allgemeinen Definition können bereichs- und anwendungsspezifische Definitionen abgeleitet werden. Beispielsweise kann der Zweck eines Modells spezifisch definiert werden, dessen Original oder Nutzung. Das folgende Kapitel zeigt zunächst die Modellvielfalt anhand unterschiedlicher Modellklassifikationen auf. Daraufhin werden einzelne Modellbegriffe anhand ihrer Interpretation entsprechend der allgemeinen Modelltheorie definiert und voneinander abgegrenzt.

## 3.2 Modellvielfalt und Modellklassifikationen

Die im vorigen Kapitel aufgestellte Modelldefinition hebt die wesentlichen Aspekte eines Modells hervor: den Bezug zwischen Modell und Original, die jeweiligen Subjekte, die mit dem Modell arbeiten, den Zweck, den das Modell erfüllen soll und die Gültigkeit des Modells innerhalb bestimmter Parameter. Es gibt allerdings eine Vielfalt an abzubildenden Originalen, Modellzwecken, mit den Modellen arbeitende Subjekte und Zeiträume, in denen Modelle genutzt werden. Dies hat eine Vielfalt an unterschiedlichen Modellen und Modelltypen zur Folge. BANDOW & HOLZMÜLLER 2010 begründen die bestehende Modellvielfalt beispielsweise mit der disziplinspezifischen Ausprägung des jeweiligen Modellzwecks zur Abbildung eines Objektes. Die Modelle können sich hinsichtlich des abgebildeten Originals, der gewählten Art der Darstellung der Modellattribute oder auch des Zwecks der Abbildung unterscheiden. Die Eignung eines Modells für einen bestimmten Anwendungsfall wird wesentlich durch die Eigenheiten des zu lösenden Problems beeinflusst (BIRTA & ARBEZ 2007, S. 4). Dies hat zur Folge, dass kein universelles Modell für jede beliebige Problemstellung eines zugrunde liegenden Systems existiert, sondern viele, für den jeweiligen Anwendungsfall angepasste, Modelle. Dieses Kapitel ermöglicht anhand der Beschreibung bestehender Klassifikationen von Modellen eine Übersicht über die aktuelle Modellvielfalt. Ebenfalls werden unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten der aktuellen Bezeichnungen von Modellen anhand der allgemeinen Modelltheorie aufgezeigt. Dadurch wird das in dieser Dissertation erforderliche Bewusstsein für Unterschiede zwischen einzelnen Modellen geschärft.

### Modellklassifikationen

Um einzelne Modelle bzw. Modelltypen voneinander abzugrenzen und Gemeinsamkeiten zu erkennen, werden in der Literatur unterschiedliche Begriffssysteme vorgeschlagen. Häufig finden sich Modellklassifikationen, in denen Modelle anhand von Merkmalen der Modelle eingeteilt werden (JOKISCH & ROSENDAHL 2010). Eine Klassifikation allgemein ist ein

Begriffssystem zur Einteilung von Gegenständen in Klassen mit einer hierarchischen Ordnung. In einer Klasse sind Gegenstände gruppiert, die unter einen Begriff – den Klassennamen – fallen (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2011b). Eigenschaften der Gegenstände bestimmen die Zuordnung eines Gegenstandes zur jeweiligen Klasse<sup>4</sup>. Anhand von Modellklassifikationen können Modelle nach jeweiligen Merkmalen (den Klassifizierungsmerkmalen) eingeteilt werden.

Ähnlich wie die Vielfalt an Modelldefinitionen gibt es verschiedene Klassifikationen für Modelle, die zum Teil widersprüchlich sind und deren Klassen sich untereinander zum Teil überschneiden. So schreibt beispielsweise KOBLER 2010 (S. 44), dass „der Versuch einer Inventur und einer sinnvollen Kategorisierung (von Modelltypen) angesichts der Vielzahl unterschiedlicher Vorschläge, abweichender Definition und permanent neuer Vorschläge wenig fruchtbar erscheint“. Umfassende Sammlungen von Modellklassifikationen können JOKISCH & ROSENDAHL 2010, HESSE & MAYR 2008 und THOMAS 2002 entnommen werden. Generell kann zwischen bereichsneutralen (keinen direkten Bezug zu einer Fachdisziplin) und fachspezifischen (z. B. betriebswirtschaftliche bzw. ingenieurwissenschaftliche Modelle) Klassifikationen unterschieden werden (JOKISCH & ROSENDAHL 2010). Bereichsneutrale Klassifikationen sind allgemein gehalten und können als übergreifender Rahmen für die Beschreibung und Gegenüberstellung disziplinspezifischer Modelle genutzt werden. Fachspezifische Klassifikationen bilden dagegen eine begrenzte Menge an fach- bzw. disziplinspezifischen Modellen ab und gelten nur innerhalb der jeweiligen Disziplin.

Bild 3-2 zeigt drei wesentliche bereichsneutrale Klassifizierungsmerkmale von Modellen und dazugehörige Ausprägungen. Oben im Bild sind die drei Klassifizierungsmerkmale „Erscheinungsform“, „Verwendungszweck / Grund der Originalrepräsentation“ und „Art der Modelldarstellung“ dargestellt. Die Modelle können den entsprechenden Ausprägungen zugeordnet werden.

Erscheinungsform	Verwendungszweck / Grund der Originalrepräsentation		Art der Modelldarstellung
Explizit	Beschreibungs- & Demonstrationsmodell	Experimentalmodell	2-dimensional / graphisch
Implizit	Gestaltungsmodell	Theoretisches Modell	3-dimensional / technisch
	Operatives Modell	Berechnungsmodell	semantisch / sprachlich

Bild 3-2: Exemplarische Klassifikationsmöglichkeiten von Modellen (Merkmale und Ausprägungen)

<sup>4</sup> Eigenschaften werden in dieser Arbeit entsprechend LINDEMANN 2009 (S. 220) als Kombination von Merkmal und Ausprägung betrachtet. Ein materielles Modell hat beispielsweise die Eigenschaft „Erscheinungsform materiell“. „Erscheinungsform“ ist das Merkmal, „materiell“ ist die Ausprägung.

Eine Klassifikationsmöglichkeit von Modellen ist deren Einteilung entsprechend der Erscheinungsform nach **expliziten** (externen) und **impliziten** (internen) Modellen. Explizit abgebildete Modelle sind externe Modelle, die physisch oder rechnerbasiert greifbar existieren, z. B. Gussformen, Prototypen oder Architekturmodelle. Existiert das Modell nicht physisch oder rechnerbasiert, sondern implizit in den Köpfen von Menschen, so handelt es sich um ein implizites (internes) Modell. Gegenüber expliziten Modellen sind implizite Modelle nur schwer greifbar und stark durch das jeweilige Individuum geprägt. Sie können anhand der Beobachtung des Verhaltens eines Individuums erfasst werden (THOMAS 2002, S. 30). Mentale Modelle sind ein Sonderfall impliziter Modelle. Sie nehmen im Alltag einen besonderen Stellenwert ein, da sie ständig als abstrakte Gedanken vorhanden sind (BUEDE 2000, S. 63). Da der Mensch dazu neigt, bestehende mentale Modelle nicht zu revidieren, kann es bei Abweichungen zwischen Wirklichkeit und mentalen Modellen zu „Wirklichkeitsverzerrung“ kommen (THOMAS 2002, S. 29). Daher müssen sie angesichts einer neuen Problemstellung hinterfragt und hinsichtlich ihrer Gültigkeit bewertet werden (STERMAN 2002).

Darüber hinaus können Modelle anhand ihres Verwendungszwecks bzw. dem Grund der Originalrepräsentation unterschieden werden (THOMAS 2002; STACHOWIAK 1983; HESSE & MAYR 2008; JOKISCH & ROSENDAHL 2010). Die in der Literatur vorgeschlagenen Verwendungszwecke überschneiden sich teilweise und sind oftmals nicht eindeutig definiert. Die in der Abbildung dargestellten Verwendungszwecke basieren auf den in der Literatur erwähnten Klassifikationen, erheben allerdings – wie die bestehenden Klassifikationen auch – keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ein Verwendungszweck von Modellen ist die Nutzung von Modellen zur Dokumentation von Inhalten oder zur Veranschaulichung von Zusammenhängen. Zu diesen **Beschreibungs- bzw. Demonstrationsmodellen** zählen beispielsweise Landkarten, Gebäudepläne oder plastische Modelle von Molekülen. Des Weiteren werden **Experimentalmodelle** zur Ermittlung oder Überprüfung von Hypothesen und der Untersuchung der Auswirkung von Eingangsgrößen auf Ausgangsgrößen eingesetzt. Simulationsmodelle oder physische Funktionsprototypen zählen zu dieser Klasse. **Gestaltungsmodelle** werden zum Zweck der Gestaltung des Aussehens des Originals anhand dessen Abmessungen und Oberflächen eingesetzt. Als Beispiele können CAD-Modelle, Handskizzen und Konstruktionspläne genannt werden. Modellarten wie beispielsweise die Mengenlehre der Mathematik nehmen einen besonderen Stellenwert im Rahmen der **theoretischen mathematischen Modelle** ein. Entscheidungs- und Planungshilfe können **operative Modelle** bieten. Dazu gehören beispielsweise Vorgehensmodelle und Prozesspläne. Zuletzt können **Berechnungsmodelle** wie zum Beispiel das klassische Modell der euklidischen Geometrie zur Berechnung von Sachverhalten unter Anwendung vorgeschriebener Regeln genutzt werden.

Eine alternative Einteilung des Klassifizierungsmerkmals Verwendungszweck kann anhand der Unterscheidung der Ausprägungen in **deskriptiv** und **präskriptiv** erfolgen (HASKINS 2011, S. 151). Deskriptive Modelle beschreiben beispielsweise den Kontext eines Problems, die Struktur, den Inhalt oder das Verhalten eines Systems. Präskriptive Modelle spezifizieren dagegen eine Absicht über ein System anhand benötigter und hinreichender Eigenschaften des Systems zur Erfüllung eines Ziels oder um ein bestimmtes Verhalten zu erzielen (HASKINS 2011, S. 151).

Als dritte bereichsneutrale Klassifikationsmöglichkeit kann die Art der Modelldarstellung genutzt werden. Unter Art der Modelldarstellung ist die Form der Abbildung der Modellattribute gemeint. Die Modellattribute können **graphisch 2-dimensional** beschrieben werden. Bildmodelle wie beispielsweise zweidimensionale Zeichnungen, Darstellungsmodelle wie Diagramme und Darstellungsgraphen aber auch Flussdiagramme zur Visualisierung zeitlicher Abläufe (z. B. Prozessschaubilder) gehören zu dieser Klasse (STACHOWIAK 1983, S. 121). Werden Modellattribute räumlich dargestellt, spricht man von **3-dimensionalen** (technischen) Modellen. Sie sind dreidimensionale, raumzeitlich materiell-energetische Repräsentationen eines Originals (STACHOWIAK 1983, S. 122). Mechanische Modelle wie physische Prototypen oder Anschauungsmodelle zählen hierzu. Die dritte Möglichkeit ist die **semantische Darstellung** von Modellen. STACHOWIAK 1983 (S. 122) definiert diese Klasse als „Zeichenmodelle“ und weist auf die Überschneidungen zu den anderen beiden Klassen dieser Klassifikation hin, da auch bei technischen Modellen und insbesondere bei graphischen Modellen eine Übereinkunft über die Bedeutung der genutzten Darstellung gegeben sein muss. Semantische bzw. sprachliche Modelle sind diejenigen Modelle, die durch eine Sprache beschrieben werden. STACHOWIAK 1983 unterteilt nach internen semantischen Modellen und externen semantischen Modellen, die vor allem als (sprech)-sprachliche Gebilde existieren. In dieser Dissertation werden semantische Modelle als diejenigen Modelle definiert, die in einer Modellierungssprache repräsentiert sind. Als Modellierungssprache kann sowohl die gesprochene Sprache gelten, wie auch alle rechnerbasierten, mehr oder weniger formalisierten Modellierungssprachen. Details zu Modellierungssprachen werden in dem folgenden Kapitel 3.3 beschrieben. Auch Kombinationen zwischen Arten der Modelldarstellungen existieren. Bei „Hardware in the Loop Modellen“ (HiL-Modelle) beispielsweise liegt ein Teil des Modells mechanisch in Form von physischen Modellen vor, das andere semantisch als rechnerinternes Simulationsmodell. Das physische Modell dient als Ergänzung zu den rechnerinternen Modellen (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2004, S. 40; VAJNA et al. 2009, S. 134). Die Kopplung erfolgt über eine geeignete Sensorik und Aktorik.

Die aufgezeigten drei Klassifizierungsmerkmale Erscheinungsform, Verwendungszweck und Art der Modelldarstellung sind nicht unabhängig voneinander. Modelle, die eine bestimmte Art der Darstellung aufweisen, eignen sich besser für einen bestimmten Verwendungszweck als andere. Sprech-sprachliche Beschreibungen sind beispielsweise geeignet für die Beschreibung eines theoretischen Sachverhalts, sind aber für die Durchführung von Experimenten oder die 3-dimensionale Gestaltung von Produkten weniger geeignet. Deshalb ist das Wissen über die Unterschiede und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Modellen und die Auswirkungen hinsichtlich Nutzbarkeit entscheidend für eine erfolgreiche Modellanwendung.

Neben den gezeigten drei Unterscheidungsmerkmalen gibt es wie oben angesprochen noch weitere allgemeine Modellklassifikation. Beispielsweise können Modelle anhand der Art der formalen Darstellung, der Art des Bildbereichs, der Art des Originalsystems, dem Grad der Abdeckung des Originals, dem Grad der Abbildung von Entscheidungsverhalten, der Art der Formulierung und der Kenntnis des Lösungsraums klassifiziert werden (JOKISCH & ROSENDAHL 2010). Auch die Art des modellierten Gegenstands (HESSE & MAYR 2008), die Ähnlichkeit zum Original (THOMAS 2002) und die Art der Modellkonstruktion (STACHOWIAK

1983) können hierzu genutzt werden. Eine Einteilung von Modellen anhand einer Modellklassifikation kann selbst als Modell im Sinne der allgemeinen Modelltheorie aufgefasst werden. Als betrachtetes Original dienen in diesem Fall alle existierenden Modelle. Je nach Intention des Modell(klassifikations)erstellers verfolgen die einzelnen Modellklassifikationen einen bestimmten Zweck und bilden dementsprechend einen bestimmten Ausschnitt des Originals ab. Die Modellklassifikationen unterscheiden sich daher sowohl in den adressierten Merkmalen, als auch im Detaillierungsgrad der Modellunterteilung.

In einzelnen Bereichen der Wissenschaft und Praxis existieren neben den genannten allgemeinen Klassifikationen detailliertere, oftmals fach- bzw. disziplinspezifische Modellklassifikationen eines abgegrenzten Betrachtungsraumes. Beispielsweise gibt es spezifische Klassifikationen für die Einteilung von Simulationsmodellen (BIRTA & ARBEZ 2007), Prozessmodellen (GERICKE & BLESSING 2012; KOBLER 2010; SMITH & MORROW 1999), Funktionsmodellen (EISENBART et al. 2012 bzw. ERDEN et al. 2008), Produktmodellen (BUUR & ANDREASEN 1989 bzw. KOHN et al. 2012) oder auch Wissensmodellen (BRACHMAN & LEVESQUE 2004). Die Anwendung von Klassifizierungsmerkmalen aus einer Disziplin lässt sich selten auf Modelle einer anderen Disziplin oder eines anderen Anwendungsbereichs anwenden. Dies führt zu einer erschwerten disziplinübergreifenden Kommunikation bezüglich der Arbeit mit Modellen und einem erhöhten Bedarf nach Methodiken zur Überwindung der in interdisziplinären Teams entstehenden Probleme bei der Arbeit mit Modellen (KOHN et al. 2013c).

### **Benennung von Modellen und Modellarten**

Die unterschiedlichen Klassifizierungsmöglichkeiten von Modellen finden sich häufig in der Benennung einzelner Modelle bzw. Modellarten wieder. Unter eine Modellart wird in dieser Arbeit eine Gruppe an Modellen verstanden, die mit dem gleichen Oberbegriff bezeichnet werden. Allerdings erfolgt sowohl im alltäglichen Sprachgebrauch als auch in der Literatur die Benennung von Modellarten oftmals inkonsistent.

Zum Beispiel befinden sich in der Gruppe der Produktmodelle all diejenigen Modelle, deren Original ein Produkt ist. Die Bezeichnung „Produktmodell“ weist darauf hin, dass das Original ein Produkt ist. Bei einem Simulationsmodell ist das Original des Modells allerdings keineswegs eine Simulation, sondern die Gruppe wird nach dem Zweck des Modells benannt. Das Original kann im Grunde jedes beliebige System sein, das einer Simulationsstudie unterzogen werden soll.

Diese unterschiedlichen Gruppierungsmöglichkeiten können – vor allem in der interdisziplinären Anwendung – zu Missverständnissen und Fehlern führen. Deshalb wird an dieser Stelle eine kurze Einführung in die aktuelle Sprachwelt der Benennung von Modellen gegeben. Darauf aufbauend werden die für diese Dissertation genutzten Benennungen von Modellarten aufgezeigt und definiert.

Die Namensgebung für Modelle bzw. Modellarten wird an den folgenden drei Begriffen mit zugehörigen Definitionen verdeutlicht (siehe Tabelle 5). Der Begriff „Flugzeugmodell“ beschreibt laut Definition das Modell eines Flugzeugs. Das Flugzeug ist das Original des Modells. Somit sind alle Modelle, die als Original ein Flugzeug aufweisen, Flugzeugmodelle. Auch allgemeinere Begriffe wie Produkt oder Prozess können beispielsweise als Originale

von Modellen dienen. Das „Wachsmodell“ stellt dagegen kein Modell von Wachs dar, sondern wird aus dem Werkstoff Wachs gefertigt. Mit Wachs wird somit die Ausprägung des Modellattributs „Werkstoff“ beschrieben. Das Gussmodell beschreibt weder ein Modell eines Gusses, noch ist das Modell aus Guss gemacht. In diesem Fall wird über den Begriff Gussmodell der Modellzweck transportiert.

Tabelle 5: Benennung von Modellen

Begriff	Definition laut Duden	Interpretation nach allgemeiner Modelltheorie
Flugzeugmodell	Modell eines Flugzeugs	Ein Modell, dessen Original ein Flugzeug ist.
Wachsmodell	Modell aus Wachs	Ein Modell, dessen Modellmerkmal Werkstoff die Ausprägung Wachs zugeordnet wird.
Gussmodell	Modell, mit dessen Hilfe die Gussform hergestellt wird	Ein Modell, dessen Zweck es ist, bei der Herstellung einer Gussform zu helfen.

Das Bewusstsein über diese begrifflichen Falltüren ist für die erfolgreiche Arbeit mit Modellen und die Kommunikation zwischen Personen, die mit Modellen arbeiten unumgänglich. In Tabelle 6 sind die in dieser Dissertation häufig genutzten Bezeichnungen von Modellarten anhand deren Interpretation im Sinne der allgemeinen Modelltheorie definiert.

Tabelle 6: Interpretation wichtiger Modellbegriffe

Begriff	Interpretation nach allgemeiner Modelltheorie
Produktmodell	Ein Modell, dessen Original ein Produkt ist.
Prozessmodell	Ein Modell, dessen Original ein Prozess ist.
Simulationsmodell	Ein Modell, dessen Zweck es ist, für Simulationen eingesetzt zu werden.
CAD-Modell	Ein Modell, das mittels eines CAD-Werkzeugs erstellt bzw. genutzt werden kann.
Wissensmodell	Ein Modell, dessen Zweck es ist, Wissen für einen bestimmten Anwendungsfall abzubilden.
Funktionsmodell	Ein Modell, das spezifisch die funktionalen Attribute eines Originals abbildet.

### 3.3 Repräsentation von Modellen in Modellierungssprachen

Modelle bilden immer ein Original ab. Diese Abbildung kann wie im vorigen Kapitel gezeigt in einem internen oder externen Modell resultieren. Als Zusammenfassung der folgenden Erläuterungen stellt Bild 3-3 den Weg ausgehend von einem Original über ein internes Modell bis zum vorliegenden externen Modell des Originals dar. Um ein externes Modell zu erstellen, muss zunächst ein internes Modell (auch konzeptionelles Modell) vorliegen bzw.

erstellt werden (FALKENBERG et al. 1998, S. 55)<sup>5</sup>. Das interne Modell entsteht durch Wahrnehmung und Interpretation eines Originals durch ein Individuum oder eine Gruppe. Ein externes Modell repräsentiert das interne Modell und macht es in der physischen Welt greifbar (FALKENBERG et al. 1998, S. 55). Die Repräsentation kann anhand physischer Objekte (z. B. aus Holzteilen gefertigter Prototyp) oder einer mehr oder weniger formalisierten Sprache (Modellierungssprache) erfolgen.

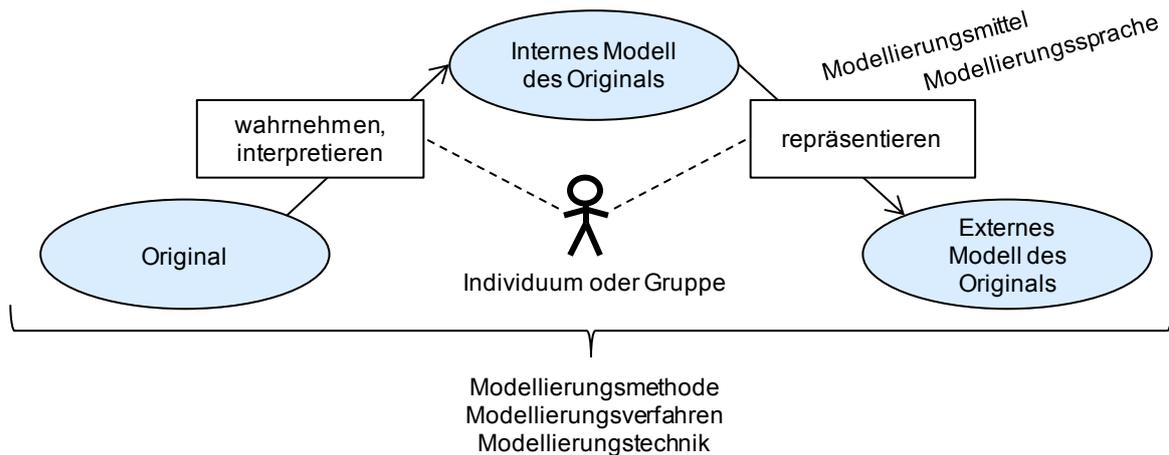


Bild 3-3: Schritte zur Repräsentation eines Originals als externes Modell (in Anlehnung an FALKENBERG et al. 1998 (S. 55 ff.) und BAUERT 1991 (S. 12 f.))

Modellierungssprachen geben bei der Repräsentation des internen Modells einen Rahmen vor, innerhalb dessen das externe Modell erstellt werden kann. Eine Modellierungssprache allgemein ist ein Satz an symbolischen Ausdrücken und bestimmten Regeln über die Kombinationsmöglichkeiten dieser Ausdrücke. Die Regeln können syntaktischer und semantischer Art sein (FALKENBERG et al. 1998, S. 48). Syntaktische Regeln beziehen sich auf die Reihenfolge der Ausdrücke, semantische Regeln auf deren Bedeutung. Häufig sind Modellierungssprachen an ein bestimmtes Modellierungsmittel (Modellierungswerkzeug) gekoppelt.

Modellierungsmittel sind Software, Hardware bzw. alle Hilfsmittel, die zur Aufgabenbearbeitung in der Modellierung genutzt werden (BAUERT 1991, S. 12 f.). Rechnerbasierte Modellierungssoftware im Umfeld der Produktentwicklung sind beispielsweise CATIA von Dassault Systèmes für die Modellierung von 3D CAD-Modellen, Dymola für die Modellierung von Simulationsmodellen oder auch Protégé für die Erstellung von ontologiebasierten Wissensmodellen. Eingabegeräte (Maus, Tastatur, etc.) und

<sup>5</sup> In dem FRISCO ("FRamework of Information System COncepts") Report wird als Ergebnis des gleichnamigen Projektes eine ganzheitliche Definition und Abgrenzung aller Modell-relevanten Begriffe im Bereich der Informationssysteme angestrebt.

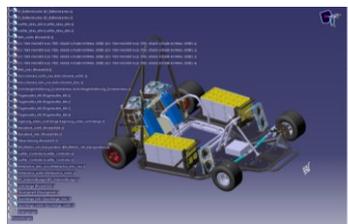
Ausgabegeräte (Monitore, Lautsprecher, etc.) dienen zur Schnittstelle zwischen Mensch und Rechner und unterstützen die Arbeit mit Modellen. Auch nicht-rechnerbasierte Modellierungsmittel (z. B. papierbasiert bzw. prototypenbasiert) werden bei der Arbeit mit Modellen genutzt.

Modellierungsmethoden, Modellierungsverfahren und Modellierungstechniken wirken auf den Ablauf der Wahrnehmung, Interpretation und Repräsentation von Modellen und können die Personen bei der Modellerstellung unterstützen (BAUERT 1991, S. 13). Modellierungsmethoden beschreiben Tätigkeiten und einzelne Teilschritte zum Erreichen eines Modellierungsergebnisses. Die Art und Weise, wie Modellierungsmethoden angewandt werden, wird Modellierungsverfahren bezeichnet. Hierzu kommen individuelle Modellierungstechniken in Form von durch die Erfahrung bei der Systemnutzung erworbene Arbeitsprinzipien des Individuums.

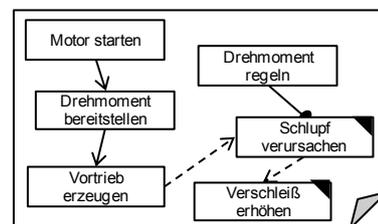
Zur Veranschaulichung des Zusammenspiels zwischen Original und externem Modell des Originals zeigt die folgende Abbildung (Bild 3-4) drei unterschiedliche externe Modelle eines elektrischen GoKarts (für eine Beschreibung dieses Anwendungsbeispiels siehe LAUER 2010, S. 128). Links ist ein fahrfähiger Prototyp des GoKarts dargestellt – also ein 3-dimensionales räumliches Modell. Das 3D-CAD Modell ist eine 2-dimensionale Darstellung des GoKarts. Es wurde unter Nutzung des Modellierungsmittel CATIA V5 erstellt. Das Funktionsmodell kann als Kombination von 2-dimensional graphischer und semantischer Darstellung gesehen werden, da Teilaspekte sowohl graphisch (die Relationen zwischen den Funktionen, Unterscheidung zwischen den Funktionsarten) als auch sprachlich (die Bezeichnung der Funktionen) dargestellt sind.



Fahrfähiger Prototyp



CAD (Computer Aided Design) Modell



Funktionsmodell

Bild 3-4: Unterschiedliche Modelle eines elektrischen GoKarts

### Rechnerbasierte Repräsentation von Modellen

Mit wachsender Bedeutung der Computer nimmt die rechnerbasierte Repräsentation von Modellen einen zunehmenden Stellenwert ein. Modelle müssen nicht mehr physisch erstellt werden, sondern können unter Nutzung einer Modellierungssoftware digital am Rechner erstellt, verwendet und bearbeitet werden.

Die Abbildung (Bild 3-5) zeigt den nachfolgend beschriebenen Zusammenhang zwischen einem Modell, seiner rechnerinternen Repräsentation und der visuellen Darstellung des Modells, um es durch ein Individuum nutzbar zu machen. Für die Arbeit mit rechnerinternen Modellen ist eine Schnittstelle zwischen Rechner und Mensch erforderlich, die eine

Visualisierung der rechnerinternen Informationen ermöglicht. Visualisierung allgemein ist die „visuelle Präsentation von Daten, Informationen und Wissen in einer für den Menschen adäquaten und für die jeweilige Anwendung in diesem Kontext sinnvollen Form“ (SCHUMANN & MÜLLER 2000, S. V). Die Visualisierung spielt bei der Aufbereitung von Informationen, welche für die Erstellung des Modells erforderlich sind, und den gewonnenen Modell-Analyseergebnissen eine wichtige Rolle (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009, Blatt 11). Ebenfalls ist die direkte Interaktion mit dem rechnerbasierten Modell bzw. Manipulation des Modells vor allem bei komplexen Modellen nur über eine graphische Visualisierung möglich (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009, Blatt 11).

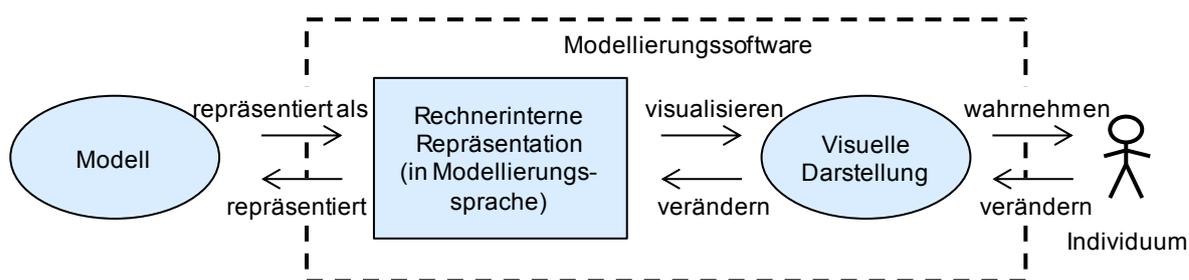


Bild 3-5: Visualisierung von rechnerbasierten Modellen

Die für die Arbeit mit einem Modell erforderliche Schnittstelle für Visualisierung und Interaktion kann von einer Modellierungssoftware bereitgestellt werden. Für die unterschiedlichen Anwendungen von Modellen und die einzelnen Modelltypen gibt es spezifische Modellierungssoftware. Die Modellierungssoftware ermöglicht über eine visuelle Darstellung des Modells den Zugriff auf die rechnerinterne Repräsentation des Modells.

### Meta-Modelle

In den vergangenen Jahren hat sich eine Vielzahl an unterschiedlichen Modellierungssprachen zur rechnerbasierten Beschreibung von Modellen entwickelt. Modellierungssprachen liegt ein Meta-Modell zu Grunde, das die konzeptionelle Grundlage einer Modellierungssprache darstellt. Es besteht aus einer Menge an Basiskonzepten und einer Menge an Regeln, welche die mit dieser Modellierungssprache beschreibbaren Modelle festlegen (FALKENBERG et al. 1998, S. 58; KÜHNE 2006, OEI et al. 1992; THOMAS 2002, S. 53 f.). Das Meta-Modell beschreibt damit eine bestimmte Sichtweise auf das zu modellierende Original. Es ist bereits mit einer bestimmten Intention verbunden, da es die Möglichkeiten festlegt, welche Attribute das Modell enthalten kann (KÜHNE 2006). Meta-Modelle können selbst wieder in Meta-Meta-Modellen beschrieben werden, die auf einer Abstraktionsebene höher die Inhalte des Meta-Modells beschreiben (KÜHNE 2006).

Die folgende Abbildung (Bild 3-6) veranschaulicht diesen Zusammenhang zwischen Modell, Meta-Modell und Modellierungssprache am Beispiel eines relationsorientierten Funktionsmodells des GoKarts. Das in diesem Beispiel genutzte Funktionsmodell ist repräsentiert in einer Modellierungssprache für relationsorientierte Funktionsmodelle (z. B. MS PowerPoint-basiert). Diese Modellierungssprache orientiert sich an der Beschreibung des Meta-Modells des relationsorientierten Funktionsmodells. Beispielsweise definieren PONN &

LINDEMANN 2011 (S. 338 f.), dass ein relationsorientiertes Funktionsmodell aus beschrifteten Rechtecken und sie verbindende Linien aufgebaut wird. Das Meta-Modell selbst baut auf einem Meta-Meta-Modell auf. Das Meta-Modell des relationsorientierten Funktionsmodells nutzt beispielsweise die Elemente und Logik der gerichteten Graphen und textuelle Beschreibung um die beschriebenen Elemente abzubilden.

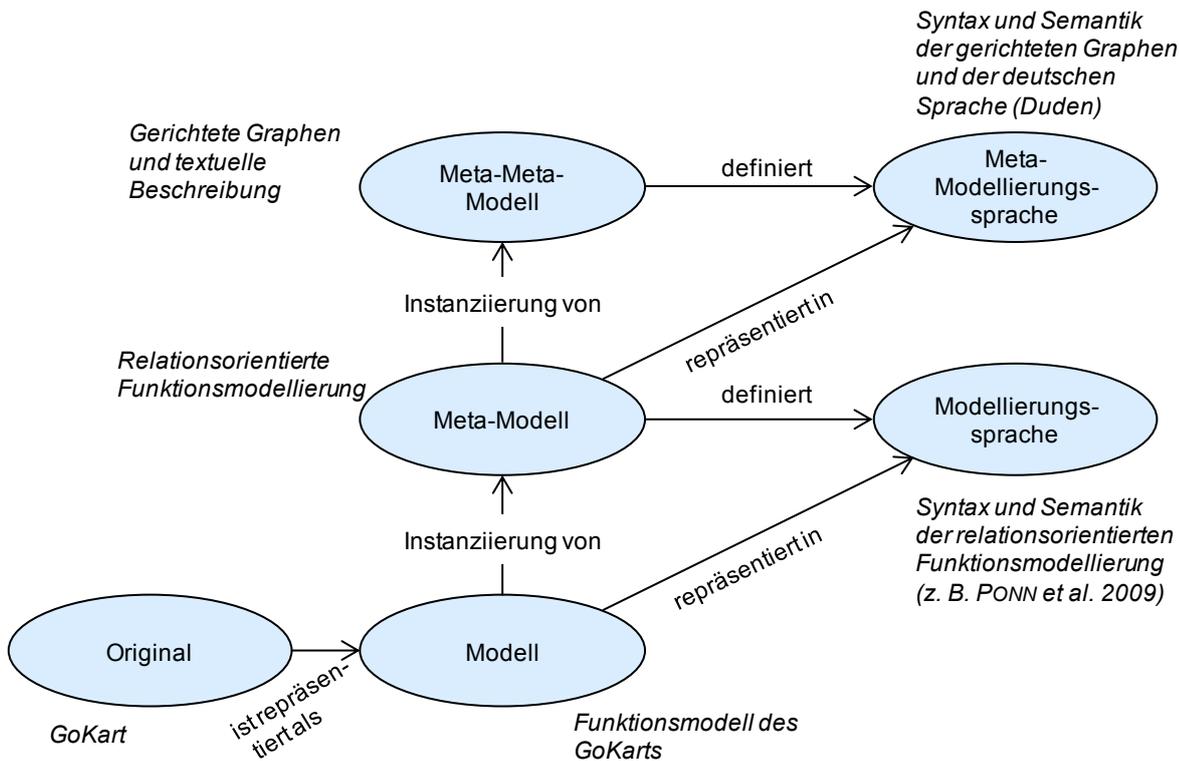


Bild 3-6: Beziehungen Original-Modellierungssprache und Meta-Modell (in Anlehnung an KÜHNE 2006)

Der Begriff Meta-Modell ist in der Wissenschaft etabliert, hat allerdings seinen Weg noch nicht in die praktische Anwendung in der Produktentwicklung gefunden. Daher wird in dieser Dissertation das Meta-Modell eines Produktmodells im weiteren Verlauf als Produktmodelltyp bezeichnet.

### Verwendung von Modellierungssprachen

Modellierungssprachen besitzen spezifische Eigenschaften, die sie für bestimmte Anwendungsfälle des Modells mehr oder weniger geeignet machen. Der Grad der Expressivität (Ausdrucksfähigkeit bzw. -mächtigkeit), die Mehrdeutigkeit und die Problemabdeckung sind drei wesentliche Eigenschaften von Modellierungssprachen (FALKENBERG et al. 1998, S. 59). Expressivität betrifft die Anzahl und Arten von Ausdrücken, die mit der Modellierungssprache beschrieben werden können. Die Mehrdeutigkeit gibt Aussage darüber, ob es eine oder mehrere Möglichkeiten gibt, einen bestimmten Sachverhalt mittels der jeweiligen Sprache auszudrücken. Die Problemabdeckung bewertet qualitativ, ob ein bestimmtes Problem mit dieser Modellierungssprache zu handhaben ist. Die Wahl der

passenden Modellierungssprache kommt eine entscheidende Bedeutung bei und ist stets eine Abwägung zwischen diesen Faktoren (FALKENBERG et al. 1998, S. 59).

Eine weitere Unterscheidung von Modellierungssprachen nimmt KÜHNE 2006 vor. Seine Unterscheidung zielt auf die Art der Originalrepräsentation ab. Er unterscheidet zwischen „token“ und „type“ Modellen. „Token Models“ dienen zur Darstellung von vorhandenen Systemen während „Type Models“ eine Klassifizierung der Systeme erlauben. Im Gegensatz zu „Token Models“ ermöglichen „Type Models“ durch Klassifizierung der betrachteten Elemente die Erfassung von universellen Aspekten eines Systems. „Token Models“ bilden vorhandene Aspekte des Systems reduziert ab, während „Type Models“ generalisierend abbilden können. Den Meta-Modellbegriff differenziert KÜHNE 2006 anhand der Unterscheidung zwischen ontologischen und linguistischen Meta-Modellen. Während ontologische Meta-Modelle den Inhalt eines Modells und dessen Bedeutung bestimmen (was dargestellt wird), wird durch linguistische Meta-Modelle die Form des Modells ausgestaltet (wie etwas dargestellt wird). Linguistische Meta-Modelle entsprechen laut dieser Definition der Modellierungssprache, da in Modellierungssprachen die Form der Originalrepräsentation vorgegeben wird.

Der Ersteller bzw. Nutzer eines Modells agiert vorwiegend auf der Ebene des Modells und der Modellierungssprache. Um mit dem Modell arbeiten zu können, müssen die Personen die Modellierungssprache verstehen und das Modell darauf aufbauend richtig interpretieren. Das Verständnis der zu Grunde liegenden Meta-Modelle ist für die erfolgreiche Arbeit mit einer Modellierungssprache entscheidend. Meta-Meta-Modelle bleiben dem Nutzer dagegen häufig verborgen. Beispielsweise sind als bekannte Meta-Meta-Modelle im Umfeld der Produktentwicklung „Constructive Solid Geometry“ und „B-Rep“ zur Repräsentation von CAD-Modellen zu nennen. Mit diesen Meta-Modellen werden die Grundoperationen festgelegt, wie ein dreidimensionaler Körper rechnerintern abgebildet werden kann (SCHOONMAKER 2003, S. 288). Dabei handelt es sich allerdings vorrangig um rechnerinterne Prozesse, die vom Nutzer des jeweiligen CAD-Programmes verborgen bleiben (SCHOONMAKER 2003, S. 288). Modellierungssprachen dagegen sind direkt durch den Anwender zu nutzen. Modelica ist ein Beispiel für eine weitverbreitete Modellierungssprache zur Abbildung und Simulation von physikalischen Systemen (TILLER 2001, S. 3 ff.). Im Bereich des Systems Engineering ist darüber hinaus die Modellierungssprache Systems Modeling Language (SysML) weit verbreitet. Diese Sprache ist eine Weiterentwicklung der Modellierungssprache UML (Unified Modeling Language) und dient als standardisierte Sprache für die Modellierung komplexer Systeme (FRIEDENTHAL et al. 2011). Die Web Ontology Language (OWL) kann als Beispiel einer von vielen Ontologie-Sprachen für die Erstellung und Verteilung von Ontologien (Wissensmodellen) genutzt werden (GIUNCHIGLIA et al. 2010, REICHENBERGER 2010).

Zusammenfassend ergibt sich ebenso wie bereits bei der Vielfalt an Modellen eine Vielfalt an Modellierungssprachen und Modellierungswerkzeugen. Für die Arbeit mit Modellen ist daher das Wissen über die Anwendung dieser Modellierungssprachen und der damit bestehenden Möglichkeiten zur Repräsentation eines Originals erforderlich.

### 3.4 Systemtheorie und Systemdenken als Grundlage der Modellierung

Zur Gestaltung der Arbeit mit Modellen können Erkenntnisse der Systemtheorie und das Prinzip des Systemdenkens sinnvoll genutzt werden. Dieses Kapitel gibt daher einen kurzen Einblick in die Systemtheorie und das Systemdenken als eine wesentliche Grundlage für die Arbeit mit Modellen.

Die Systemtheorie hat ihren Ursprung in der griechischen Philosophie und wurde seit den 30er Jahren durch unterschiedliche Einflüsse aus Biologie, Kybernetik, Operations Research und der modernen Mathematik geprägt (ROPOHL 1999, S. 71 ff.). Kern der Systemtheorie ist das Systemdenken und die Beschreibung eines Sachverhalts als sogenanntes System. Ein System<sup>6</sup> ist eine spezielle Art von Modell, bei dem die Elemente des Systems über Relationen miteinander verbunden sind (FALKENBERG et al. 1998, S. 60).

Die folgende Abbildung stellt die Grundbegriffe des Systemdenkens dar (siehe Bild 3-7). Die Elemente bilden anhand ihrer Beziehungen gemeinsam ein Ganzes (das System) wodurch Systemeigenschaften entstehen, die sich aus dem Zusammenwirken der Einzelteile ergeben (CHECKLAND 1981, S. 3). Ein Attribut dieses Modells ist die Abgrenzung des Systems von seiner Umgebung durch die Systemgrenze. Input- und Output-Relationen verbinden das System mit seinem Umfeld (der Umgebung). Sowohl Umfeldelemente als auch andere Systeme (Umsysteme) können in der Umgebung mit dem System verbunden sein. Die der Systemtheorie zu Grunde liegende Denkweise wird als Systemdenken bezeichnet. Das Systemdenken kann in unterschiedlichen Disziplinen genutzt werden, um komplexe Erscheinungen (Systeme) besser verstehen und gestalten zu können (HABERFELLNER et al. 2012, S. 33).

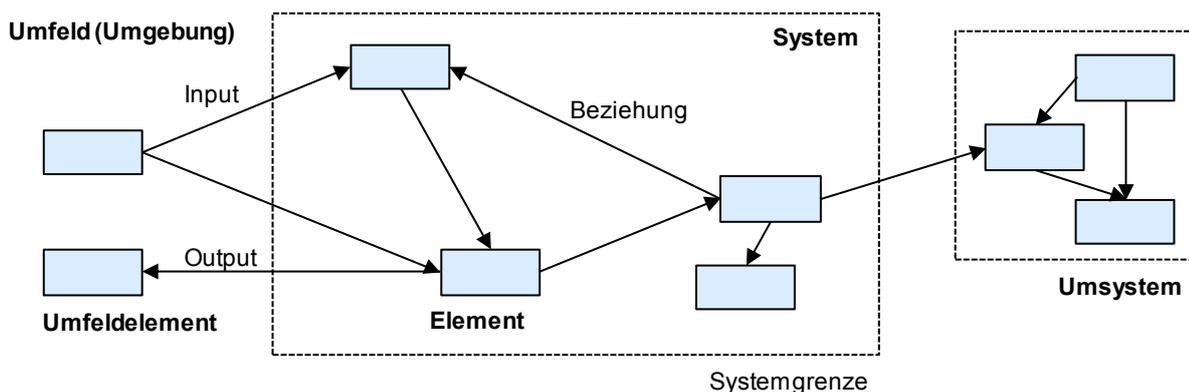


Bild 3-7: Grundbegriffe des Systemdenkens (nach HABERFELLNER et al. 2012)

<sup>6</sup> Der Begriff System wird in technischen Bereichen auch angewandt, um eine technische Einheit (z. B. ein Fertigungssystem) zu beschreiben. In dieser Arbeit wird allerdings von der hier verwendeten allgemeinen Definition ausgegangen, die dann im spezifischen Fall detailliert werden kann.

Viele Aspekte des Systemdenkens sind im Kontext der Arbeit mit Modellen hilfreich einzusetzen. Systemdenken hilft dabei, das Original des Modells besser zu verstehen. Anhand der Abgrenzung eines Systems von seiner Umwelt können die Rand- und Rahmenbedingungen eines Modells festgelegt werden. CHECKLAND 1981 (S. 3) stellt das Denken in Systemen als Ansatz vor, um die Komplexität in der Welt besser erfassbar zu machen und zu verstehen. Er beschreibt eine Methodik, die ausgehend von der Problemerkennung und -strukturierung dabei hilft, relevante Teilaspekte des involvierten Systems zu identifizieren, dieses zu erfassen und Verbesserungen abzuleiten. So kann die Systembetrachtung dazu dienen, Modelle für die Klärung der Eigenschaften eines Systems zu gewinnen (RODENACKER 1991, S. 36). BOARDMAN & SAUSER 2008 nennen zwei weitere wesentliche Aspekte des Systemdenkens. Einerseits hilft uns das „Denken über Systeme“ dabei, Systeme besser zu beschreiben, zu analysieren und anzupassen. Andererseits hilft uns das „Denken aus Systemen“ dabei, unsere eigene Problemsituation als Teil eines Gesamtsystems heraus besser begreifbar zu machen und die eigene Position bei Handlungsaktivitäten besser zu hinterfragen (BOARDMAN & SAUSER 2008, S. XIX). Durch Denken in Systemen können Probleme allgemein besser erschlossen werden, indem Denkbarrieren überwunden, Vernetzungen besser erkannt und Perspektiven auf eine Problemstellung gezielt eingesetzt werden (SWEENEY & MEADOWS 2010, S. 2).

Darüber hinaus ermöglicht die Systemtheorie eine Einteilung und Unterscheidung von unterschiedlichen Arten von Systemen und hilft somit bei der Modellierung zur Analyse des Originals. CHECKLAND 1981 (S. 110) nennt fünf wesentliche Arten von Systemen. Natursysteme sind Systeme, die ihren Ursprung in der Entstehung des Universums haben und die Resultate der Kräfte und Prozesse sind, die das Universum beschreiben (Atomlehre, Physik, Astrologie). Entwickelte physische Systeme sind Systeme, die vom Menschen gemacht sind (Hammer, Autos, etc.). Entwickelte abstrakte Systeme repräsentieren das geordnete Bewusstsein eines Individuums (z. B. Berechnungen, Gedichte, Philosophie). Menschliche Handlungssysteme sind ein Zusammenschluss von menschlichen Handlungen die mehr oder weniger bewusst geordnet sind und einen bestimmten Zweck oder ein bestimmtes Ziel verfolgen (Internationale politische Systeme, etc.). Darüber hinaus gibt es transzendente Systeme, die außerhalb des durch Wissen erschließbaren Bereiches liegen (z. B. antike Naturreligionen).

Ebenfalls hilft die Systemtheorie bei der Beurteilung des vorliegenden Wissens über die Realität. George Klir stellt 1985 beispielsweise ein Rahmenwerk des Systemwissens auf, in dem er vier Stufen des Wissens über Systeme definiert (ZEIGLER et al. 2000, S. 11). Auf der ersten Stufe (Wissen über Datenquellen) ist lediglich Wissen darüber vorhanden, welche Variablen gemessen werden können und wie man sie beobachten kann. Die zweite Stufe ergänzt dieses Wissen um konkrete Daten, die über das System vorliegen (Wissen über Daten). Wurde die dritte Stufe des Wissens über ein System erlangt (generatives Wissen), so besteht bereits die Möglichkeit, Daten über ein System zu generieren (z. B. anhand eines Programms). Auf der letzten Stufe liegt konkretes Wissen über das Zusammenspiel der einzelnen Teile des Systems vor und wie diese zum Systemverhalten beitragen (strukturelles Wissen). Für die Arbeit mit Modellen ist dies besonders für die Beurteilung der Modelle hilfreich, da fehlendes Wissen über das System deutlich gemacht werden kann.

ROPOHL 1999 (S. 83 f.) hebt darüber hinaus die Bedeutung der Systemtheorie für eine disziplinübergreifende Kommunikation hervor, da durch sie verschiedene Perspektiven der Technik auf einen Nenner gebracht werden können. Dies ist besonders auch für die disziplinübergreifende Erstellung von Modellen relevant. Denn die Systemtheorie stellt die formalen Bausteine zur Verfügung mittels derer Hilfe unter Nutzung von metaphysischen und empirischen Theorien ein Modell der Realität durch einen Beobachter entsprechend der jeweiligen Intention erstellt werden kann (ROPOHL 1999, S. 85) (Bild 3-8). Anhand dieser disziplinunabhängigen Schnittstelle können disziplinspezifische Absichten und Theorien auf eine einheitliche Modellsicht transformiert werden. Obwohl sowohl Intention als auch die Theorien disziplinspezifisch ist, kann das Modell aus systemtheoretischer Sicht disziplinunabhängig kommuniziert werden. Fachbereichs- und disziplinspezifische Modelle lassen sich so besser miteinander vergleichen und disziplinübergreifend austauschen.

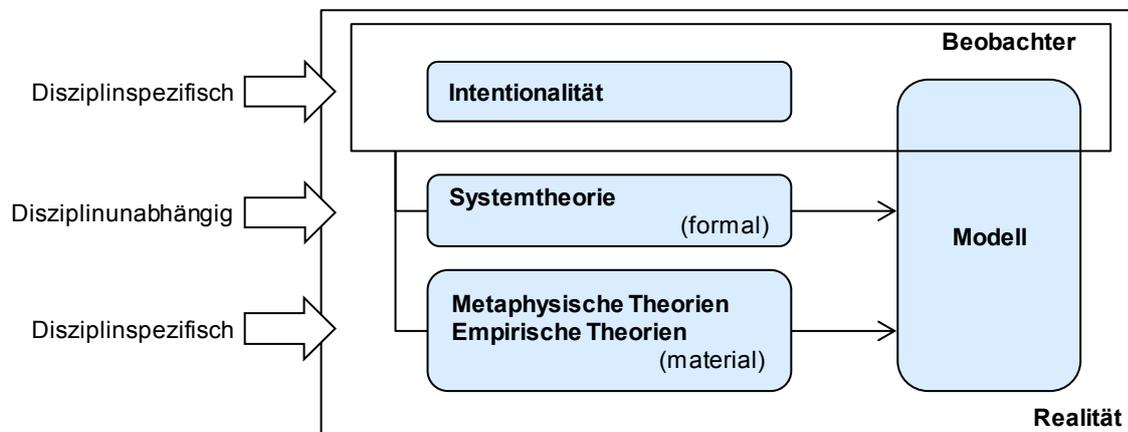


Bild 3-8: Systemtheorie und Modellkonstruktion (ROPOHL 1999, S. 84)

### 3.5 Lebenszyklus eines Modells

In den vorigen Unterkapiteln wurde der Modellbegriff erläutert und die unterschiedlichen Arten von Modellen und deren Repräsentationsformen beschrieben. Wie auch ein Produkt, unterliegt ein Modell einem Lebenszyklus (NANCE 1987). Über die Zeit verändert es sich, wird weiterentwickelt und entsprechend dem Modellzweck genutzt. Dieses Kapitel betrachtet die einzelnen Teilphasen des Lebenszyklus eines Modells und zeigt die Teilaktivitäten und zeitlichen Abläufe auf, die in den einzelnen Phasen durch die beteiligten Individuen durchgeführt werden.

In den unterschiedlichen Disziplinen sind in der Literatur Vorgehensmodelle und Methodiken aufgeführt, die beschreiben, welche Teilaktivitäten bei der Erstellung von Modellen wann und wie durchgeführt werden sollen. Diese unterscheiden sich im Abstraktionsgrad der Betrachtung, der zeitlichen Abdeckung und sind vom jeweiligen Anwendungsfall des Modells abhängig. Beispielsweise sind in einem Vorgehen zur Erstellung eines Wissensmodells (z. B. nach FERNANDEZ et al. 1997) andere Teilschritte aufgeführt als in einem Vorgehen zur Erstellung eines Prozessmodells (z. B. nach KERLEY et al. 2009). Auf Grund des Unterschieds zwischen den einzelnen Beschreibungen werden in diesem Kapitel zunächst ausgehend von

der allgemeinen Modelltheorie allgemeine wesentliche Teilaktivitäten im Lebenszyklus eines Modells abgeleitet. Diese werden als Grundlage für die Beschreibung und Gegenüberstellung der einzelnen disziplinspezifischen Vorgehensweisen genutzt.

Aus der Definition des Modells im Sinne der allgemeinen Modelltheorie lassen sich vier Teilaktivitäten der Arbeit mit Modellen ableiten. Ausgehend von der Formulierung der Intention erfolgt das Modellieren, danach die Absicherung und die Nutzung des Modells (siehe Bild 3-9). Das Vorgehen weist zwischen Modellabsicherung, Modellierung und Formulierung der Intention iterative Rücksprünge auf. Die einzelnen Tätigkeiten werden im Folgenden mit den zentralen beeinflussenden Faktoren beschrieben.

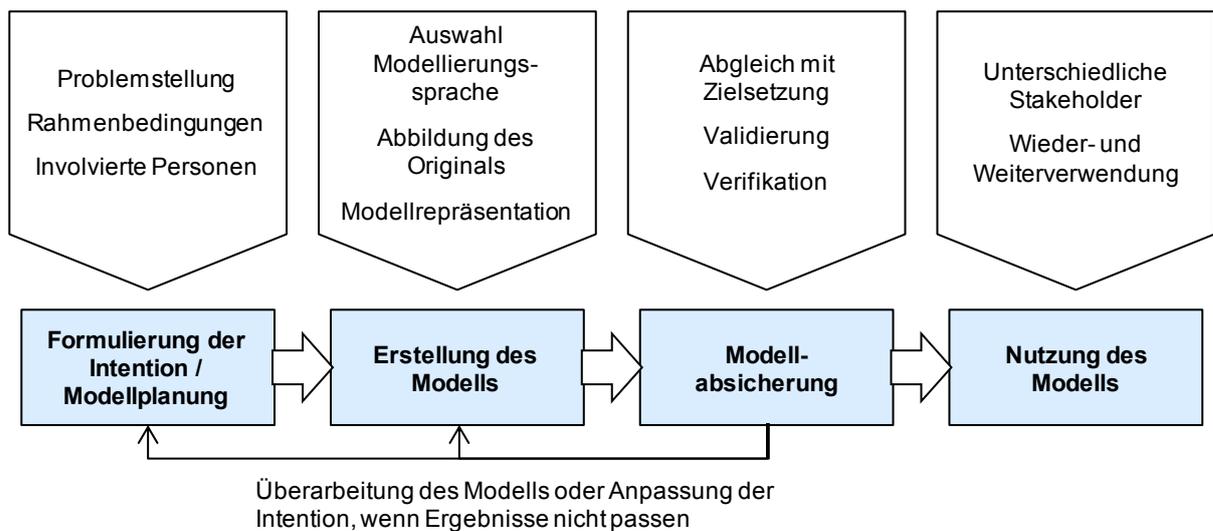


Bild 3-9: Teilphasen des Lebenszyklus eines Modells

Da jedes Modell für einen bestimmten Zweck durch ein Individuum genutzt wird (STACHOWIAK 1973), muss dieser Zweck zunächst im Rahmen der **Formulierung der Intention/Modellplanung** beschrieben werden. In der Formulierung der Intention werden unter anderem Aspekte wie der Modellzweck, das betrachtete Original, Grenzen der Betrachtung, Nutzung des Originals und vorliegende Rahmenbedingungen berücksichtigt (VAJNA et al. 2009, S. 140 f.). Auch die bei der Modellierung bzw. später der Modellnutzung involvierten Personen müssen in dieser Teilaktivität ermittelt und deren Meinungen berücksichtigt werden, um die Durchführbarkeit der Modellerstellung und die spätere Nutzbarkeit abzusichern (MOSTASHARI 2011). VAJNA et al. 2009 (S. 140 f.) stellen beispielsweise für den Bereich der CAD-Modellierung typische Teilfragen, die zur Modellplanung beantwortet werden können.

- Was ist das zu untersuchende System? (Originale, Elemente, Systemgrenzen)
- Welche Fragestellungen sollen behandelt werden? (Festlegung des Modellzwecks)
- Welche Sichtweisen auf das zu untersuchende Original sind für den Modellzweck notwendig? (Systemaspekte)
- Welche Testsituationen sind zu untersuchen? („Lastfälle“)
- Welche Effekte (Details) müssen berücksichtigt oder können vernachlässigt werden?

- Welche Parameter eines mathematischen Modells werden als vorgegeben, welche als Zustandsvariablen betrachtet?
- Welche Ergebnisse sind zur Klärung der Fragestellungen erforderlich und in welcher Form sollen die Ergebnisdaten aufbereitet und dokumentiert werden?

Die zweite Phase beschreibt das Abbilden der Originalattribute auf Modellattribute. Unter Berücksichtigung des jeweiligen Zwecks des Modells müssen in der „**Erstellung des Modells**“ bestimmte Originalattribute ausgewählt werden und in die Modellrepräsentation überführt werden. Diese Teilaktivität wird von einigen Autoren auch als „Modellieren“ bezeichnet. FALKENBERG et al. 1998 (S. 56) bezeichnen das Modellieren als eine Abfolge von Tätigkeiten als deren Ergebnis ein Modell entsteht. Der VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2003 fasst den Begriff weiter und schließt neben dem Erstellen eines Modells auch das Verändern eines Modells im Gesamten oder in Teilen mit in das Modellieren mit ein. Das Modellieren kann – wie bereits in Kapitel 3.3 aufgezeigt – in die Teilschritte des Wahrnehmens eines gewissen Teilaspektes des Originals, der Erstellung eines internen Modells des Originals und der Repräsentation des Modells als externes Modell unterteilt werden (FALKENBERG et al. 1998, S. 56). Die Tätigkeiten des Modellierens werden von einem Modellierer durchgeführt. Bei der Teilaktivität der Modellierung spielt die Auswahl der für den spezifischen Anwendungsfall passenden und für das zu lösende Problem geeigneten Modellierungssprache eine große Rolle (BIRTA & ARBEZ 2007). Die Auswahl der jeweiligen Modellierungssprache hängt einerseits davon ab, welcher Modellierungsmethode das vorliegende Problem am besten zugänglich ist. Andererseits muss berücksichtigt werden, welche Methode für das vorliegende Problem im Hinblick auf geforderte Genauigkeit und Aufwand am effizientesten ist und welches Werkzeug entsprechend den Anforderungen am sinnvollsten einzusetzen ist (VAJNA et al. 2009, S. 138ff.). BROOKS & TOBIAS 1996 heben hervor, dass besonders das Wissen über alternativ zu verwendende Modelltypen wichtig ist, da es für einen bestimmten Anwendungsfall immer mehrere Möglichkeiten gibt, ein Modell zu erstellen.

Das Modellieren ist verbunden mit einer Beurteilung, ob das Modell dem jeweiligen Zweck entspricht. Da ein Modell ein reduziertes Abbild der Realität ist, d. h. einzelne Teilaspekte des Originals weggelassen werden, ist ein Modell nie in der Gesamtheit vollständig. Wäre es in seiner Gesamtheit vollständig, dann wäre es das Original und kein Modell mehr. Das Bewusstsein darüber, dass alle Modelle unvollständig sind hebt STERMAN 2002 mit der Formulierung des Leitsatzes „All models are wrong!“ als besonders wichtig bei der Arbeit mit Modellen hervor. Er schreibt, dass nur wenn man sich der Unvollständigkeit eines Modelles bewusst ist, dieses auch gemäß dem jeweiligen Zweck erfolgreich eingesetzt werden kann. Andernfalls können Aussagen, die aus diesem Modell gewonnen wurden, zu falschen Entscheidungen führen. Daher ist die Beurteilung eines Modells absolut notwendig und erfolgt in der Phase der **Modellabsicherung**. Die Modellabsicherung ist an die Teilaktivität des Modellierens iterativ gekoppelt. Sie beinhaltet einen Abgleich zwischen aktuellem Modellergebnis und erwartetem Modellzweck. Modellvalidierung und Modellverifikation sind zwei wesentliche Teilaspekte der Modellabsicherung. Validierung und Verifikation werden in unterschiedlichen Disziplinen genutzt, voranging in der Softwareentwicklung (BIRTA & ARBEZ 2007, S. 45). In der Verifikation wird die Frage beantwortet, ob das Modell korrekt erstellt wird. Die Validierung zielt darauf ob, ob das richtige Modell (für das

betrachtete Problem) erstellt wird (Boehm nach BIRTA & ARBEZ 2007, S. 45). Anders formuliert beinhaltet Modellvalidierung die Überprüfung der Übereinstimmung des Modells mit dem abgebildeten Original unter Berücksichtigung der jeweiligen Zielstellung des Modells (ZEIGLER et al. 2000, S. 31; SAVOIE & FREY 2011). Verifikation dagegen ist der Abgleich des Modells mit den in der Formulierung der Intention festgelegten Spezifikationen an das Modell. Bei rechnerbasierten Modellen wird im Rahmen der Verifikation überprüft, ob das Modell korrekt implementiert wurde (SARGENT 1988).

Bei der Absicherung von Modellen spielt die Aufdeckung von Fehlern im Modell eine große Rolle (SAVOIE & FREY 2011). Sie heben hervor, dass Modelle niemals komplett „fehlerfrei“ sein können und weisen darauf hin, dass der korrekte Umgang und die Abschätzung der Auswirkungen der Fehler auf die jeweilige Anwendung ein entscheidendes Kriterium ist. Fehler in Modellen werden nach SAVOIE & FREY 2011 als Abweichung zwischen dem Modell und der Realität gesehen, wenn das Ergebnis signifikant von den Anforderungen abweicht und unwirtschaftlich wird. Um eine hohe Qualität von Modellen zu erreichen, fordern SMITH & MORROW 1999 sowohl wissenschaftliche als auch praktisch-orientierte Standards. Sie weisen darauf hin, dass analytische Sorgfalt auf wissenschaftlicher Seite zu einer Verbesserung der Glaubwürdigkeit von Modellen führt. Auf praktischer Seite stehen Einfachheit in der Nutzung von Modellen und Verfügbarkeit von erforderlichen Daten im Vordergrund.

Das erstellte und abgesicherte Modell wird in der letzten Tätigkeit, der **Nutzung des Modells**, entsprechend des Modellzwecks durch verschiedene Personen genutzt. Die Nutzung des Modells kann durch andere Personen als den Modellierer erfolgen (BIRTA & ARBEZ 2007). Auch kann das Modell nach der Nutzung wieder- bzw. für andere Zwecke weiterverwendet werden. Deshalb müssen Möglichkeiten der Archivierung und Dokumentation von Modellen bereitgestellt werden (BIRTA & ARBEZ 2007). Auch Aktivitäten wie Wartung bzw. Aktualisierung des Modells müssen berücksichtigt werden. Die eigentliche Nutzung des Modells hängt stark von dem jeweiligen Modelltyp und dem Modellzweck ab. Beispielsweise kann die Nutzung eines Simulationsmodells im Rahmen einer Simulationsstudie erfolgen (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009). Generierte Daten müssen als Ergebnis aufbereitet und interpretiert werden.

In der Literatur finden sich viele Beschreibungen der Arbeit mit Modellen und Hinweise zur Gestaltung der vier Teilaktivitäten (siehe Kapitel 6.2). Die Granularität der Beschreibung variiert ebenso wie Abdeckung der einzelnen Teilschritte. In den Beschreibungen sind die einzelnen Teilaktivitäten zum Teil detailliert beschrieben, andere teilweise weggelassen oder nur oberflächlich beschrieben. Dies erschwert die Anwendung der jeweiligen Beschreibung zur Deckung des spezifischen Wissensbedarfs bei der Arbeit mit Modellen.

Als Zusammenfassung dieses Kapitels lässt sich die Vielfalt und Heterogenität bei den einzelnen Beschreibungen von Modellen in der Literatur hervorheben. Modelle werden vielfältig für unterschiedlichste Zwecke genutzt. Modellierungssprachen dienen der Repräsentation von Modellen und ermöglichen eine Externalisierung von internen Modellen. Externe Modelle können sowohl computerbasiert als auch physisch vorliegen und entsprechend den Zwecken genutzt werden. Die allgemeine Modelltheorie bietet eine gute Möglichkeit, die bestehenden Modellbegriffe und Modellanwendungen gegenüber zu stellen

und auf diesem abstrakten Niveau einheitlich zu beschreiben und voneinander abzugrenzen. Die Anwendung von Modellen kann anhand der in der allgemeinen Modelltheorie beschriebenen Erkenntnisse anwendungsübergreifend erfasst und beschrieben werden. Das folgende Kapitel fokussiert darauf aufbauend Produktmodelle als die für diese Dissertation relevante Modellart.

## 4. Produktmodelle im Produktentwicklungsprozess

*Dieses Kapitel setzt den Fokus auf Produktmodelle im Produktentwicklungsprozess als ein spezifisches Anwendungsgebiet von Modellen. Zunächst werden der Produktentwicklungsprozess und die darin durchgeführten Teilschritte beschrieben. Die Nutzung von Produktmodellen wird anhand ihrer Bedeutung für die Erfassung und Kommunikation entwicklungsrelevanter Informationen verdeutlicht. Aktuelle Unterstützungsmaßnahmen des Informations- und Wissensmanagements im Entwicklungsprozess werden aufgezeigt. Ebenfalls wird der Stand der Technik bezüglich bestehender Methoden und Techniken zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen beschrieben. Zusammenfassend wird daraus der aktuelle Unterstützungsbedarf bei der Arbeit mit Produktmodellen abgeleitet.*

### 4.1 Der Produktentwicklungsprozess

Ein Prozess allgemein ist eine ausgeführte Menge von Handlungen sowie deren Verknüpfung über Informations- und Materialflüsse, um ausgehend von einer Eingangssituation ein bestimmtes Ziel zu erreichen (LINDEMANN 2009, S. 334). Er definiert anhand der zeitlichen Abfolge von Handlungen was wann getan werden muss, ohne zu beschreiben, wie jede einzelne Handlung durchgeführt wird (ESTEFAN 2007, S. 2). Der Produktentwicklungsprozess ist ein unternehmerischer Prozess, der bei den Marktanforderungen startet und mit der Abnahme des Entwicklungsergebnisses – dem technischen Produkt – abschließt (LINDEMANN 2009, S. 330). Der Anstoß zu einem Produktentwicklungsprozess kann sowohl unternehmensintern (z. B. unternehmensinterne Produktplanung) oder unternehmensextern (z. B. Kundenaufträge) erfolgen (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993, S. 6).

Bild 4-1 zeigt ein Modell des Entwicklungsprozesses als Transformationssystem entsprechend der „Theorie technischer Systeme“ (HUBKA & EDER 1988). Darin sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Entwicklungsprozess abstrakt aufgezeigt.

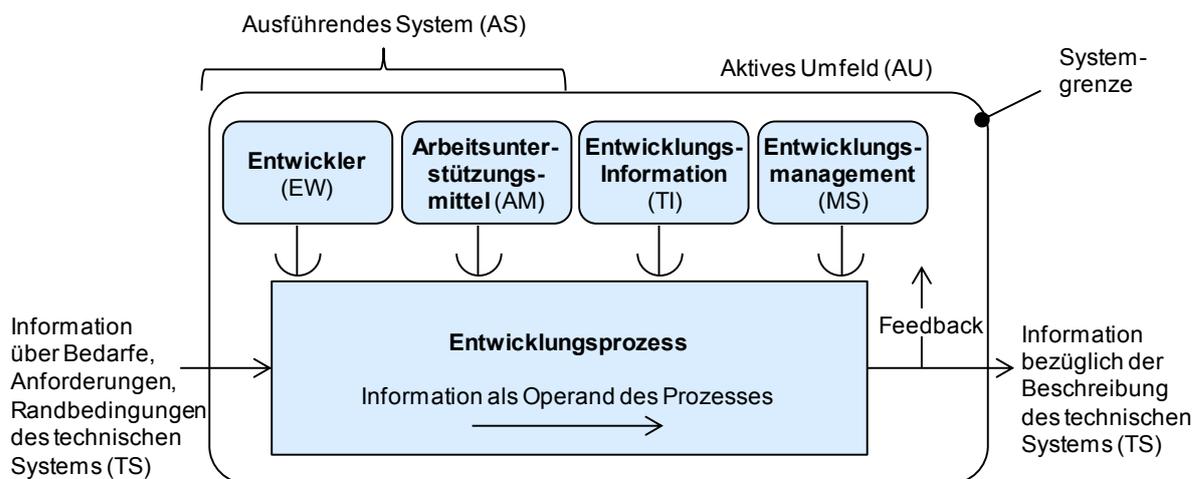


Bild 4-1: Entwicklungsprozess als Transformationssystem (in Anlehnung an HUBKA & EDER 1988, S. 215)

Die folgende Beschreibung des Entwicklungsprozesses basiert auf der Arbeit von HUBKA & EDER 1988 (S. 215 ff.) und EDER & HOSNEDL 2008 (S. 153 ff.). Der Operand des Entwicklungsprozesses ist die Information. Ausgehend von der Information über Bedarfe, Anforderungen und Randbedingungen an das technische System (TS) wird diese transformiert in Information zur Beschreibung des technischen Systems. Das technische System besteht aus dem technischen Produkt und dem technischen Prozess. Der Entwicklungsprozess wird von fünf Faktoren geprägt. Die Entwickler (EW) sind die wichtigsten Operatoren. Sie werden bei ihrer Arbeit unterstützt durch Arbeitsunterstützungsmittel (AM) wie Werkzeuge, Systeme und Gegenstände. Das aktive Umfeld (AU), in dem die Entwicklung stattfindet, beeinflusst die Ergebnisse des Entwicklungsprozesses und die Gestaltung der einzelnen Arbeitsschritte. Aspekte wie Umwelt, Gesellschaft und Gesetze wirken aus dem Umfeld auf den Entwicklungsprozess. Die technische Information (TI) beinhaltet die Informationen und das Wissen, die der Entwickler zur Erfüllung seiner Tätigkeit einsetzt. Sie sind entscheidend für die Qualität des Entwicklungsprozesses. Die Komplexität des Entwicklungsprozesses erfordert darüber hinaus ein Management-System (MS), das Ziele für die Organisation, den Entwicklungsprozess und jedes spezifische Projekt vorgibt und überprüft.

### **Vorgehensmodelle zur Repräsentation des Produktentwicklungsprozesses**

Die in Produktentwicklungsprozessen durchzuführenden Tätigkeiten und Arbeitsschritte können mittels Vorgehensmodellen repräsentiert werden. Vorgehensmodelle ermöglichen die Planung von Prozessen, die Navigation bzw. Orientierung innerhalb von laufenden Prozessen, sowie die Reflexion abgeschlossener Prozesse (LINDEMANN 2009, S. 45 f.). Vorgehensmodelle sind Beschreibungsmodelle bzw. operative Modelle, deren Original ein Prozess ist. Vorgehensmodelle stellen keine starre Vorgabe dar, sondern sind an die jeweilige Situation flexibel anzupassen. So können Arbeitsschritte übersprungen oder in einer anderen Reihenfolge abgearbeitet werden (PAHL et al. 2004, S. 165). Vorgehensmodelle zur Gestaltung des Produktentwicklungsprozesses werden auch als Produktentwicklungsmethodiken bezeichnet. Es gibt eine Vielzahl an Sammlungen und Gegenüberstellungen von Produktentwicklungsmethodiken (siehe unter anderem GAUSEMEIER et al. 2012, PONN & LINDEMANN 2011, SCHULZ 2008, S. 5 ff.; PONN 2007, S. 70 ff.; VAJNA 2005). PONN 2007 weist darauf hin, dass sich die einzelnen Vorgehensmodelle in der Granularität der Betrachtung des jeweiligen Prozesses unterscheiden. Er stellt Vorgehensmodelle zur Beschreibung elementarer Abläufe (z. B. Denk- und Handlungsabläufe), Vorgehensmodelle zur Beschreibung operativer Arbeitsschritte (z. B. Problemlösung oder Informationsverarbeitung) und Vorgehensmodelle zur Beschreibung größerer Abschnitte bzw. Phasen (z. B. Entwicklungsprozesse, Produktentstehung) gegenüber (PONN 2007, S. 70 ff.).

Zur Beschreibung der einzelnen Handlungen in einem Entwicklungsprozess kann beispielsweise das Vorgehensmodell nach VDI 2221 genutzt werden (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993). Dieses Vorgehensmodell unterteilt den Produktentwicklungsprozess in sieben zeitlich aneinandergereihte Handlungen (Arbeitsschritte) mit zugehörigen Arbeitsergebnissen. Die folgende Abbildung (Bild 4-2) zeigt diesen Produktentwicklungsprozess mit den wesentlichen Arbeitsschritten und Teilergebnissen.

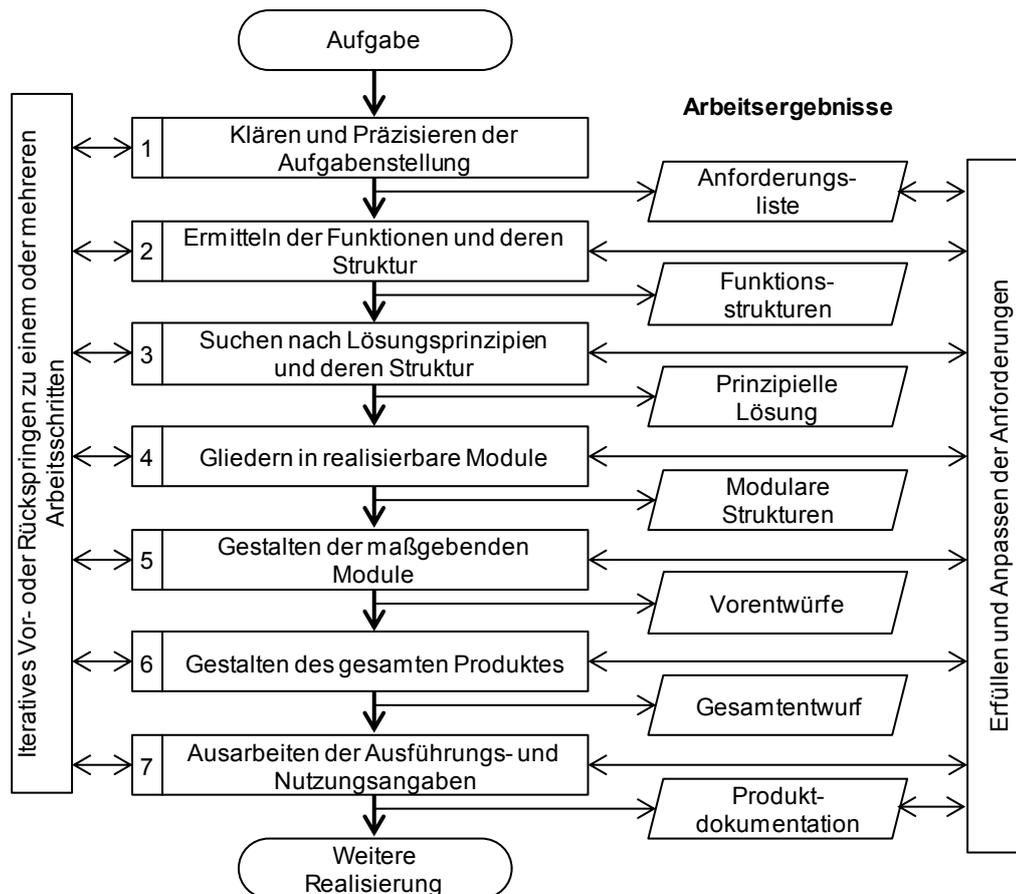


Bild 4-2: VDI 2221 - Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993)

Ausgehend von der Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung erfolgen schrittweise die Detaillierung und die Gestaltung des gesamten Produktes. Aus jeder Handlung entstehen Arbeitsergebnisse in Form von Produktmodellen, die mit Durchlaufen des Entwicklungsprozesses zunehmend detailliertere Informationen über das Produkt repräsentieren. Als Arbeitsergebnisse sind in VDI 2221 beispielsweise die Produktmodelle der Anforderungsliste, Funktionsstrukturen, prinzipielle Lösungen, modulare Strukturen, Vorentwürfe, Gesamtentwurf und Produktdokumentation genannt.

Neben dem generellen Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221 gibt es weitere Vorgehensmodelle, die den Produktentwicklungsprozess in einzelne Teilarbeitsschritte unterteilen. Zahlreiche dieser Vorgehensmodelle der Produktentwicklung legen ihren Fokus ebenfalls auf die erzeugten Produktmodelle als zentrale Arbeitsergebnisse des Entwicklungsprozesses (PONN 2007, S. 115) und heben damit die Bedeutung von Produktmodellen und deren Rolle für die Repräsentation von Produktinformationen hervor.

In einigen der Vorgehensmodelle werden zusätzlich zu der zeitlichen Abfolge der Arbeitsschritte konkrete Methoden zur Bearbeitung des jeweiligen Arbeitsschrittes angeboten. Dadurch wird der komplexe Verlauf des Entwicklungsprozesses greifbar und Einzelmethoden können zielgerichtet eingesetzt werden (PAHL et al. 2004, S. 165). Methoden beschreiben ein regelbasiertes, planmäßiges Vorgehen, nach dessen Vorgabe eine bestimmte Tätigkeit

ausgeführt wird (LINDEMANN 2009, S. 333). Methoden benötigen einen Informationsinput und generieren Informationsoutput. Produktmodelle können sowohl als Input für Methoden benötigt werden, als auch durch Methoden erzeugt werden (PONN & LINDEMANN 2011, S. 23). Beispielsweise ist eine bestehende Anforderungsliste erforderlich für die Durchführung einer gewichteten Punktbewertung. Eine umfassende Sammlung an Entwicklungsmethoden stellen sowohl LINDEMANN 2009 (S. 241 ff.) – insgesamt 82 Methoden –, und EDER & HOSNEDL 2008 (S. 389 ff.) – insgesamt 143 Methoden – bereit.

## 4.2 Daten, Informationen und Wissen in der Produktentwicklung

In der Produktentwicklung sind die Bereitstellung der benötigten Daten und Informationen, sowie das Wissen über die richtige Bearbeitung der einzelnen Arbeitsschritte entscheidend für den Entwicklungserfolg. Neben den in Produktmodellen repräsentierten Informationen zum Produkt gibt es noch weitere Informationen, die in der Produktentwicklung benötigt und generiert werden (siehe Kapitel 4.2.2). Der Begriff Information ist eng verknüpft mit den Begriffen Daten und Wissen. Dieses Kapitel führt zunächst in diese Begriffe ein und grenzt sie voneinander ab. Ebenfalls werden allgemeine Grundlagen zum Umgang mit Informationen (Erzeugung, Kommunikation und Informationsbedarf) beschrieben. Daraufhin wird die konkrete Bedeutung von Daten, Information und Wissen in der Produktentwicklung aufgezeigt. Konkrete rechnerbasierte Ansätze zur Unterstützung im Umgang mit Daten, Informationen und Wissen werden in Kapitel 5.2 detailliert erläutert.

### 4.2.1 Abgrenzung der Begriffe Daten, Information und Wissen

Die Begriffe Daten, Information und Wissen werden in einzelnen Forschungsfeldern unterschiedlich definiert und es existiert keine allgemein gültige Abgrenzung der Begriffe (HICKS et al. 2002, PROBST et al. 2010, S. 16). In dieser Dissertation erfolgt die Definition und Abgrenzung der Begriffe entsprechend der Definition nach AAMODT & NYGARD 1995, welche in der folgenden Abbildung (Bild 4-3) veranschaulicht sind.

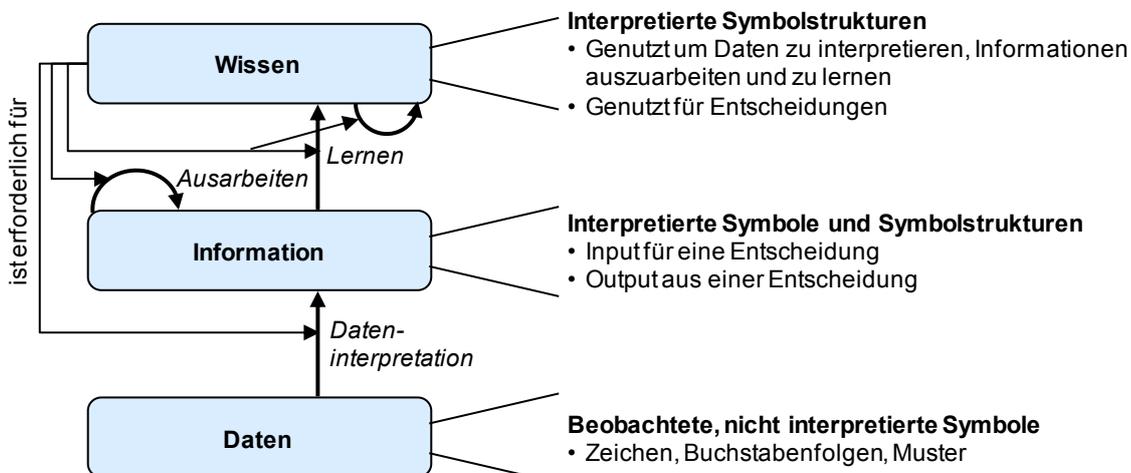


Bild 4-3: Abgrenzung und Definition von Daten – Information – Wissen (AAMODT & NYGARD 1995)

AAMODT & NYGARD 1995 definieren die Abhängigkeiten zwischen den Begriffen und zeigen Aktivitäten auf, die zwischen und auf den einzelnen Ebenen durchgeführt werden. Daten bestehen aus beobachteten, nicht interpretierten Symbolen. Daten besitzen keine Bedeutung und können in Form von Zeichen, Buchstabenfolgen oder Mustern auftreten. Durch die Interpretation von Daten entstehen Informationen. Dafür ist Wissen erforderlich, wie die Daten im jeweiligen Systemkontext verstanden werden können. Information kann ausgearbeitet werden, um weitere Informationen abzuleiten. Entscheidungsprozesse, die basierend auf Eingangsinformationen Ausgangsinformationen erzeugen sind auf dieser Ebene angesiedelt. Für die Ausarbeitung von Informationen ist wiederum Wissen erforderlich. Wissen kann daher als Ressource eines die Interpretation und Ausarbeitung durchführenden Individuums aufgefasst werden, durch welche die jeweiligen Tätigkeiten erst ermöglicht werden. Wissen wird bei diesen Tätigkeiten nicht verbraucht, sondern im Rahmen der Tätigkeit erweitert. Diese Vermehrung wird als Lernen bezeichnet. Lernen kann als Prozess verstanden werden, in dem Information in eine bestehende Wissensstruktur integriert wird, so dass sie für die zukünftige Interpretation von Daten, das Ausarbeiten von Informationen und das Lernen von Wissen verwendet werden kann (AAMODT & NYGARD 1995).

Neben der reinen Existenz des benötigten Wissens ist zur Durchführung einer Tätigkeit darüber hinaus Können erforderlich. Diese Verbindung von Wissen und Können zur Durchführung einer Tätigkeit wird aus (lern)pädagogischer Sicht als Kompetenz aufgefasst (KLIEME 2004). Erst durch diese Verbindung von Wissen und Können ist die Bewältigung einer situationsspezifischen Aufgabe möglich. Wie auch für den Wissensbegriff gibt es eine Vielzahl und unterschiedlichen Definitionen des Kompetenzbegriffs (für eine Diskussion und eine Arbeitsdefinition siehe KLIEME et al. 2001). Im Vergleich zur eher allgemein gehaltenen Definition von Wissen liegen bei den Kompetenz-Definitionen allerdings die funktionalen und umsetzungsorientierten Aspekte in Bezug zu einer bestimmten, bereichsspezifischen Aufgabe im Vordergrund.

Darüber hinaus werden teilweise neben dem Wissensbegriff noch die Ebenen „Weisheit“, „Intelligenz“ und „Reflexionsfähigkeit“ ergänzt (PROBST et al. 2010, S. 16). Allerdings erscheint die strikte Trennung dieser Begriffe oftmals nur aus akademischer Sicht sinnvoll. Aus praktischer Sicht ist für den erfolgreichen Umgang mit Wissen eine klare Trennung dagegen nicht unbedingt erforderlich. Beispielsweise fassen MACLEOD & CORLETT 2005 (S. 11) die Begriffe Daten und Information als Teil des Wissensbegriffs auf und versuchen so, eine praxisorientierte Definition zu ermöglichen.

Daten, Information und Wissen spielen entsprechend der Definition von AAMODT & NYGARD 1995 eine zweifache Rolle in Prozessen. Sie können entweder als Umsatzprodukt des Prozesses oder als Katalysator des Prozesses auftreten (siehe Bild 4-4). Einerseits können Daten, Informationen und Wissen als das Umsatzprodukt des Prozesses betrachtet werden (neben Material und Energie). Als Input eines Prozesses (Zustand 1) werden sie einer Transformation unterzogen. Innerhalb des Prozesses werden Daten verändert bzw. zu Informationen interpretiert. Wissen kann vermehrt, verteilt oder umformuliert werden. Als Output des Prozesses entsteht ein veränderter Zustand (Zustand 2). Andererseits werden Daten, Informationen und Wissen für die Bearbeitung eines Prozesses benötigt. Sie dienen somit der zielgerichteten Durchführung des Prozesses. Wissen ist zum Beispiel erforderlich,

um die einzelnen Schritte durchzuführen, deren sinnvolle Reihenfolge zu bestimmen, und Ergebnisse bewerten zu können. Informationen werden benötigt, um Entscheidungen zu treffen. In dieser Rolle dienen Daten, Information und Wissen in Analogie zur Chemie als Katalysator. Sie ermöglichen die Durchführung eines Prozesses (einer Reaktion) ohne dabei verbraucht zu werden.

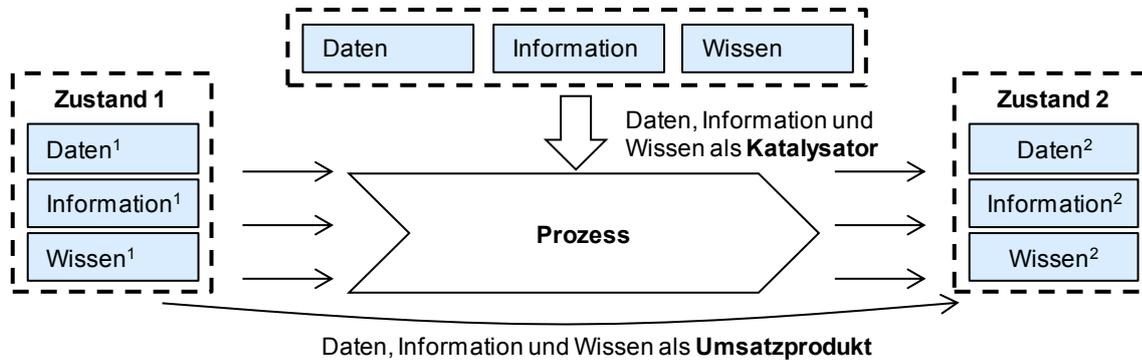


Bild 4-4: Prozessorientierte Betrachtung von Daten, Information und Wissen

In den folgenden Kapiteln wird die Bedeutung von Daten, Informationen und Wissen im Produktentwicklungsprozess beschrieben. Ausgehend vom Umgang mit Informationen im Entwicklungsprozess werden die Interpretation von Daten zu Informationen und die Rolle von Wissen zur Verarbeitung von Information aufgezeigt.

#### 4.2.2 Umgang mit Informationen im Entwicklungsprozess

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben sind Informationen das Umsatzprodukt des Entwicklungsprozesses. Im Produktentwicklungsprozess wird eine Vielzahl und Vielfalt an Informationen über ein Produkt generiert (MEERKAMM et al. 2009, S. 32). Die im Produktentwicklungsprozess relevanten Informationen können allgemein nach Entwicklungsprozess- und Produktinformationen unterteilt werden (CONWAY & ION 2013). Entwicklungsprozessinformationen beinhalten Informationen über Prozessabläufe, Organisation, Management, Diagnosen, Analyse und Synthese (EDER & HOSNEDL 2008, S. 385). Produktinformationen sind dagegen Informationen, die das Produkt beschreiben. ANDERL et al. 2011 heben neben diesen beiden Informationsarten auch noch die Technologie- und Betriebsmittelinformation als wichtige Teilaspekte hervor.

Der Entwickler ist eines der zentralen Brückenelemente, über den alle wesentlichen Informationsflüsse des Unternehmens laufen (COURT et al. 1998). Er nutzt die ihm vorliegenden Informationen, transformiert und verteilt sie (an Spezialisten oder andere Abteilungen, etc.). Dazu verwendet er mehrere, den individuellen Anforderungen entsprechende Systeme zur Verarbeitung und Speicherung der Informationen (MCALPINE et al. 2011). Der effiziente Umgang mit Informationen wird allerdings erschwert durch einen steigenden Vernetzungsgrad entwicklungsrelevanter Informationen (KÖNIGS 2013, S. 2). Dies kann beispielsweise zu Abstimmungsaufwänden, Schwierigkeiten bezüglich Änderungsnachverfolgung und eingeschränktem Zugriff auf entwicklungsrelevante Informationen führen.

In mehreren Untersuchungen wird von COURT et al. 1998 hervorgehoben, dass für den Umgang mit entwicklungsrelevanten Informationen Unterstützungsbedarf besteht. Denn Unsicherheiten über Informationsqualität und fehlende Informationsbereitstellung können unerwünschte Unterbrechungen im Entwicklungsprozess verursachen (MEERKAMM et al. 2009, S. 33). Beispielsweise führen die große Informationsmenge in Kombination mit ungeeigneten Zugriffsmechanismen dazu, dass bewährte unternehmensinterne oder -externe technische Lösungen nicht eingesetzt werden und aufwändig neue Lösungen entwickelt werden müssen (GAAG 2010, S. 41 f.). Dies hat nicht nur eine Verlängerung der Entwicklungszeit zur Folge, sondern resultiert auch in Unschärfen und Unklarheiten bei der Produktbeschreibung und redundanter Datenhaltung (MEERKAMM et al. 2009, S. 36).

Informationsgewinnung und -kommunikation sind entscheidende Aspekte des Umgangs mit entwicklungsrelevanten Informationen, da z. B. nur auf diese Weise Ideen verbreitet und Erfahrungen ausgetauscht werden können (DIETER 2000, S. 756). Besonders in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses ist die Informationsgewinnung von besonderer Bedeutung (DIETER 2000, S. 119). Für die Informationsgewinnung wird neben unternehmensintern explizit vorliegenden Produktmodellen eine Vielfalt an unternehmensinternen und unternehmensexternen Quellen genutzt. Die folgende Abbildung (Bild 4-5) zeigt sieben Informationsquellen im Entwicklungsprozess angeordnet nach steigender Spezifität von unten nach oben (DIETER 2000). Neben DIETER 2000 listen auch RODENACKER 1991 (S. 285), COURT et al. 1998, CULLEY & MCMAHON 2005 (S. 421 ff.) und EDER & HOSNEDL 2008 (S. 411) Informationsquellen für die Produktentwicklung auf und beschreiben deren Bedeutung. Höchste Spezifität weisen unternehmensinterne Berater auf, die direkt verwendbare Informationen bedarfsgerecht bereitstellen. Davon absteigend finden verschiedene Quellen Verwendung, bis hin zu meist unspezifischen Informationen im Internet und allgemeinen Datenbasen.

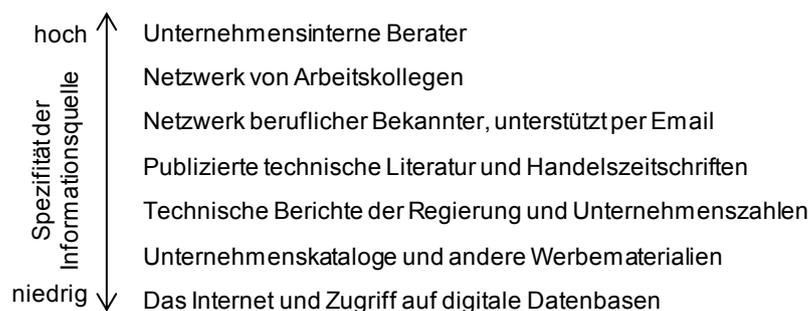


Bild 4-5: Informationsquellen im Entwicklungsprozess geordnet nach Spezifität (DIETER 2000)

Ein umfassendes Review über in der Produktentwicklung benötigte Informationen stellen auch MACLEOD & CORLETT 2005 bereit. Einzelne Informationsquellen wie Journals, Berichte, Konferenzen, Patente, Normen und Standards, Produktinformationen, Indizierungs-Dienstleistungen, Bibliographien, Internet und professionelle Gesellschaften werden anhand jeweiliger Vor- und Nachteile detailliert vorgestellt und hinsichtlich ihrer Anwendung in unterschiedlichen Disziplinen diskutiert. Im Bereich der Produktentwicklung nennt COURT et al. 1998 beispielsweise Produktspezifikationen, Vorgänger-Produkte, Entwicklungsberichte,

Unternehmensberichte, Datenhandbücher, Entwicklungs- und Versuchsdaten, Verkaufsdaten, wirtschaftliche Daten, Marktdaten, Fertigungsdaten, Servicefeedback, unternehmens-eigene Teilekataloge und Entwicklungsanleitungen als notwendige Informationen im Entwicklungsprozess.

Ein Teil des Informationsbedarfs in der Produktentwicklung kann anhand von Produktmodellen gedeckt werden. In diesen finden sich beispielsweise Informationen über Produktspezifikationen und die konstruktive Gestaltung von Vorgänger-Produkten.

### 4.2.3 Interpretation von Daten zu Informationen

Daten sind das Grundgerüst auf dem die Informationen in der Produktentwicklung aufbauen. Allgemein können Daten der Produktentwicklung in prozessinterne und prozesseexterne Daten eingeteilt werden (WIRTZ 2001, S. 86 f.). Prozessinterne Daten entstehen während des Entwicklungsprozesses (z. B. Abmessungen des Produktes, Messergebnisse, etc.). Produktdefinierende Daten, produktrepräsentierende Daten und produktpräsentierende Daten sind Ausprägungen prozessinterner Daten (SCHULZ 2008, S. 76). Prozesseexterne Daten existieren bereits vor dem Entwicklungsprozess und werden zu dessen Unterstützung genutzt (z. B. Normen, Patente, etc.).

Auf Grund der zunehmenden Komplexität der Entwicklungsprozesse und des Produktes wächst allerdings die Datenflut. Eine besondere Herausforderung in der Unternehmenswelt stellen sogenannte „versteckte Daten“ dar, die in unstrukturierter Form vorliegen. Laut einer Schätzung von Merrill Lynch handelt es sich hierbei um bis zu 85% der Daten eines Unternehmens (BLUMBERG & ATRE 2003). Um Daten dennoch sinnvoll nutzen zu können, müssen nach STRONG et al. 1997 bestimmte Qualitätskriterien erfüllt werden, welche in vier Kategorien eingeteilt werden. Die intrinsische Datenqualität beinhaltet die Fehlerfreiheit, Objektivität, Glaubwürdigkeit und Reputation. Ebenfalls müssen benötigte Daten im Sinne der Verfügbarkeit unter Berücksichtigung von Sicherheitsbeschränkungen zugreifbar sein. Der Kontext der Daten wird durch Aspekte wie Relevanz, Mehrwert, zeitlicher Aufwand, Vollständigkeit und Menge der Daten bestimmt. Zuletzt spielen Faktoren der Repräsentation der Daten eine Rolle. Daten müssen interpretierbar, prägnant und konsistent dargestellt sein, um den Aufwand für ihr Verstehen gering zu halten. Als Möglichkeiten des Umgangs mit unstrukturierten Daten können darüber hinaus strukturiertere Beschreibungen von Dokumenten oder der Einsatz von besseren Suchtechnologien (z. B. semantische Suche) genutzt werden.

In der Produktentwicklung wird diesen Herausforderungen durch den Einsatz von Produkt-Daten-Management-Systemen (PDM Systeme) und Engineering-Data-Management-Systemen (EDM Systeme) begegnet (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2002). In ihnen können entwicklungsrelevante Daten und Informationen erfasst und entsprechend den Anforderungen und Qualitätskriterien bereitgestellt werden (siehe Kapitel 4.4.3).

### 4.2.4 Wissen zur Verarbeitung der Information

Für die Verarbeitung von Informationen ist Wissen erforderlich. Wie in der Ausgangssituation beschrieben, wird Wissen in der heutigen Zeit eine zunehmende

Bedeutung im Unternehmen beigemessen (KRCMAR 2010, S. 623). Wissen wird in der Produktentwicklung nicht nur für die Individualarbeit benötigt, sondern sollte auch in Gruppen- und Teamarbeit eingebracht und mit anderen Personen geteilt werden (LINDEMANN 2009, S. 19). Der Austausch von Wissen im Entwicklungsprozess, wie beispielsweise angewandte Regeln und Begründungen für Entscheidungen, erfordert verstärkte Unterstützung durch Software-Werkzeuge (SZYKMAN et al. 2001). Generell kann der Umgang mit Wissen im Unternehmen (z. B. um Wissen zu vermehren, zu teilen, zu verbreiten und zu nutzen) auch durch die Anwendung geeigneter Arbeitsmethoden unterstützt werden (LINDEMANN 2009, S. 231). Die rasche Weiterentwicklung einiger für die Entwicklung relevanten Wissensgebiete (PAHL et al. 2004, S. 8) erfordert darüber hinaus ein kontinuierliches Einbinden von Experten in den Entwicklungsprozess, um den aktuellen Wissensbedarf decken zu können.

In der Produktentwicklung ist sowohl Fachwissen als auch Handlungswissen erforderlich (LINDEMANN 2009, S. 22; PAHL et al. 2004, S. 10). Fachwissen beschreibt Kenntnisse über das Produkt, die Technologien des Produkts und des Prozesses, und über den gesamten Lebenszyklus. Das Handlungswissen bestimmt, wie ein Entwickler eine Aufgabe durchführt.

HICKS et al. 2002 teilen das Wissen entsprechend seiner Anwendbarkeit in unterschiedlichen Situationen der Produktentwicklung in vier Level ein. Fallbeispielswissen ist lediglich für spezifische Situationen in einem bestimmten Anwendungsgebiet (z. B. Erstellung von Finite-Elemente-Modellen) zu nutzen. Spezifisches Wissen kann für ähnliche oder bekannte Situationen in dem gleichen Anwendungsgebiet angewandt werden. Generisches Wissen kann in unbekanntem Situationen in dem gleichen Anwendungsgebiet angewandt werden, wogegen allgemeine Prinzipien für unbekanntem Situationen in unbekanntem Anwendungsgebieten eingesetzt werden können.

Zusammenfassend stellen Informationen das wesentliche Umsatzprodukt in der Produktentwicklung dar. Informationen zum Produkt können in Produktmodellen repräsentiert werden. Daten können als Input für die Erstellung von Produktmodellen dienen und Produktmodelle können neue Daten generieren. Für die Ausführung der Handlungen in Produktentwicklung ist Wissen erforderlich. Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen ist ein Teilaspekt dieses Wissens und der Fokus dieser Arbeit.

### 4.3 Produktmodelle

Die einzelnen Zwischenstände der Produktinformationen im Produktentwicklungsprozess werden in Form von Produktmodellen repräsentiert. ANDREASEN 1994 bezeichnet Modellierung als die „Sprache des Entwicklers“. Er beschreibt den Entwicklungsprozess als ein Voranschreiten von Modell zu Modell, wobei der Entwickler unterschiedliche Modelltypen nutzt. Produktentwicklungsprozesse beschäftigen sich mit mehreren, zum Teil miteinander verknüpften Modellen zur Abbildung unterschiedlicher Aspekte des zukünftigen Produktes (GROBE AUSTING 2012, S. 11). Mit den einzelnen Produktmodellen werden nicht nur unterschiedliche Ziele verfolgt, sondern sie weisen auch eine unterschiedliche Bedeutung in den verschiedenen Prozessphasen auf (MEERKAMM et al. 2009, S. 33). Beispielsweise nutzen Entwickler Produktmodelle bereits bevor sie mit der Realisierung des Produktes beginnen, um dieses frühzeitig zu testen (RUMBAUGH et al. 1994).

Diese Kapitel definiert zunächst den Begriff Produktmodell und grenzt ihn gegenüber anderen Definitionen ab. Daraufhin wird die aktuelle Verwendung von Produktmodellen im Entwicklungsprozess beschrieben.

### 4.3.1 Definition Produktmodell und Produktmodelltyp

Wie in der Definition der zentralen Begriffe in Kapitel 2.1 beschrieben, wird in dieser Arbeit das Produktmodell im Sinne der allgemeinen Modelltheorie wie folgt definiert:

*Ein Produktmodell ist die Abbildung eines realen oder gedachten Produktes hinsichtlich eines bestimmten Zwecks im Entwicklungsprozess.*

Die Abbildung kann sowohl das gesamte Produkt umfassen, als auch lediglich einzelne Teilaspekte des Produktes (z. B. bestimmte Bauteile, Sichtweisen, etc.). Wie auch bei den Definitionen des allgemeinen Modellbegriffs existieren verschiedene Definitionen des Begriffs Produktmodell (siehe Anhang 10.1). Sie weichen hinsichtlich ihrer Anforderungen an Inhalt und Umfang eines Produktmodells zum Teil stark voneinander ab (AWISZUS 2000). Auch wird der Begriff nicht konsequent für die beschriebene Definition genutzt und es existieren mehrere Synonyme zu diesem Begriff.

Grundlegend lassen sich diese Definitionen des Begriffs Produktmodell in zwei Klassen einteilen (siehe Bild 4-6).

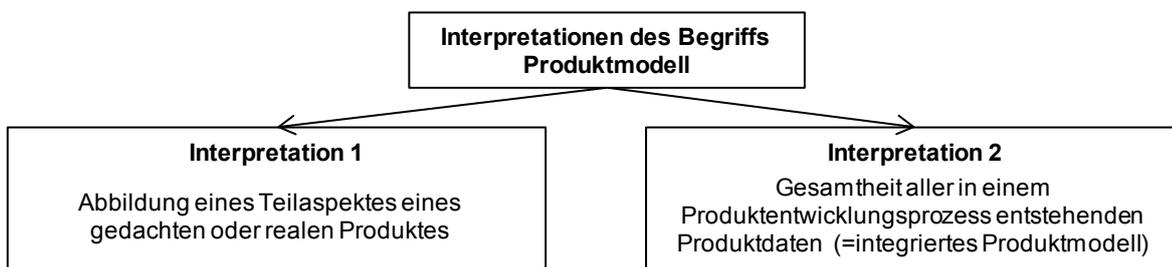


Bild 4-6: Interpretationsmöglichkeiten des Begriffs Produktmodell

Die eine Klasse beschreibt das Produktmodell als Abbildung eines Teilaspektes eines gedachten oder realen Produktes (LINDEMANN 2009; MEERKAMM et al. 2009; RACHURI et al. 2008; PRATT 1995; VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993, etc.). Dies entspricht der in dieser Dissertation gewählten Definition. Die zweite Klasse bezeichnet Produktmodelle als Gesamtheit aller in einem Produktentwicklungsprozess entstehenden Produktdaten und Produktinformationen (z. B. POTINECKE 2009, S. 51; EIGNER & STELZER 2009, S. 28, GRABOWSKI et al. 1993, S. 4 f., etc.). Die zweite Klasse wird in einigen Veröffentlichungen gleichgesetzt mit der Bezeichnung des „integrierten Produktmodells“. Der Begriff „integriertes Produktmodell“ wird allerdings oftmals nicht konsistent zu „Produktmodell“ abgegrenzt. Der größte Unterschied zwischen diesen zwei Definitionen liegt in der Anzahl der im Produktentwicklungsprozess entstehenden Produktmodelle. Nach der ersten Definition entstehen über den Produktentwicklungsprozess hinweg mehrere Produktmodelle. Nach der zweiten Definition entsteht nur ein gesamtheitliches Produktmodell. Zur klaren Abgrenzung wird im weiteren Verlauf dieser Dissertation immer der Begriff „integriertes Produktmodell“

verwendet, wenn es sich um einen gesamtheitlichen Produktbeschreibungsansatz handelt. Integrierte Produktmodelle bilden einzelne Sichten auf ein Produkt durch sogenannte Partialmodelle ab (GRABOWSKI et al. 1993, S. 17). Partialmodelle können als Produktmodelle im Sinne dieser Dissertation betrachtet werden. Sie weisen allerdings im Vergleich zu „normalen“ Produktmodellen die Besonderheit auf, dass sie Teil eines integrierten Produktmodells sind und damit eindeutige Schnittstellen zwischen ihnen existieren. Der Ansatz der integrierten Produktmodelle wird in Kapitel 4.4.5 als Ansatz zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen näher beschrieben.

Neben der Bezeichnung Produktmodell werden für den Begriff einige synonyme bzw. ähnliche Bezeichnungen benutzt. LAUER 2010 betrachtet beispielsweise (Entwicklungs)Dokumente, die während des Entwicklungsprozesses entstehen und Produktinformationen enthalten. Laut MEERKAMM et al. 2009 (S. 33) können Produktmodelle als Zwischenergebnisse in definierten Prozessschritten des Produktentwicklungsprozesses in Form von Dokumenten erzeugt werden. Ein Dokument wird allgemein als „amtliches Schriftstück“ und im Kontext der elektronischen Datenverarbeitung als „strukturierte, als Einheit erstellte und gespeicherte Menge von Daten“ definiert (DUDEN 2013a). Die zweite Interpretation der Definition entspricht dem Begriff der „Datei“. Produktmodelle, wie sie im Sinne dieser Dissertation gesehen werden, können in Form von Dokumenten vorliegen bzw. als Dateien auf einem Rechner gespeichert werden, müssen dies aber nicht. Es gibt ebenso Produktmodelle (z. B. physische Prototypen) die keine Dokumente sind bzw. nicht als Datei gespeichert sind. Ebenso gibt es Dokumente und Dateien, die keine Produktmodelle sind (z. B. Gesprächsprotokolle). Ein weiterer teilweise synonym genutzter Begriff zu Produktmodell stellt der Begriff Produktdaten dar. In Rechnern abgelegte Produktmodelle, wie beispielsweise CAD-Modelle oder Stücklisten, können beispielsweise als Produktdaten bezeichnet werden. Im englischen Sprachraum hat sich neben der Bezeichnung „product model“ darüber hinaus auch der Begriff „product representation“ bzw. „design representation“ etabliert (siehe z. B. CHANDRASEGARAN et al. 2013 bzw. BUSKERMOLLEN & TERKEN 2012).

Ein Produktmodell wird in dieser Dissertation als eine Instanziierung eines Produktmodelltyps verstanden. Der Produktmodelltyp stellt im Sinne der Modelltheorie das Meta-Modell des jeweiligen Produktmodells dar. Der Produktmodelltyp kann – sofern es sich um rechnerbasierte Modelle handelt – die Syntax und Semantik der Modellierungssprache definieren, in der das Produktmodell repräsentiert wird. In Bild 3-6 in Kapitel 3.4 wurde dieser Zusammenhang bereits für das relationsorientierte Funktionsmodell erläutert. Ein Produktmodelltyp kann in unterschiedlichen Sprachen umgesetzt werden. Deshalb gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, ein relationsorientiertes Funktionsmodell zu repräsentieren. Produktmodellarten fassen ähnliche Produktmodelltypen zusammen. Beispielsweise können alle Produktmodelltypen, die in CAD-Programmen (Computer Aided Design) erstellt werden zu der Modellart CAD-Produktmodelle zusammengefasst werden. Die Bedeutung der Zusammenfassung von Produktmodelltypen in Produktmodellarten wird auch im folgenden Kapitel nochmals aufgegriffen.

### 4.3.2 Verwendung von Produktmodellen

Produktmodelle entstehen durch Abstraktion komplexer Sachverhalte und können in der Produktentwicklung beispielsweise zur Generierung eines besseren Problem- oder Sachverständnisses, zur Erfassung und Analyse von Systemen, zur Spezifizierung von Systemen und zur Dokumentation von Systemmerkmalen genutzt werden (LINDEMANN 2009, S. 11). Wie Meta-Modelle im Allgemeinen weisen Produktmodelltypen meist eine spezifische Ausrichtung auf und unterstützen nur eine einseitige Betrachtungsweise des Produktes (LINDEMANN 2009, S. 12). Daher werden in den einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses unterschiedliche Produktmodelltypen für unterschiedliche Zwecke verwendet. Auf Grund der steigenden Komplexität im Entwicklungsprozess und des Produktes entstand ein Bedarf nach spezifischen Produktmodelltypen. Zur Deckung dieses Bedarfs wurden vorhandene Produktmodelltypen weiterentwickelt und neue Produktmodelltypen erzeugt (CHANDRASEGARAN et al. 2013; HANNAH et al. 2012; KOHN et al. 2012; PRATT 1995). Die unterschiedlichen Produktmodelltypen werden in Kapitel 6.5 als Teil des Lösungsansatzes näher aufgezeigt.

PONN & LINDEMANN 2011 (S. 21) nennen beispielsweise sechs Möglichkeiten der Verwendung von Produktmodellen im Entwicklungsprozess:

- Funktionsmodelle und -strukturen zur Beschreibung der Funktionen eines Produktes und deren Abhängigkeiten
- Handskizzen zur Beschreibung von prinzipiellen Lösungskonzepten bzw. zur Darstellung des Produktdesigns
- 2D- oder 3D-Geometriemodelle zur detaillierten Beschreibung der Geometrie
- Kinematische Modelle zur Darstellung der dynamischen Abläufe im Produkt
- Berechnungsmodelle, welche Produkteigenschaften bzw. Produktverhalten analytisch oder numerisch bestimmen
- Physische Modelle, welche für orientierende Versuche zur Bewertung des Designs verwendet werden

Andere Autoren verfolgen einen produktdatenbezogenen Ansatz zur Beschreibung der Verwendung von Produktmodellen. POTINECKE 2009 (S. 52 f.) leitet beispielsweise aus den unterschiedlichen Beschreibungen von Produktmodelltypen von Awiszus (2000), Schichtel (2002), Nohe (1999) und Grabowski (1993) fünf Verwendungsmöglichkeiten ab:

- Struktur- oder teileorientierte Produktmodelle beschreiben das Gesamtprodukt anhand der Einzelteile und deren Verbindungen (z. B. Hierarchie, Relationen)
- Topologisch-geometrische Produktmodelle beschreiben die „geometrische Umgebung“ eines Produktes
- Feature- oder funktionsorientierte Produktmodelle enthalten im Vergleich zu geometrischen Modellen Zusatzinformationen über Produkteigenschaften oder Produktverhalten
- Tätigkeitsorientierte Produktmodelle enthalten Informationen, die zur Erstellung des Produktmodelles benötigt werden
- Integrierte Produktmodelle bilden die Gesamtheit der Produktdaten und -informationen in allen Lebensphasen ab

Beide Auflistungen an Verwendungsmöglichkeiten von Produktmodellen bilden eine spezifische Sicht auf Produktmodelle ab. Sie überschneiden sich in einigen Aspekten (z. B. Funktionsabbildung), in anderen Aspekten ergänzen sie sich (z. B. physische Prototypen bzw. integriertes Produktmodell).

Bei der Entwicklung eines Produktes werden mehrere Produktmodelltypen verwendet, um konkrete Modelle des Produkts zu erstellen. Insgesamt wird so im Entwicklungsprozess eine Vielzahl an unterschiedlichen Produktmodellen erzeugt (LINDEMANN 2009, S. 12). Die Erstellung der einzelnen Produktmodelle findet oftmals als Teilaspekt oder Ergebnis einer Methode statt. Darin werden die einzelnen Schritte der Erstellung des Modells beschrieben und das Modell wird entsprechend des in der Methode definierten Zwecks genutzt. Eine Auflistung an modellorientierten Methoden in der Produktentwicklung zeigt FUCHS 2006 (S. 68). Beispielsweise ist ein relationsorientiertes Funktionsmodell das Zwischenergebnis einer relationsorientierten Funktionsmodellierung. Durch dessen Nutzung können die weiteren Schritte der Methode durchgeführt werden.

Da Produktmodelle eine zentrale Rolle im Entwicklungsprozess einnehmen, können sie in Ergänzung zur Informationsrepräsentation ebenfalls zur Bewertung und Steuerung des Produktentwicklungsprozesses genutzt werden. Beispielsweise verwendet GROBE AUSTING 2012 Produktmodelle zur Bestimmung und Bewertung der Komplexität von Produktentwicklungsprozessen. Er stellt ein Metamodell von Produktmodellen auf, das eine Produktivitätsbewertung des Entwicklungsprozesses ermöglicht. Er integriert dazu die im Entwicklungsprozess auftretenden Produktmodelle in einen Graphen und analysiert diesen unter Verwendung von Kennzahlen der strukturellen Komplexität. Auch die Steuerung von Produktentwicklungsprozessen ist anhand der Betrachtung von Produktmodellen möglich. Information über das temporale zeitliche Verhalten von Produktmodellen bezüglich der Veränderung des Komplexitätsgrades eines Produktmodells werden beispielsweise von HERBERG et al. 2010 dazu genutzt, um Aktivitäten im Entwicklungsprozess besser zu synchronisieren.

### 4.3.3 Produktmodellklassifikationen

Neben der in Kapitel 3.2 beschriebenen allgemeinen Modellklassifikation lassen sich Produktmodelle anhand anwendungsspezifischer Produktmodellklassifikationen einteilen. SUMMERS & SHAH 2004 heben allerdings hervor, dass es wie auch schon bei den allgemeinen Modellklassifikationen keine Übereinkunft hinsichtlich einer Klassifikation von Produktmodellen gibt. Dieses Kapitel bietet einen Überblick über bestehende Klassifikationen für Produktmodelle. Die Sammlung an Klassifikationen baut auf der Arbeit von KOHN et al. 2012 und PRODUKTENTWICKLUNG 2011a auf. Die folgende Tabelle 7 gibt einen Überblick über Klassifizierungsmerkmale von Produktmodellen und zugehörige Ausprägungen. In den angegebenen Literaturquellen weichen die Ausprägungen zu den Klassifizierungsmerkmalen sowohl in ihrer Anzahl als auch ihrer Bezeichnung voneinander ab. Auf Grund der Vielfalt an unterschiedlichen Ansätzen ist eine vollständige Sammlung von Produktmodellklassifikationen nicht realistisch. Die dargestellte Aufzählung von Klassifizierungsmerkmalen erhebt daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit, bildet allerdings die in vielen Quellen als wichtig erachteten Klassifizierungsmerkmale ab.

Tabelle 7: Klassifizierungsmerkmale von Produktmodellen und exemplarische Ausprägungen

Klassifizierungsmerkmal	Exemplarische Ausprägungen	Quellen
Existenzart	Intern, extern	(PONN & LINDEMANN 2011, S. 21)
Konkretisierungsgrad / Konkretisierungsstufen	Anforderungen, Funktionen, Wirkprinzipien, Gestalt	(RODENACKER 1976, S. 28), (EHRENSPIEL 2007, S. 38), (PONN & LINDEMANN 2011, S. 21), (GERO 1990), (RUDE 1998, S. 45, S. 239), (BRIX et al. 2003, S. 1)
Phase in der Produktentwicklung / im Lebenszyklus	Produktplanung, Entwicklung und Konstruktion, Fertigungsplanung, Montage, Prüfung, Vertrieb, Beratung, Verkauf, Gebrauch, Änderung, Instandhaltung, Aufbereitung bzw. Auflösung	(VDI 2221 1993, S. 8), (HERMANN 2010, S. 192), (ANDERL 2008, S. 13), (LAUER 2010, S. 83), (MEIMANN 2010, S. 4), (JUN et al. 2007, S. 168), (DETTMERING 2005), (MCKAY et al. 1996, S. 828)
Abgebildete Attribute / Inhalt	Artefakte, Feature, Funktion, Form, Material, Verhalten, Fluss, Spezifikation, Zusammenbau, Bedingungen, Anforderungen	(FENG et al. 1999), (SZYKMAN et al. 2000), (FENVES 2002), (ONG et al. 2008), (HORVÁTH & RUDAS 2000), (WANG & WANG 2009), (TAMA & REIDSEMA 2010), (XIE & RUI, 2010)
Produktmodelltyp	Struktur- oder teileorientiert, Topologisch-geometrisch, Feature- oder funktionsorientiert, tätigkeitsorientiert, integriert	(POTINECKE, 2009, S. 52), (ABELN 1995)
Darstellungsform / Erscheinungsform	Semantisch, grafisch, tabellarisch, analytisch, physikalisch	(DETTMERING 2005), (LAUER 2010, S. 83), (ULLMANN 2003, S. 34, S. 38), (FELGEN 2007, S. 33, S. 167), (FUCHS 2006, S. 93)
Zweck	Zielmodell, Problemmodell, Entwicklungsmodell, Verifikationsmodell	(LAUER 2010, S. 83, S. 198, S. 199, S. 200), (PONN & LINDEMANN 2011, S. 19), (FUCHS 2006, S. 17, S. 35)
Struktureller Aufbau	Morphologie, Relationen, Taxonomie, Veränderung Abstraktion, Hierarchie, Selektivität, Kapselung, Zerlegbarkeit, Vererbung, Assoziation	(FELGEN 2007, S. 167), (FUCHS 2006, S. 17, S. 30)
Herkunft/ Ersteller	Unternehmensintern, unternehmensextern	(ZHU et al. 2004, S. 4), (LAUER 2010, S. 83)
Informationsquelle	Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, Wettbewerb, Kunde	(LAUER 2010, S. 83)
Änderungsverhalten	Stationär, dynamisch	(ZHU et al. 2004, S. 4), (GAO et al. 2004, S. 251)
Fachdisziplin	Geometriemodell, physikalisches Modell, Betriebswirtschaftsmodell	(DETTMERING 2005)
Vollständigkeit	unvollständig, vollständig	(Dylla 1990, S. 21)
Anwendungsaufwand	Vorkenntnisse / Vorbildung nötig, keine Vorkenntnisse / Vorbildung nötig	(LAUER 2010, S. 83)
Aufwand der Erstellung	Sehr umfangreich, aufwendig	(LAUER 2010, S. 83)

Produktmodelle können anhand ihrer **Existenzart** allgemein in interne und externe Produktmodelle unterteilt werden (PONN & LINDEMANN 2011, S. 21). Interne Produktmodelle existieren nur im Gedächtnis des Entwicklers und sind eine individuelle, subjektive

Abbildung des Produktes. Externe Produktmodelle dagegen können von mehreren Individuen wahrgenommen werden.

Produktinformationen werden über den Produktentwicklungsprozess bis zur vollständigen Produktbeschreibung konkretisiert. Es gibt unterschiedliche Ansätze zur Beschreibung der durchlaufenen **Konkretisierungsstufen**. Beispielsweise definiert GERO 1990 entsprechend einzelner Transformationstätigkeiten die Stufen Funktion, Verhalten, Struktur und Design. Auch das Münchner Produktkonkretisierungsmodell (MKM) stellt eine Möglichkeit zur Einteilung von Produktmodellen anhand Konkretisierungsstufen dar. Ausgehend von Anforderungen werden Produktmodelle von Funktionen über Wirkprinzipien zur konkreten Gestalt auf Bauebene konkretisiert (PONN & LINDEMANN 2011, S. 27).

Die Nutzung des Produktmodells in bestimmten **Phasen der Produktentwicklung** bzw. des Produktlebenszyklus ist ebenfalls ein Unterscheidungsmerkmal. Einzelne Produktmodelle werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten für unterschiedliche Zwecke genutzt. Für die Abgrenzung der Attribute dieses Merkmals können die einzelnen Schritte der bereits in Kapitel 4.1 vorgestellten Produktentwicklungsmethodiken genutzt werden.

Ein weiteres wesentliches Unterscheidungsmerkmal stellen die in Produktmodellen **abgebildeten Attribute** dar. FENVES 2002 analysiert bestehende Produktmodelle anhand der darin abgebildeten Attribute. In dieser Klassifikation sind ähnliche Ausprägungen wie im Konkretisierungsgrad enthalten. Allerdings verfeinert FENVES 2002 die Einteilung. Neben Anforderungen, Funktionen, Verhalten und Form werden explizit Attribute wie Features, Material, Fluss, Bedingungen und Anforderungen ergänzt.

Eine übergreifende Abgrenzung zwischen **Produktmodelltypen** findet sich wie im vorigen Kapitel beschrieben in POTINECKE 2009 (S. 52 f.). Dort werden Produktmodelle eingeteilt nach Struktur- oder teileorientierte Produktmodelle, Topologisch-geometrische Produktmodelle, Feature- oder funktionsorientierte Produktmodelle, tätigkeitsorientierte Produktmodelle und integrierte Produktmodelle.

Die Ausprägungen zur Klassifikation nach der **Darstellungs- bzw. Erscheinungsform** eines Produktmodells greifen die allgemeinen Arten der Modelldarstellung auf (siehe Kap. 3.2). Die einzelnen Autoren (siehe Tabelle) teilen Produktmodelle nach den Darstellungsformen semantisch, graphisch, tabellarisch, analytisch bzw. physikalisch ein.

Der **Zweck**, für den Produktmodelle eingesetzt werden können, stellt ein weiteres Klassifizierungsmerkmal dar. Zielmodelle werden zur Erfassung, Strukturierung und Dokumentation von geforderten Systemmerkmalen eingesetzt. Zur Generierung eines besseren Problem- oder Systemverständnisses in Bezug auf existierende oder zu entwickelnde Systeme, zur Darstellung von Schwachstellen und Optimierungspotenzialen können sogenannte Problemmodelle eingesetzt werden. Entwicklungsmodelle dienen der Spezifizierung der Struktur sowie der geometrischen und stofflichen Beschaffenheit eines zu entwickelnden Produktes. Verifikationsmodelle erfassen wesentliche Eigenschaften eines Produktes, die für eine Bewertung hinsichtlich der Produktqualität und Anforderungserfüllung relevant sind (PONN & LINDEMANN 2011, S. 20).

Der **strukturelle Aufbau** eines Produktmodells bezieht sich auf die Art der Abbildung der Originalattribute im Modell und somit auf die verwendete Mächtigkeit der

Modellierungssprache. Darunter fallen Attribute wie Abstraktion, Hierarchie, Selektivität, Kapselung, Zerlegbarkeit, Vererbung und Assoziation der einzelnen Modellelemente.

Neben den bisher beschriebenen Klassifizierungsmerkmalen werden in der Literatur noch weitere aufgeführt. Beispielsweise können Produktmodelle nach deren **Herkunft bzw. nach dem Ersteller** eingeteilt werden. Vor allem die Unterscheidung zwischen unternehmensinterner bzw. unternehmensexterner Herkunft (z. B. durch einen Auftraggeber) zählt hierzu (ZHU et al. 2004). Eine ähnliche Abgrenzung stellt die für die Erstellung eines Produktmodells genutzte **Informationsquelle** dar. LAUER 2010 (S. 83) nennt beispielsweise Markt, Gesetze, Normen, Unternehmensstrategien, Wettbewerb und den Kunden als Informationsquellen. Das **Änderungsverhalten** als weiteres Merkmal von Produktmodellen kann unterteilt werden nach stationär und dynamisch (ZHU et al. 2004; GAO et al. 2004). Während sich stationäre Modelle im Laufe des Entwicklungsprozesses nicht ändern, sind dynamische Modelle Änderungen unterworfen. Nahe an den Inhalt eines Modells gekoppelt ist auch die Klassifizierung anhand der **Fachdisziplin**, durch die das Produktmodell eingesetzt wird. DETTMERING 2005 unterscheidet beispielsweise bezüglich der nutzenden Fachdisziplin nach Geometriemodellen, physikalischen Modellen und Betriebswirtschaftsmodellen. Darüber hinaus gibt es Klassifizierungsmerkmale, die speziell zur Bewertung von Produktmodellen oder der Arbeit mit ihnen eingesetzt werden können – wie beispielsweise die **Vollständigkeit** (DYLLA 1990, S. 191), der **Anwendungsaufwand** LAUER 2010 (S. 83) und der **Aufwand zur Erstellung** LAUER 2010 (S. 83).

In diesem Kapitel wurde das Produktmodell als Hauptbetrachtungsgegenstand dieser Dissertation eingeführt. Der Begriff Produktmodell wurde definiert, die vielfältige Verwendung von Produktmodellen im Entwicklungsprozess aufgezeigt und Klassifikationsmöglichkeiten beschrieben. In der Literatur existiert keine einheitliche Definition des Begriffes Produktmodell. Ebenfalls gibt es vielfältige Ansätze zur Klassifikation von Produktmodellen bzw. Produktmodelltypen.

#### 4.4 Arbeit mit Produktmodellen

Produktmodelle treten wie in den vorigen Kapiteln gezeigt in einer großen Vielfalt im Entwicklungsprozess auf. Sie werden für unterschiedliche Zwecke in verschiedenen Phasen des Produktentwicklungsprozesses genutzt. In diesem Kapitel werden einzelne Aspekte der Arbeit mit Produktmodellen beleuchtet (siehe Bild 4-7). Es wird aufgezeigt, welche Rolle der Entwickler als Faktor Mensch in der Arbeit mit Produktmodellen spielt. Daraufhin wird die aktuelle Werkzeugunterstützung in der Arbeit mit Produktmodellen vorgestellt. Ebenfalls werden Ansätze des Informations- und Wissensmanagements beschrieben, um eine Verortung des Lösungsansatzes zu ermöglichen. Weiterhin werden sowohl methodische als auch integrierende Ansätze vorgestellt, die den Entwickler aktuell bei der Arbeit mit Produktmodellen unterstützen sollen. Die bestehenden Ansätze werden hinsichtlich der vorliegenden Herausforderungen diskutiert und bezüglich ihrer Eignung für die Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen bewertet. Darüber hinaus werden aktuelle Möglichkeiten zur Erlangung des Wissens über die Arbeit mit Produktmodellen anhand einer Beschreibung der modellrelevanten Ausbildung aufgezeigt. Dies bildet die Grundlage für die Ableitung des Bedarfs nach Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen im Kapitel 4.5.

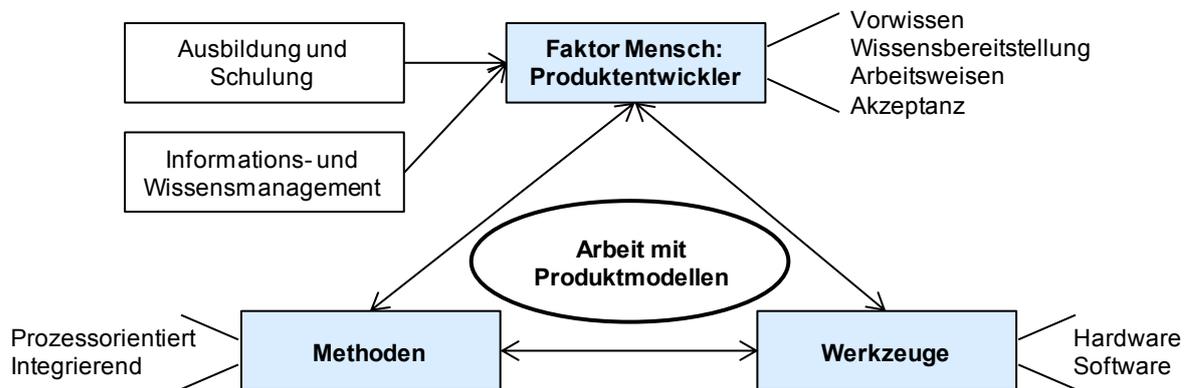


Bild 4-7: Aspekte der Arbeit mit Produktmodellen

#### 4.4.1 Faktor Mensch

Dieses Kapitel beleuchtet den Faktor Mensch im Produktentwicklungsprozess allgemein und bei der Arbeit mit Modellen im Speziellen. Menschen führen die einzelnen Prozesse der Produktentwicklung aus und treiben sie voran (LINDEMANN 2009, S. 19). Die Produktentwicklungsprozesse werden durch den Menschen unter Nutzung seines Wissens, seines Könnens, seiner Organisation und Denkweise gesteuert (BAUERT 1991, S. 10). Unterschiedliche Akteure sind am Entwicklungsprozess beteiligt, wobei dem Produktentwickler die wichtigste Rolle zukommt (EDER & HOSNEDL 2008, S. 152). Aus der Unterschiedlichkeit der beteiligten Akteure im Entwicklungsprozess beispielsweise hinsichtlich Wahrnehmungsfähigkeit, Motivation, Kreativität, Verhalten und Erfahrungen liegen besondere Herausforderungen und Chancen der Produktentwicklung (LINDEMANN 2009, S. 19).

In der Literatur werden Fähigkeiten, Charaktereigenschaften und Wissen genannt, die der Produktentwickler besitzen sollte (z. B. EDER & HOSNEDL 2008, S. 153 oder BAUERT 1991, S. 10). Die folgende Abbildung (Bild 4-8) zeigt Einflussfaktoren auf die Arbeit des Produktentwicklers und wesentliche Eigenschaften, die er erfüllen muss (nach EDER & HOSNEDL 2008, S. 153 und BAUERT 1991, S. 10). Auf Seiten der Persönlichkeit ist das Wissen bzw. das Verständnis als Voraussetzung für die Durchführung von Aufgaben erforderlich. Fähigkeiten, Begabung und Urteilskraft ermöglichen eine qualitativ hochwertige und effiziente Durchführung der Aufgaben und werden durch persönliche Charakteristika wie Produktivität, Ausdauer und Verantwortungsbewusstsein ausgestaltet. Die individuelle Persönlichkeit des Entwicklers muss den Anforderungen und dem Umfeld des jeweiligen Arbeitseinsatzes entsprechen. Spezifische Anforderungen bezüglich Tätigkeit, Kompetenzen und Verantwortung wirken in einem Umfeld auf die Möglichkeiten der effizienten und effektiven Aufgabenbewältigung.

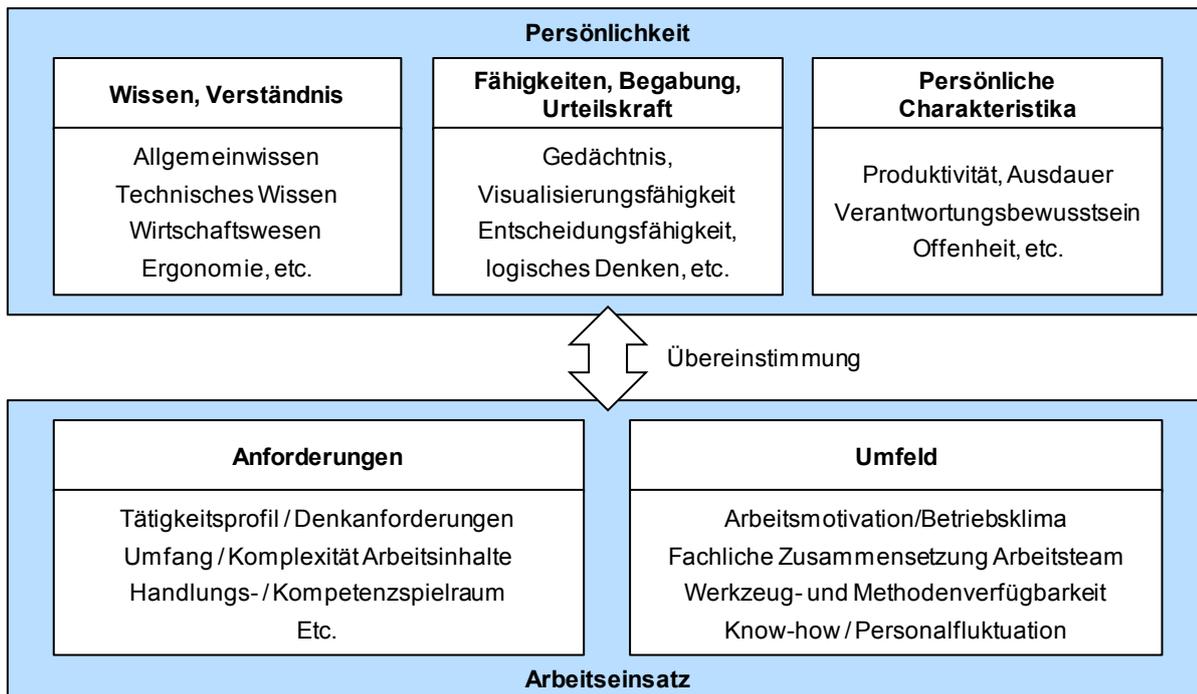


Bild 4-8: Anforderungen an den Produktentwickler (EDER & HOSNEDL 2008 (S. 153) und BAUERT 1991 (S. 10))

Für die erfolgreiche Arbeit mit Modellen können diese Anforderungen an den Entwickler detailliert werden. VAJNA et al. 2009 (S. 143) nennen beispielsweise folgende Basisqualifikationen, die ein Modellbildner mitbringen soll:

- Eingehende Kenntnis über das zu untersuchende System, da sonst nicht entschieden werden kann, was vernachlässigt werden kann
- Kenntnis und Beherrschung der zur Verfügung stehenden Methoden und Werkzeuge für Modellierung und Simulation bzw. Versuchstechnik / Messtechnik
- Erfahrung bei der Auswahl eines geeigneten Modells (Kosten, Zeit, Aussagefähigkeit der Modellergebnisse)
- Kreativität bei der Erstellung des Modells
- Übung in der Interpretation von Ergebnissen: Dies bedeutet, Ergebnisse „richtig“ zu interpretieren, d. h. unter anderem zwischen physikalischen Effekten und Artefakten (z. B. Messfehlern bzw. numerischen Effekten) unterscheiden zu können.

Diese Fähigkeiten können als Konkretisierung der allgemeinen Fähigkeiten eines Ingenieurs aufgefasst werden. Vor allem die Kreativität aber auch die Fähigkeit zur Selbstkritik und zum kritischen Hinterfragen eines Modells spielt bei der Modellerstellung bzw. der Modellvalidierung eine entscheidende Rolle.

Die Begrenzung der menschlichen Fähigkeiten (z. B. bezüglich des Arbeits- oder Langzeitgedächtnisses) wirken sich auf das Arbeitsverhalten in der Produktentwicklung aus (EHRENSPIEL 2009, S. 120). Auf Grund der zunehmenden Komplexität des technischen Produktes und der Entwicklungsprozesse können Produktentwickler das Gesamtsystem trotz

ihrer Fähigkeiten, ihrer Kenntnisse und ihres Wissens häufig nicht mehr in seiner Gesamtheit erfassen. Um dieses Problem zu umgehen, werden sowohl Methoden, Werkzeuge als auch Modelle eingesetzt. Beispielsweise nutzt der Produktentwickler Skizzen, um einen Teilaspekt des Systems zu externalisieren (EDER & HOSNEDL 2008, S. 26). Dadurch kann mit dem System besser interagiert und Gedanken können besser kommuniziert werden. Die folgenden Kapitel beschreiben aktuell bestehende Werkzeuge und Methoden zur Unterstützung des Menschen bei der Arbeit mit Produktmodellen im Entwicklungsprozess.

#### 4.4.2 Werkzeugunterstützung

Der Mensch als zentraler Akteur in der Produktentwicklung nutzt unterschiedliche Werkzeuge zur Durchführung der einzelnen Aufgaben bei der Arbeit mit Produktmodellen. Mit wachsender Bedeutung des Computers stieg die Nutzung von Informationstechnologie (IT)-Werkzeugen in der Produktentwicklung. In der heutigen Zeit sind daher IT-Werkzeuge nicht mehr aus der Produktentwicklung wegzudenken.

#### IT-Unterstützung in der Produktentwicklung

Die folgende Abbildung (Bild 4-9) zeigt die Entwicklung von IT-Unterstützung in der Produktentwicklung (nach KUNZ 2004, S. 22). Ausgehend von einer rein werkstattorientierten Konstruktion steigt der rechnergestützte Anteil in der Produktentwicklung zunehmend.

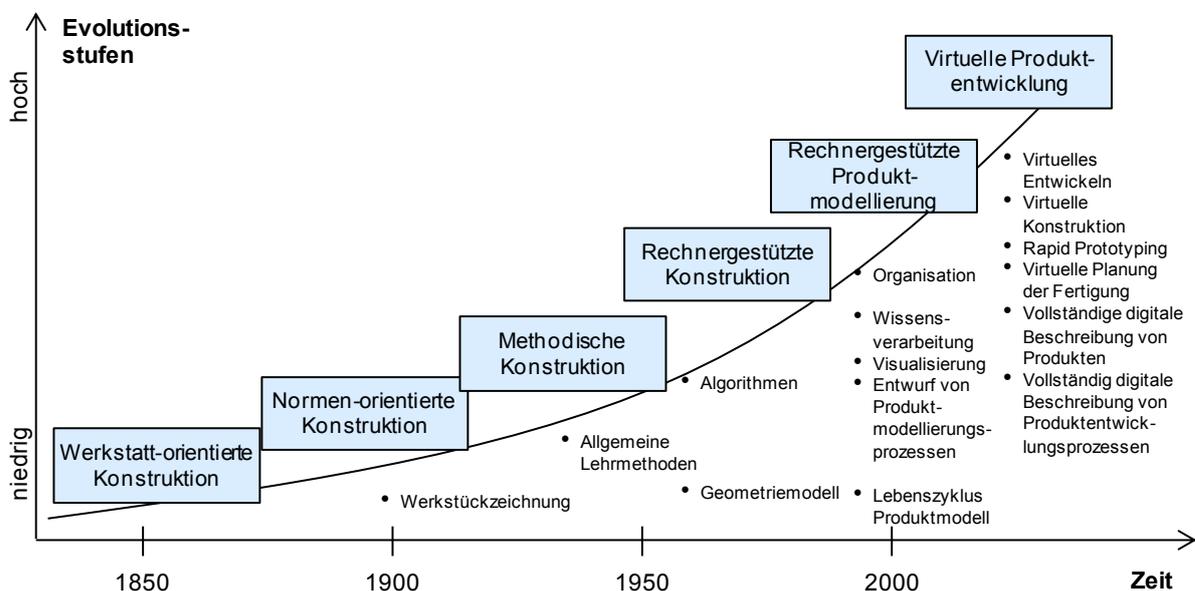


Bild 4-9 Evolutionsstufen der IT-Unterstützung in der Produktentwicklung (nach KUNZ 2004, S. 22)

Die virtuelle Produktentwicklung ist die höchste Evolutionsstufe der IT-Unterstützung. Sie zielt im Rahmen der Virtualisierung des Entwicklungsprozesses auf das Bilden und Analysieren von rechnerinternen Produktmodellen des in Entwicklung befindlichen Produktes ab, um den zeit- und kostenaufwendigen Bau und Test von Prototypen auf ein Minimum zu reduzieren (GAUSEMEIER et al. 2012, S. 19). Kern der virtuellen Produktentwicklung sind CAD (Computer Aided Design)-Systeme und PDM (Produkt Daten Management)-Lösungen

(EIGNER & STELZER 2009, S. 49). CAD-Systeme dienen zur Erarbeitung der funktionalen und geometrischen Grundlage des Produktes in Form von geometrischen Produktmodellen. Mit CAD-Systemen können im Vergleich zu 2D-Zeichnungen Verbesserungen erzielt werden (VAJNA et al. 2009, S. 170 f.). Funktionale oder fertigungstechnische Probleme können so früher erkannt bzw. vermieden werden. Intelligente Funktionen wie parametrisches oder featurebasiertes Modellieren erleichtern den Konstruktionsprozess. Die entstehenden digitalen produkt- und prozessrelevanten Informationen werden in PDM-Lösungen oder PLM (Produkt Lebenszyklus Management)-Lösungen verwaltet und verteilt (EIGNER & STELZER 2009, S. 49). PDM- und PLM-Lösungen werden im folgenden Kapitel als Teil des Informations- und Wissensmanagements in der Produktentwicklung betrachtet.

Neben CAD-Systemen stehen heutzutage abhängig von der Aufgabenstellung (Domänen, Zweck, Nutzen-Aufwand) eine Vielzahl an weiteren rechnerunterstützten Hilfsmitteln (sogenannte CAx-Systeme) zur Verfügung, um die Arbeit mit Produktmodellen zu unterstützen (VAJNA et al. 2009, S. 142; EIGNER & STELZER 2009, S. 49). EIGNER & STELZER 2009 (S. 49) nennen beispielsweise das virtuelle Labor, Montagesimulationen, NC (Numerical Control)-Bearbeitung, Rapid Prototyping, CAS (Computer Aided Styling) als zentrale IT-Lösungen der virtuellen Produktentwicklung. Dazu kommen Lösungen zur rechnerbasierten Simulation von Produkten wie beispielsweise Ablauf- und Funktions-simulationen, Finite Elemente Methode (FEM), Mehrkörpersimulationen (MKS), Computer Fluid Dynamics (CFD) oder auch Nois Vibration Harshness-Geräuschmessungen (NVH). All diese technischen Lösungen betrachten einen bestimmten Produktmodelltyp und unterstützen die Erstellung und Nutzung des jeweiligen Produktmodells.

### **Ergänzungen zur Geometrie-Modellierung**

Während in den Anfängen der rechnergestützten Produktentwicklung die Gestaltung der Geometrie im Vordergrund stand, decken neuere Ansätze zunehmend auch Aspekte der Anforderungsmodellierung, Funktionsmodellierung und des Konzeptentwurfs ab (CHANDRASEGARAN et al. 2013). Hierzu zählen beispielsweise neue kommerzielle Skizzier-Werkzeuge mit denen das früher papierbasierte Erstellen von Skizzen auf den Computer übertragen wird. Auch werden formale Modellierungssprachen mit geeigneter Werkzeugunterstützung entwickelt, die besonders in den frühen Phasen eine Anforderungsmodellierung und eine Repräsentation von Entwicklungsergebnissen ermöglichen. Als Beispiel für eine Modellierungssprache kann die OMG Systems Modelling Language (OMG SysML) genannt werden. Diese dient der Spezifizierung, Analyse, Entwicklung und Verifikation komplexer Systeme (FRIEDENTHAL et al. 2011, S. 29). Einen ähnlichen Ansatz, allerdings fokussiert auf die Produktentwicklung, stellt der Mechatronic Modeller dar. Der Mechatronic Modeller als Werkzeug zur Modellierung von Prinziplösung dient der Unterstützung des Entwicklers bei der Konzipierung von Produkt- und Produktionssystem, indem er Konsistenz zwischen einzelnen Teilaspekten unterschiedlicher Modelle herstellt (GAUSEMEIER et al. 2012, S. 89 und S. 107). Computerbasierte Synthese ist ein weiterer Aspekt zur Unterstützung der Phase des Konzeptentwurfs. Anhand der automatisierten Erstellung von Produktkonzepten können große Lösungsräume schneller erschlossen werden, wodurch Produkte in kürzerer Zeit generiert werden können. Für die computerbasierte Synthese von Lösungen existieren unterschiedliche Ansätze (vgl. HELMS

2012, S. 39 ff.). Objektorientierte Graphgrammatiken (HELMS 2012) und regelbasierte Generierung von Geometrie anhand Spatial Grammars (HOISL 2012) sind exemplarische technische Umsetzungen der computerbasierten Synthese von technischen Lösungen.

In heutigen Softwarelösungen werden meist mehrere Funktionalitäten zur Handhabung von Produktmodellen bzw. der jeweiligen Produktdaten innerhalb der Produktpalette eines Unternehmens angeboten. CHANDRASEGARAN et al. 2013 stellen eine aktuelle Übersicht über Software-Lösungen der größten vier Unternehmen im Bereich der virtuellen Produktentwicklung auf (Autodesk, Dassault Systèmes, Parametric Technology Corporation und Siemens PLM Software) und beschreiben die einzelnen Teilfunktionalitäten. Während früher reine CAD-Systeme existierten, bieten heute alle größeren Softwareanbieter gleichzeitig integrierte PDM/PLM-Lösungen an. Auch werden ergänzende Werkzeuge für Fabriksimulation, Finite Elemente Analyse, Programmierung, Wissensmanagement, nachhaltiges Entwickeln und Skizzieren angeboten (CHANDRASEGARAN et al. 2013).

### **Herausforderungen bei der Anwendung von IT-Lösungen**

Bei der Anwendung von IT-Lösungen in der Produktentwicklung müssen allerdings ebenfalls Herausforderungen berücksichtigt werden. So ist mit der Einführung von IT-Werkzeugunterstützung oftmals ein nicht vernachlässigbarer Aufwand verbunden. Beispielsweise muss die bestehende IT-Systemlandschaft des Unternehmen berücksichtigt werden und neue Software darin entsprechend den Bedarfen integriert werden, da nur so eine breite Akzeptanz bei den späteren Anwendern zu erzielen ist (GAUSEMEIER et al. 2012, S. 19). Wird dies nicht berücksichtigt, so resultiert eine Vielzahl an Individuallösungen, die nicht gekoppelt bzw. untereinander nicht kompatibel sind. Unstrukturierte Datenbestände, uneinheitliche Schnittstellen und mangelhafte Austauschformate erschweren dann den Zugriff auf benötigte Informationen und verursachen erhöhten Zeitaufwand (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 261).

Erschwerend kommt hinzu, dass sich das Nutzenpotential der (durchgängigen) virtuellen Produktentwicklung zum Teil erst in späteren Phasen des Produktlebenszyklus zeigt (VAJNA et al. 2009, S. 171). Dadurch kann der Aufwand in der Produktentwicklung steigen, was zu einer erschwerten Wirtschaftlichkeitsrechnung und zu Akzeptanzproblemen führen kann. Darüber hinaus zeigen Untersuchungen, dass Ingenieure zwischen verschiedenen Medien springen (HENDERSON 1999). HENDERSON 1999 schließt daraus, dass es nicht den einzigen richtigen Weg gibt, um Computersysteme in der Produktentwicklung zu nutzen. Ebenfalls können die in Computersystemen fest vorgeschriebenen linearen Konstruktionsabläufe den Entwickler manchmal hemmen, anstatt ihn zu unterstützen. Auch darf nicht fälschlicherweise davon ausgegangen werden, dass mit dem Einsatz von Computern alle Entwicklungsschritte automatisch ablaufen (EDER & HOSNEDL 2008, S. 445). Wesentliche Aufgaben liegen auch mit Computereinsatz nach wie vor bei dem Entwickler. Wenn dies berücksichtigt wird, kann der Computer als Unterstützungswerkzeug erfolgreich dabei helfen, die Produktqualität zu erhöhen und die Produktentwicklung zu verbessern (EDER & HOSNEDL 2008, S. 445).

### 4.4.3 Informations- und Wissensmanagement

In Kapitel 4.2 wurde die Bedeutung von Informationen und Wissen in der Produktentwicklung erläutert. Da Produktmodelle Produktinformationen repräsentieren und für die Arbeit mit Produktmodellen Wissen vorhanden sein muss, sind Aspekte der Arbeit mit Produktmodellen auch Teil des Betrachtungsgegenstandes des Informations- und Wissensmanagements in der Produktentwicklung. Dieses Kapitel beschreibt zunächst allgemeine Grundlagen und Zielstellung des Informations- und Wissensmanagements. Daraufhin werden Technologien und Methoden des Informations- und Wissensmanagements in der Produktentwicklung aufgezeigt.

Die folgende Abbildung (Bild 4-10) stellt die im Folgenden detailliert beschriebenen Technologien und Methoden des Informations- und Wissensmanagement in der Produktentwicklung dar.

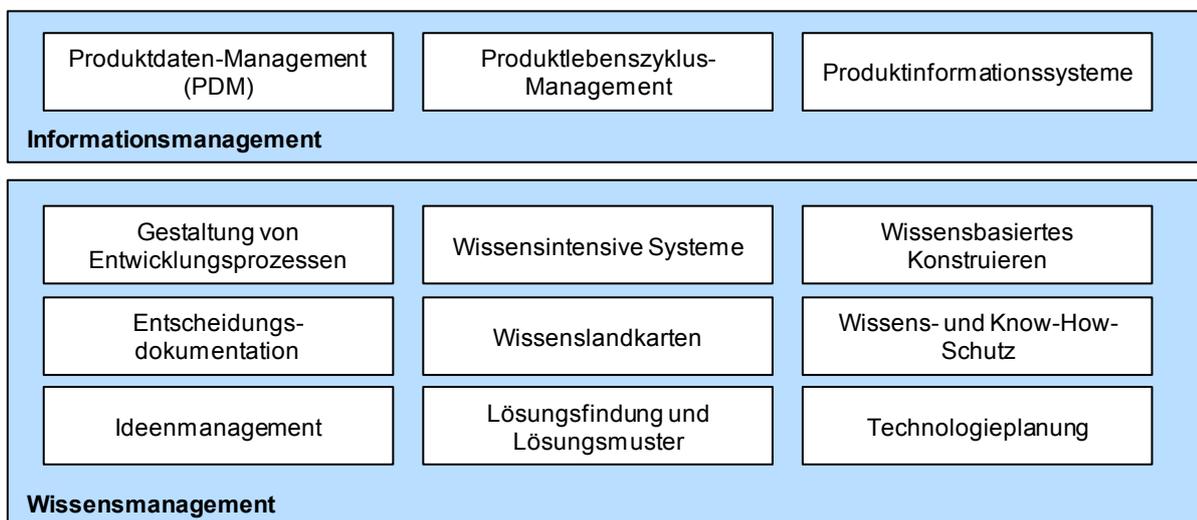


Bild 4-10: Aspekte des Informations- und Wissensmanagements in der Produktentwicklung

Informationsmanagement als elementarer Bestandteil der Unternehmensführung beinhaltet das „Management der Informationswirtschaft, der Informationssysteme, der Informations- und Kommunikationstechnik sowie der übergreifenden Führungsaufgaben“ (KRCMAR 2010, S. 52). Das Ziel des Informationsmanagements liegt in der Gewährleistung des in Hinblick auf die Unternehmensziele bestmöglichen Einsatzes der Ressource Information (KRCMAR 2010, S. 52). GAUSEMEIER et al. 2006 (S. 221) nennen als Aufgabe des Informationsmanagements in der Produktentwicklung, die richtigen Informationen, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit und zu minimalen Kosten verfügbar zu machen. Im Prozess des Informationsmanagements werden Informationen gesammelt, transformiert, gesichert, abgerufen und verteilt (HASKINS 2011, S. 237). Allgemein können nicht nur Produktinformationen, sondern beispielsweise auch Informationen über das Projekt, die Organisation, getroffene Vereinbarungen und beteiligte Personen verwaltet werden. Für die Verwaltung von Produktinformationen werden Technologien des Produktdaten-Managements, des Produktlebenszyklus-Managements und Produktinformationssysteme eingesetzt.

Wissensmanagement ist ein Prozess, der dabei hilft, wichtige Informationen und Expertisen als Teil des Unternehmenswissens zu identifizieren, auszuwählen, zu organisieren, zu verteilen und zu transformieren (TURBAN & VOLONINO 2012, S. 311). Wissensmanagement ist nicht spezifisch auf ein Unternehmen beschränkt, sondern kann auch in den Kontexten Gesellschaft, Städte, Regionen, Länder oder Personen angewandt werden (LEHNER 2009, S. 30 f.). Die Aufgabe des Wissensmanagements liegt darin, das Wissen abhängig von dem tatsächlichen Bedarf verfügbar zu machen. Kernprozesse des Wissensmanagements sind die Identifikation, Erwerb, Bewahrung, Entwicklung, Verteilung und Nutzung von Wissen in einem Unternehmen (PROBST et al. 2010, S. 28).

### Technologien und Methoden des Informationsmanagements

**Produktdaten-Management** (PDM) beschäftigt sich mit der Erfassung von entwicklungsrelevanten Daten und Informationen und ihrer Bereitstellung entsprechend den Anforderungen im Entwicklungsprozess (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2002). PDM beinhaltet häufig auch eine Komponente der Prozesssteuerung, da bestimmte Abläufe der Arbeit mit Informationen vorgegeben werden (z. B. Freigaben, Versions- und Konfigurationsmanagement, etc.). PDM-Systeme dienen der Verwaltung von Produktdaten und damit auch der jeweiligen Produktmodelle.

Die Erweiterung des Produktdaten- und Prozessmanagements auf den gesamten Produktlebenszyklus hat zum **Produktlebenszyklus-Management** (Produkt Lifecycle Management - PLM) geführt. PLM hat den Anspruch, alle Funktionalitäten zum Management der Produktdaten entlang des Produktlebenszyklus zusammenzuführen (VAJNA et al. 2009, S. 233). PLM unterstützt das Modellieren, Erfassen, Verändern, Austauschen und die Nutzung von Informationen in allen Entscheidungsprozessen des Produktlebenszyklus (RACHURI et al. 2008). Um dies zu ermöglichen spielen Standards zur durchgängigen Formulierung der Daten und Informationen eine wichtige Rolle (RACHURI et al. 2008). Für die Integration bestehender Systeme aus verschiedenen Phasen und Disziplinen sind Abstraktionsebenen erforderlich, auf denen die Daten abstrahiert beschrieben werden (LEE et al. 2010). Über Abstraktion können Beziehungen zwischen den vielfältigen Produktdaten der einzelnen Teilsysteme hergestellt werden und so ein übergreifender Austausch ermöglicht werden. Ein bekanntes Beispiel für abstrahierte, standardisierte Darstellungen von Produktdaten bzw. -informationen ist beispielsweise das in ISO 10303 definierte Datenaustauschformat STEP (Standard for the exchange of Product Data) (GRABOWSKI et al. 1993, S. 14).

In heutigen Unternehmen existiert bei der Handhabung von Informationen eine Vielzahl an Individuallösungen, die häufig nicht gekoppelt bzw. untereinander nicht kompatibel sind. **Produktinformationssysteme** vernetzen diese einzelnen individuellen Informationssysteme, um die Wertschöpfungskette zu unterstützen (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 262). Sie strukturieren die vorliegenden Informationen, indem sie Vorlagen, Standards bzw. Klassifikationen vorgeben (EDER & HOSNEDL 2008, S. 409 f.). Frameworks dienen der Festlegung geeigneter Rahmenbedingungen unter denen die erforderlichen Informationen ausgetauscht werden können (z. B. Nachrichtentypen, Inhalte, Übertragungswege und Implementierungsanweisungen) (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 262 ff.). Als Beispiele für Produktinformationssysteme lassen sich Kataloglösungen und elektronische Marktplätze

nennen. In Kataloglösungen sind vorhandene Lösungselemente (z. B. Teilkomponenten) systematisch und strukturiert abgelegt (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 271 ff.). Elektronische Marktplätze dienen der Umsetzung des E-Business in einer virtuellen Umgebung (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 291 ff.).

### **Technologien und Methoden des Wissensmanagements**

Wissensmanagement in der Produktentwicklung beschäftigt sich beispielsweise mit der wissensbasierten **Planung und Gestaltung von Produktentwicklungsprozessen**. Expertenwissen über positive Verläufe des Entwicklungsprozesses können dabei in Prozessmodellen erfasst und so in ähnlichen Entwicklungsaufgaben zur Verfügung gestellt werden (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 348 f.). Da einzelne Entwicklungsaufgaben meist voneinander abweichen, existieren ebenfalls Ansätze der dynamischen Prozessgestaltung basierend auf individuellen Ausgangssituationen oder Rahmenbedingungen (ROELOFSEN 2011).

Weiterhin werden die Erstellung, Bereitstellung und Wartung **wissensintensiver Systeme** als Teil des Wissensmanagements betrachtet. Wissensintensive Systeme stellen Wissen für die Unterstützung der Durchführung wissensintensiver Prozesse bereit (SCHREIBER et al. 1999, S. 6). Die Spannweite von wissensintensiven Systemen geht von Expertensystemen über strukturiertes Intranet und Workflow-Unterstützungs-Werkzeugen bis hin zur Bereitstellung von Best-Practice-Regeln. Gelbe Seiten oder Wikipedia-Ansätze zählen ebenfalls zu den wissensintensiven Systemen. Wissensintensive Systeme werden als Teil der Methodengrundlage dieser Dissertation in Kapitel 5.2 detailliert beschrieben.

Ansätze des „**wissensbasierten Konstruierens**“ (bzw. knowledge based engineering (KBE)) zielen auf die Implementierung von Teilstrecken des Konstruktionsprozesses auf dem Rechner ab (RUDE 1998). Beispielsweise sollen anhand regelbasierter Verfahren Teilaufgaben des geometrischen Konstruktionsprozesses automatisiert durchgeführt werden können (VAJNA et al. 2009, S. 432). Vor allem bei der Wahl konstruktiver Lösungen und der Erstellung automatisierter informationstechnischer Lösungen bietet KBE Unterstützung. Eine aktuelle Auflistung anhand charakterisierender Eigenschaften und eine Gegenüberstellung von Ansätzen des wissensbasierten Konstruierens kann HOISL 2012 (S. 20 ff.) entnommen werden.

Die **Dokumentation der Entscheidungen** im Entwicklungsprozess ist ein weiterer Aspekt des Wissensmanagements. Diese kann entweder über die Entwicklungsgeschichte des CAD-Modells erfolgen oder über die Dokumentation der Überlegungen und Gründe für eine Entscheidung und der betrachteten Alternativen (VAJNA et al. 2009, S. 435). Die Erfassung von Entwicklungsentscheidungen (engl.: design rational capturing) dient als Ergänzung der im Entwicklungsprozess entstehenden Produktinformationen. Es wird dokumentiert, welche Entscheidungen getroffen wurden, warum sie getroffen wurden und wie Entscheidungen untereinander und mit den resultierenden Produkteigenschaften zusammenhängen (SZYKMAN et al. 2001; CHANDRASEGARAN et al. 2013). Beispielsweise strebt IRLINGER 1998 eine Steigerung der Nachvollziehbarkeit an, wie und warum ein Produkt so beschaffen ist, wie es zu einem bestimmten Zeitpunkt vorliegt. Er schlägt lerngerechte Dokumente vor, in denen die benötigten Informationen strukturiert abgelegt sind. Auch der Design Rationale Editor

(DRed) ist ein aktueller Ansatz, der dabei hilft, Entscheidungen zu dokumentieren und nachzuvollziehen, indem er graphisch bei der Diagnose eines Problems, der Synthese einer Lösung und der Kommunikation der Lösung unterstützt (BRACEWELL et al. 2008).

Ebenfalls fallen unter den Aspekt des Wissensmanagements die Planung, Koordination, Kommunikation und Verteilung der Ressource Wissen auf ein Unternehmen unter Nutzung von **Wissenslandkarten**. Unternehmens- und Abteilungswissen kann anhand von Wissenslandkarten strukturiert und visualisiert werden (WICKEL et al. 2013). Vor den Herausforderungen des demografischen Wandels und häufiger Personalwechsel gewinnt in diesem Zusammenhang auch der erfolgreiche Wissenstransfer zwischen erfahrenen und unerfahrenen Ingenieuren eine zunehmende Bedeutung (MAURER 2011).

Der **Wissenschutz** verfolgt das Ziel in Kooperationsbeziehungen zwischen Unternehmen unbewusste bzw. unerwünschte Wissenspreisgabe zu vermeiden (PETERMANN 2011, S. 119). LINDEMANN et al. 2012 stellen beispielsweise Techniken und Methodiken vor, die eingesetzt werden, um Wissenstransfersituationen zu erkennen und zu bewerten und, um situationsspezifisch geeignete Schutzmaßnahmen einzusetzen.

Neben den beschriebenen Aspekten gehören zum Wissensmanagement auch weitere Bereiche in der Produktentwicklung wie Ideenmanagement, Technologieplanung, Methodiken der Lösungsfindung (wie bspw. TRIZ) oder Sammlungen von Lösungsmustern (GAUSEMEIER et al. 2006, S. 347 ff.).

Den genannten Anwendungen des Wissens- und Informationsmanagements ist gemeinsam, dass Informationen bzw. Wissen erfasst, gespeichert und wieder- bzw. weiterverwertet werden soll. In den vergangenen Jahrzehnten entstanden viele unterschiedliche Ansätze zur Erfassung von Informationen und Wissen in der Produktentwicklung (für eine aktuelle Übersicht siehe CONWAY & ION 2013 und CHANDRASEGARAN et al. 2013). CONWAY & ION 2013 unterteilen diese Ansätze nach zwei Kategorien: „record everything and analyse later“ („alles sichern und später auswerten“) und „analyse and document at the time“ („gleichzeitig bewerten und dokumentieren“). Der zweite Ansatz wird von CONWAY & ION 2013 als effizienter bevorzugt, da wenn alles erfasst wird, ein hoher Nachbearbeitungsaufwand entsteht. Automatisierte Erfassungsmethoden sollen den Mehraufwand für den Entwickler in Grenzen halten. Eine Vielfalt an Werkzeugen zur Erfassung der „design rationale“ bietet eine halb-automatisierte Erfassung der in den einzelnen Entwicklungsschritten getätigten Entscheidungen (siehe CONWAY & ION 2013 für eine Übersicht). HICKS et al. 2002 stellen ein Rahmenwerk von Anforderungen für die Erfassung, Speicherung und Wiederverwendung von Informationen und Wissen auf. Sie weisen darauf hin, dass für eine erfolgreiche Erfassung von Wissen und Informationen rechnerbasierte Wissenssysteme bestmöglich in Ergänzung zu dem persönlichen Wissens- und Informationsstand der Mitarbeiter eingesetzt werden müssen. Die Speicherung von Informationen und Wissen kann unterschiedlich realisiert werden. Standard-Datenbanken eignen sich beispielsweise für strukturierte Informationen, während unstrukturiertes Wissen in sogenannten Wissensbasen oder Wissens-Management-Systemen erfasst werden muss (HICKS et al. 2002).

Neben den bereits erläuterten positiven Effekten des Informations- und Wissensmanagements können auch negative Effekte auftreten, wenn den vorliegenden Anforderungen nicht entsprechend begegnet wird. CAREY et al. 2012 untersuchen beispielsweise in einer Studie die

Einführung von Wissensmanagement in der Produktentwicklung und identifizieren und beschreiben acht wesentliche Herausforderungen:

- Wissenserfassung und Kodifizierung
- Unklare oder sich verändernde Anforderungen
- Datenformat
- Altsysteme und langer Daten-Lebenszyklus
- Abweichende Ziele und Erwartungen der Stakeholder
- Benutzerfreundlichkeit
- Einflüsse von außen bzw. organisatorische Randbedingungen

Nur wenn diesen Herausforderungen geeignet begegnet wird, kann Informations- und Wissensmanagement erfolgreich sein. PROBST et al. 2010 (S. 238 ff.) heben darüber hinaus vor allem die kontinuierliche Pflege und gelebte Verankerung von Wissensmanagementansätzen im Unternehmen als einen entscheidenden Erfolgsfaktor zur Überwindung der bestehenden Herausforderungen hervor. Der richtige Einstieg in das Wissensmanagement, geeignete Webapplikationen zur Wissensteilung, das Verständnis der jeweiligen Wissenskultur, innovative Wissensstrukturen und Wissenssysteme, den Einsatz von Wissensmanagern und die persönliche Bereitschaft zur Gestaltung des Wissensmanagements sind für ihn die zentralen Bausteine für ein erfolgreiches Wissensmanagement im Unternehmen.

#### 4.4.4 Methodische Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen

Dieses Kapitel zeigt exemplarisch eine Auswahl bestehender methodischer Ansätze aus Literatur und Praxis zur konkreten Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen. Aktuelle Defizite und Mängel dieser Ansätze zur umfassenden Bereitstellung des für die Arbeit mit Produktmodellen relevanten Wissens werden diskutiert. Darauf aufbauend wird der in dieser Dissertation adressierte Forschungsbedarf abgeleitet.

Die bestehenden Ansätze unterscheiden sich vorrangig hinsichtlich der betrachteten Modellart, der unterstützten Tätigkeit, der unterstützten Phase im Produktentwicklungsprozess und der adressierten Disziplin. Einige dieser Ansätze betrachten lediglich die Arbeit mit einer spezifischen Modellart (z. B. CAD-Modelle oder Simulationsmodelle) oder eines spezifischen Produktmodelltyps. Andere Ansätze versuchen dagegen der Vielfalt an Modellen und den draus entstehenden Problemen zu begegnen. Zum Teil besteht eine bewusste Einschränkung auf eine bestimmte Phase des Produktentwicklungsprozesses (z. B. Lösungssuche). Auch wird versucht, die aus der Unterschiedlichkeit der Produktmodelle in einzelnen Phasen resultierenden Schwierigkeiten zu beheben. Zuletzt schränken sich einige Ansätze bewusst auf eine bestimmte Disziplin ein (z. B. Mechanik) oder adressieren die Problematik der disziplinübergreifenden Modellierung (z. B. Mechatronik oder Systems Engineering). Die folgende Tabelle 8 gibt eine exemplarische Übersicht über stellvertretende Lösungsansätze aus den einzelnen Feldern anhand der betrachteten Modellart, der unterstützten Tätigkeit, der Phase im Produktentwicklungsprozess (PEP) und der adressierten Disziplin.

Tabelle 8: Übersicht methodische Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen

Name und Quelle	Modellart	Unterstützung bei...	Phase im PEP	Disziplin
Modell des Gestaltungsprozesses (BAUERT 1991)	3D CAD-Modelle	Erstellung des Modells	Modulare Struktur, Vorentwurf, Gestalten	Mechanik
Weiterverwendung von digitalen Produktmodellen (ABRAMOVICI 2004)	3D CAD-Modelle	Erstellung und Weiterverwendung von Modellen	Vorentwurf, Gestalten, Erprobung, Herstellung	Mechatronik
Vorgehen zum zielgerichteten Einsatz bildlicher Produktmodelle (DICK 2009)	Bildliche Produktmodelle	Auswahl passender Modelle	Lösungssuche	Mechanik
Lasten- und Pflichtenheft der Modellierung (VDI 3633)	Simulationsmodelle	Durchführung von Simulationsstudien	Alle Phasen	Logistik-, Materialfluss- und Produktionssysteme
Benchmark-Protokoll für Funktionsmodelle (Summers 2013)	Funktionsmodelle	Auswahl zw. Funktionsmodellen	Alle Phasen	Mechatronik
Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung (LAUER 2010)	Dokumente	Identifikation und Bereitstellung passender Dokumente	Alle Phasen	Mechatronik
For-Flow Prozessnavigator (MEERKAMM 2009)	Nicht beschränkt	Erstellung und Vernetzung von Modellen	Alle Phasen	Mechatronik
Product Model Driven Development (ROELOFSEN 2007)	Nicht beschränkt	Gestaltung der Entwicklungsschritte	Alle Phasen	Mechatronik
Semantic Product Modeling Framework (LEE 2010)	Nicht beschränkt	Vernetzung von Modellen	Alle Phasen	Mechatronik
Model-Based Systems Engineering (MBSE) (ESTEFAN 2007)	Eigene Modellierungssprache (z.B. SysML)	Auswahl und Erstellung von Modellen	Alle Phasen und Produktlebenszyklus	Großprojekte mit mehreren Disziplinen

Methoden zur spezifischen Unterstützung beschränken sich auf eine bestimmte Modellart, auf bestimmte Phasen des Entwicklungsprozesses und eine konkrete Disziplin. Beispielsweise unterstützt BAUERT 1991 spezifisch die Erstellung von 3D CAD-Modellen anhand einer Modellierung des Gestaltungsprozesses und gezielter Bereitstellung von Methoden in CAD-Werkzeugen. Er untersucht den Begriff und die Bedeutung der Produktmodellierung vor der Herausforderung der wachsenden Nutzung von Rechnern in der Produktentwicklung. Er stellt ein prototypisches Rechnerwerkzeug vor, anhand dessen der Konstrukteur durch Dialogführung, Bereitstellung von Entwurfswissen und problemlösungsunterstützende Methoden (z. B. technische Berechnung, Modellierungsmethodik) und Erklärungskomponenten in der Gestaltung von Konstruktionselementen unterstützt wird.

ABRAMOVICI & STEKOLSCHIK 2004 legen in ihrem Vorgehensmodell zur Verbesserung der prozessübergreifenden Weiterverwendung von digitalen Modellen ebenfalls den Fokus auf 3D CAD-Modelle. Allerdings beschreiben sie nicht nur die Erstellung, sondern explizit auch

Möglichkeiten der Weiterverwendung von bereits vorhandenen Modellen in den Phasen des Vorentwurfs, der Gestaltung, der Erprobung bis zur Herstellung des Produktes.

Auch DICK 2009 schränkt ihre Arbeit gezielt auf bildliche Produktmodelle allerdings in der Phase der Lösungssuche ein. Sie entwirft ein erweitertes morphologisches Schema, in dem bildliche Produktmodelle mit enthaltenen Lösungsinformationen sinnvoller abgebildet werden sollen und die Auswahl passender Modelle unterstützt wird.

Die in VDI 3633 präsentierten Checklisten für die Erstellung von Lasten- und Pflichtenheft bei der Durchführung von Simulationsstudien beschränken sich auf Simulationsmodelle und fokussieren sich auf den Bereich der Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009). In der Checkliste für das Lastenheft wird dokumentiert, was modelliert wird und wozu es modelliert wird. Angaben über den Projektgegenstand (Bearbeiter, Terminplanung, etc.), das Projektumfeld (Systemgrenzen, Vorhandene Daten, etc.) und den angestrebten Lieferumfang (Form der Ergebnisdarstellung, Weiterverwendung, etc.) werden darin dokumentiert. In der Checkliste für das Pflichtenheft wird detailliert beschrieben wie und womit modelliert wird. Es werden Angaben über die Projektdetaillierung (Simulatorumfeld, etc.), die Systemanalyse (Strukturunterlagen, Betriebsdaten, etc.), die Systemmodellierung (Aufbaustruktur, Eingabedaten, etc.), die Modellqualität (Verifizierung und Validierung), durchgeführte Experimente (Experimentenplan, Ergebnisauswertung, etc.) und die finale Auslieferung (Arbeitsunterlagen, Schnittstellen, etc.) darin strukturiert.

SUMMERS et al. 2013 fokussieren ihre Arbeit auf Funktionsmodelle in der Produktentwicklung. Sie schlagen einen Benchmark-Test für Funktionsmodelle vor. Diese sollen abhängig von den zu adressierenden Problemfällen unter Berücksichtigung des Repräsentationsumfangs des Modells, der Abbildungsmöglichkeiten des Originals und der Reasoning-Möglichkeiten ausgewählt werden können.

Eine weitere Fassung sowohl des Modellbegriffs als auch der Phase des Entwicklungsprozesses bietet der Ansatz von LAUER 2010. Im Fokus seiner Arbeit betrachtet er im Entwicklungsprozess entstehende Dokumente, die teilweise auch Produktmodelle im Sinne dieser Dissertation darstellen können (siehe Kap. 4.3.1). Die entwickelte Methode zur integrativen Dokumenten- und Prozessbeschreibung bietet die Möglichkeit, Produktinformationen in dynamischen Produktentwicklungsprozessen proaktiv bereitzustellen. So kann die aufwändige Suche nach benötigten Produktinformationen reduziert werden. Er verfolgt einen vektorbasierten Ansatz, mittels welchem er Dokumente und Prozessschritte in einen mehrdimensionalen Raum einordnet. Er stellt eine große Sammlung an produktbeschreibenden Dokumenten auf und präsentiert eine prototypische Implementierung (LAUER 2010).

Darüber hinaus verfolgen einige Ansätze das Ziel, sowohl modellart- als auch phasenübergreifende Unterstützung zu bieten. Ebenso wie LAUER 2010 resultieren die beiden Ansätze des Mechatronic Modellers (MEERKAMM et al. 2009) und des Product Model Driven Development (ROELOFSEN et al. 2007) aus dem Forschungsverbund ForFlow. Beide Ansätze schaffen modellart- und phasenübergreifende Unterstützung. Der Mechatronic Modeller betrachtet Produktmodelle als einen Teilaspekt der Unterstützung, indem er die kontextspezifische Aufbereitung von Produktdaten, Methoden und Werkzeugen im

Produktentwicklungsprozess und die Integration verschiedener Softwaresysteme ermöglicht (MEERKAMM et al. 2009). Das Product Model Driven Development ist ebenfalls ein übergreifender Ansatz, der Produktmodelle gezielt zur Steuerung und Planung des Entwicklungsprozesses nutzt. Durch diesen Ansatz wird das Produktmodell als zentrales Entwicklungsergebnis hervorgehoben, wodurch die Arbeit mit Produktmodellen indirekt unterstützt wird (ROELOFSEN et al. 2007).

Als weitere Möglichkeit der modell- und prozessübergreifenden Unterstützung dienen Ansätze der abstrakten Beschreibung von Produktinformationen, um Informationen in unterschiedlichen Produktmodellen vergleichbar und übertragbar zu machen. Das Semantic Product Modelling Framework beispielsweise ermöglicht anhand von drei Abstraktionsebenen die abstrakte Beschreibung von Produktinformationen (LEE et al. 2010).

Zuletzt soll an dieser Stelle das Model-Based-Systems-Engineering (MBSE) als Ansatz zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen vorgestellt werden. MBSE hat seinen Ursprung im Bereich des Systems Engineering und zielt vorrangig auf die Gestaltung komplexer, häufig von software- und servicegeprägten Systemen, im Rahmen von Großprojekten. Es existieren unterschiedliche, oft unternehmensspezifische MBSE-Ausprägungen, die häufig an eine spezifische Software gekoppelt sind. ESTEFAN 2007 (S. 11 ff.) gibt beispielsweise eine Übersicht über gängige Methodiken des MBSE. Jede dieser Methoden koppelt den Entwicklungsprozess an ein zentrales Informationsmodell bzw. eine zentrale Modellierungssprache. Darin werden die einzelnen Modelle im Entwicklungsprozess erfasst. Modelle sollen dadurch in die zentrale und bestimmende Rolle bezüglich Spezifizierung, Entwicklung, Integration, Validierung und Nutzung bzw. Betrieb des Systems gehoben werden (ESTEFAN 2007). In den einzelnen Prozessphasen werden diese Modelle schrittweise mit Informationen gefüllt, was zu Vorteilen hinsichtlich Änderungs-nachverfolgung, Datenkonsistenz und Aktualität führt.

Wesentliches Merkmal der beschriebenen existierenden methodischen Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen liegt in der Fokussierung disziplinspezifisch entweder auf bestimmte Produktmodelltypen, bestimmte Phasen im Entwicklungsprozess oder auf bestimmte Tätigkeiten mit Modellen. Eine übergreifende Unterstützung bzw. die Möglichkeit zur übergreifenden Erfassung des für die Arbeit mit Produktmodellen erforderlichen Wissens im Entwicklungsprozess erfolgt allerdings nicht. Die bestehenden Ansätze bilden vielmehr einzelne, voneinander getrennte Unterstützungsbereiche der Arbeit mit Produktmodellen.

#### 4.4.5 Integrierende Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen

Neben methodischen – also vorgehensbezogenen – Ansätzen existieren auch integrierende Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen. Diese begegnen der Herausforderung der Vielfalt an Produktmodelltypen im Entwicklungsprozess durch den Versuch, die in Produktmodellen enthaltenen Informationen in ein zentrales Modell zu integrieren und somit eine Verknüpfung der in den einzelnen Phasen des Produktentwicklungsprozesses entstehenden Daten zu ermöglichen. Dieses Modell kann einerseits als Ersatz für die bestehenden Modelle dienen, wodurch die Anzahl an

Produktmodelltypen reduziert werden kann. Andererseits können die integrierten Modelle als Schnittstellen für die Übertragung von Informationen von einem Produktmodell auf ein anderes Produktmodell dienen.

Das integrierte Produktmodell soll als ein integrierender Ansatz die Basis für einen durchgängigen, medienbruchfreien Produktentwicklungsprozess darstellen (ANDERL et al. 2011). Vor dem Hintergrund einer zunehmend rechnerbasierten Produktentwicklung soll es die Nutzung und Verarbeitung einmal erstellter Produktinformationen gewährleisten (GRABOWSKI et al. 1993, S. 1). GRABOWSKI et al. 1993 (S. 6) stellen drei Anforderungen an ein integriertes Produktmodell: Das Produktmodell muss Produktinformationen aus allen Phasen des Produktlebenszyklus abbilden. Es muss eine Vereinigung von verschiedenen physikalischen Produkteigenschaften ermöglichen und die Sichtweisen der jeweiligen Anwendungsgebiete berücksichtigen. Änderungen sollen dadurch leichter nachvollzogen und übergreifende Abhängigkeiten einfacher erfasst werden können.

Die ISO-Norm 10303 (STEP- Standard for the Exchange of Product Model Data) beschreibt eine umfassende Norm für die Spezifikation eines integrierten Produktmodells (GRABOWSKI et al. 1993, S. 14). Teile der STEP-Spezifikation werden beispielsweise zur Spezifizierung der geometrischen Daten als Schnittstellenformat für unterschiedliche CAD-Systeme in der industriellen Praxis angewandt. Ebenfalls existieren Erweiterungen und Ergänzungen des integrierten Produktmodells. Beispielsweise stellen HORVATH & RUDAS 2008 als Problemstellung heraus, dass aktuelle Produktmodelle nicht geeignet sind, das für eine erfolgreiche Unternehmenskommunikation erforderliche Wissen zu erfassen. Sie erweitern das integrierte Produktmodell auf Basis der STEP-Spezifikation um Wissens Elemente wie Entwicklungsziele, Kontextfaktoren und Entscheidungen. FENVES 2002 und FENVES et al. 2005 weisen drauf hin, dass sich die STEP-Spezifikation vorrangig für die späteren Phasen des Produktlebenszyklus eignet wenn das Produkt bereits entwickelt ist. STEP ist besser für die Abbildung der als Ergebnis der Produktentwicklung vorliegenden Informationen geeignet, als für die während der Produktentwicklung entstehenden Informationen. Daher stellt FENVES 2002 ergänzend zu STEP das „Core Product Model“ vor. Das Core Product Model soll alle Informationen abbilden können, die für den laufenden Produktentwicklungsprozess relevant sind. Auch SUMMERS & ROSEN 2013 fordern die Integration von Produktinformationen und Produktwissen in einer umfassenden Modellierungssprache und stellen Anforderungen an diese Vision auf. Sie heben den Forschungsbedarf auf diesem Gebiet hervor und stellen basierend auf Ansätzen der Funktionsmodellierung Anforderungen an diese Modellierungssprache.

Allerdings gibt es neben den postulierten Vorteilen auch reale Nachteile des integrierten Produktmodells. So sind die durch ein einheitliches System erforderlichen Computerprogramme nicht immer das für einzelne Unternehmensbereiche beliebteste (bzw. wirtschaftlichste) Arbeitsmittel für die jeweilige Tätigkeit (VAJNA et al. 2009, S. 159). Ebenfalls stellen die persönlichen Vorlieben der Entwickler zur Nutzung individueller Informations-Verarbeitungs-Werkzeuge, wie MCALPINE et al. 2011 anhand einer Studie im Umfeld der Produktentwicklung belegen, eine Restriktion bezüglich der Etablierung des integrierten Produktmodells dar. Deshalb setzen die verschiedenen Unternehmensbereiche

häufig nach wie vor diejenigen Systeme ein, die den individuellen Vorlieben entsprechen. Eine Vielfalt an unterschiedlichen Systemen und Modellrepräsentationen ist die Konsequenz.

#### 4.4.6 Wissensquellen für die Arbeit mit Produktmodellen

Das für die Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Wissen kann aus unterschiedlichen Wissensquellen stammen. Einerseits wird Wissen indirekt über die Nutzung der genannten werkzeuggestützten, methodischen und integrierenden Unterstützungsansätze vermittelt. Andererseits ist die Arbeit mit Produktmodellen wesentlich durch die Ausbildung, (unternehmensspezifische) Schulungen und Lehrbücher geprägt. Auch Normen geben teilweise spezifisch für bestimmte Industriebereiche Hinweise und Vorgaben für die Arbeit mit Modellen. Dieses Kapitel gibt einen kurzen Einblick in die jeweiligen Wissensquellen um daraufhin den Bedarf nach einer übergreifenden Wissenserfassung und –bereitstellung aufzuzeigen.

Lehrbücher über die Arbeit mit Produktmodellen sind meist an ein spezifisches Modellierungswerkzeug gekoppelt und existieren in großer Vielfalt. Sie beschreiben entweder allgemein einführend eine bestimmte Software oder detailliert bestimmte Teilaspekte der Modellierung (z. B. FEM Modellierung in Catia). Neben diesen werkzeuggestützten Lehrbüchern existieren übergreifende Lehrbücher für eine bestimmte Modellart (z. B. Simulationsmodelle, CAD-Modelle). Naturgemäß können diese nicht weit ins Detail gehen und beschreiben allgemeine Aspekte des jeweiligen Teilgebiets. Zum Beispiel schreibt (VAJNA et al. 2009, S. 141): „Je nach Aufgabenstellung sind geeignete Modelle und die zugehörigen Werkzeuge (...) auszuwählen.“ Auch favorisieren einige Lehrbücher einen bestimmten Weg (z. B. Modellierungsmethoden oder Modellierungssprache) und verfolgen nur diesen ohne möglicherweise sinnvolle Alternativen aufzuzeigen: „Modeling techniques, such as SysML™, are useful in deriving a logical architecture.“ (HASKINS 2011, S. 99). Es fällt auf, dass Anleitungen und Beschreibungen in diesen allgemeinen Büchern oftmals vage formuliert sind und daher in der aktuellen Anwendung wenig konkrete Unterstützung bieten. Ein ähnliches Phänomen hinsichtlich Spezifität und fehlender Allgemeinheit kann bei der Ingenieurausbildung beobachtet werden, bei der in Vorlesungen und Praktika meist lediglich ein spezifisches Teilgebiet der Arbeit mit Modellen betrachtet wird.

Unternehmensspezifische und branchenspezifische Schulungen sind darüber hinaus häufig auf die spezifische Anwendung bestimmter Werkzeuge und darin angewandten Modellierungsvorgehen und unternehmensinternen Nomenklaturen fokussiert. Diese können sich an bestehenden Empfehlungen oder Normen orientieren. Beispielsweise existiert eine Reihe von VDA (Verband der Automobilindustrie)-Empfehlungen bezüglich des Umgangs mit Modellen. Arbeitsgruppen wie die VDA-Arbeitsgruppe „CAD/CAM Daten“ oder die SASIG-Arbeitsgruppe „Product Data Quality“ formulieren und veröffentlichen in der „VDA-Empfehlung 4955: Umfang und Qualität von CAD/CAM-Daten“ Qualitätskriterien für geometrische und nicht-geometrische CAD-Daten (VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE 2006). Ebenfalls werden Qualitätskriterien für Zeichnungsdaten und CAE-Methoden allgemein aufgezeigt. Im Grunde stellt die VDA-Empfehlung eine Sammlung an aufgetretenen Problemen dar und zeigt Möglichkeiten auf, wie man mit diesen Problemen umgehen kann. Dadurch konnte ein deutlicher Rückgang des Aufwands für Korrektur und

Neuerstellung von CAD-Daten in den Prozessketten eines Unternehmens realisiert werden (SENDER 2009, S. 391). Allerdings beschränken sich diese Hinweise explizit auf CAD-Modelle und werden nicht unmittelbar für die Unterstützung der Arbeit mit anderen Produktmodellarten berücksichtigt. Ebenfalls gibt es im Rahmen von Normen oder Handbüchern Anleitungen, in denen Hinweise gegeben werden welche Produktmodelltypen in welchen Phasen des Entwicklungsprozesses vorzugsweise genutzt werden sollen (z. B. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993 oder HASKINS 2011, S. 99). Jedoch ist auf Grund der Übersichtlichkeit die Anzahl an empfohlenen Produktmodelltypen relativ gering gehalten wodurch das volle Potential der Nutzung vorhandener Produktmodelltypen nicht ausgeschöpft wird.

#### **4.5 Identifizierter Unterstützungsbedarf**

Als Fazit des vierten Kapitels wird der aktuelle Bedarf nach Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen auf Basis des dargelegten Stands der Technik aufgezeigt. Wie beschrieben sind Informationen zentraler Bestandteil der Produktentwicklung. Produktinformationen werden in Form von Produktmodellen repräsentiert. Es existieren viele unterschiedliche Produktmodelltypen, die für spezifische Zwecke in bestimmten Phasen des Entwicklungsprozesses Vor- und Nachteile bieten. Eine Vielfalt an Werkzeugen unterstützt den Produktentwickler bei der Arbeit mit Produktmodellen und bietet Schnittstellen zwischen dem Mensch und der rechnerinternen Repräsentation der Modelle. Softwaresysteme zur Verwaltung der rechnerinternen Produktdaten dienen der Speicherung und Verteilung der im Produktentwicklungsprozess benötigten Produktmodelle.

Bestehende methodische Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen fokussieren sich oftmals entweder auf spezifische Produktmodelltypen, auf spezifische Anwendungsfälle, auf Softwarewerkzeuge oder auf bestimmte Phasen des Produktentwicklungsprozesses. Sowohl modell- als auch prozessübergreifende Ansätze zielen vorrangig auf eine Integration der in Produktmodellen enthaltenen Informationen ab. Ziel dieser Ansätze ist die Schaffung eines zentralen, integrierten Produktmodells, in dem jede über den Lebenszyklus entstehende und benötigte Information enthalten sein soll. Trotz der Nutzung einzelner Teilaspekte des integrierten Produktmodells in der Industrie (z. B. als Schnittstellenformat) existiert eine Vielfalt an unterschiedlichen Produktmodelltypen, die der Entwickler in den einzelnen Handlungen des Produktentwicklungsprozesses nutzt.

Das in einem Unternehmen benötigte Wissen ist vielschichtig und dessen erfolgreiche Nutzung durch seine Schnelllebigkeit und durch Mitarbeiterfluktuation eingeschränkt. Daher sind gezielte Maßnahmen zur Identifikation, Strukturierung, Erfassung und Verteilung von Wissen erforderlich. Bezüglich des Einsatzes von Produktmodellen im Produktentwicklungsprozess bedeutet dies insbesondere die verbesserte Erfassung und Bereitstellung des Wissens über die erfolgreiche Arbeit mit Produktmodellen. Da bislang keine strukturierte Möglichkeit zur Erfassung des Wissens besteht, gehen die in Projekten gesammelten Erfahrungen über die Arbeit mit Produktmodellen verloren. Das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen wird daher entweder nicht oder nur unzureichend bewahrt und weitergegeben.

Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen wird in der Ingenieurausbildung, unternehmensintern oder über Schulungen und Lehrbücher vermittelt. Diese Wissensvermittlung ist häufig speziell für eine bestimmte Software oder einen bestimmten Produktmodelltyp ausgelegt. In Kombination mit der hohen Zahl an Produktmodelltypen kann dies dazu führen, dass die für eine bestimmte Situation weniger geeigneten Produktmodelltypen verwendet werden. Dies führt zu Zeit- und Kostennachteilen. Auf Grund der Vielfalt an Produktmodelltypen und dem fehlenden übergreifenden Modellverständnis gibt es mehrere Wissensinseln, die untereinander keine Informationen bzw. Wissen austauschen. Fehlende Schnittstellen zwischen diesen Wissensinseln führen zu unnötiger Doppelarbeit und einer ineffizienten Nutzung des Unternehmenswissens.

Im Vergleich zu den beschriebenen Ansätzen zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen verfolgt die vorliegende Dissertation einen neuen Weg. Während bestehende Ansätze das für die Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Wissen entweder sehr abstrakt – und nicht für den konkreten Anwendungsfall zu gebrauchen – oder sehr spezifisch – und nicht auf andere Anwendungsfälle übertragbar – vermitteln, ist das Ziel dieser Dissertation eine umfassende Beschreibung des für die Arbeit mit Produktmodellen erforderlichen Wissens. Schnittstellen zwischen den existierenden Wissensinseln sollen ermöglicht werden, um das benötigte Wissen effizient bereitstellen zu können. Zusammenfassend lässt sich das Ziel dieser Dissertation wie folgt formulieren:

#### **Ziel der Dissertation**

Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen im Entwicklungsprozess soll als wichtige Unternehmensressource erfassbar gemacht und unter Berücksichtigung des jeweiligen Bedarfs bereitgestellt werden. Es soll dazu eine Wissensbasis entwickelt werden, in der Wissen über die einzelnen Tätigkeiten, die der Produktentwickler mit Produktmodellen durchführt, strukturiert erfasst werden kann. Anhand der Wissensbasis soll das Wissen entsprechend des jeweiligen Wissensbedarfs abgeleitet und zur Unterstützung der Tätigkeiten mit Produktmodellen bereitgestellt werden können.

Als Handlungs- und Forschungsbedarf werden darauf aufbauend in dieser Dissertation folgende Aspekte der Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen adressiert:

- Die Vielfalt an unterschiedlichen Produktmodelltypen ist auf Grund unterschiedlicher Klassifikationen und unterschiedlicher Begriffsverständnisse nicht greifbar. Spezifische Literatur und Schulungen helfen aktuell nicht dabei, die Landschaft an Produktmodelltypen zu erfassen. Ein Ordnungsrahmen für die Beschreibung und Abgrenzung von Produktmodelltypen soll dabei helfen, Produktmodelle gezielter einsetzen zu können.
- Die vielfältige und facettenreiche Landschaft an Produktmodelltypen soll erfassbar und greifbar gemacht werden, um abhängig von dem jeweiligen Bedarf den geeigneten Produktmodelltyp auszuwählen. Dem Mangel an Produktmodelltypen-übergreifender Unterstützung soll begegnet werden, indem Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen in unterschiedlichen Abstraktionstiefen bereitgestellt wird. So kann der Einarbeitungsaufwand in bislang unbekannte Modelltypen erleichtert und diese effizienter eingesetzt werden.

- Aktuell in der Literatur vorhandenes Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen liegt in vielfältiger Form in unterschiedlichen Quellen vor. Individuelle, fachspezifische Bezeichnungen führen zu einem erschwerten Verständnis der Inhalte und dadurch zu einer eingeschränkten Nutzbarkeit des vorhandenen Wissens. Deshalb sollen die Zugriffsmöglichkeiten auf das bestehende Wissen verbessert werden.
- Die in der Literatur identifizierten Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen sind aktuell fokussiert auf die Erstellung und Absicherung von Modellen. Andere Aspekte wie beispielsweise die Wieder- und Weiterverwendung von Modellen, die Kopplung von Modellen oder auch die Dokumentation von Modellen werden kaum adressiert. Daher sollen die Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen analysiert und konkrete Teilschritte identifiziert werden, um dafür erforderliches Wissen gezielt zu vermitteln.

## 5. Erfassung, Repräsentation und Nutzung von Wissen

*Diese Dissertation verfolgt den Ansatz, vorhandenes Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen in einer Wissensbasis zu erfassen. Dieses Kapitel beschreibt die für die Entwicklung und Evaluation von Wissensbasen relevanten Methodengrundlagen aus dem Bereich des Knowledge Engineerings. Nach der Einführung des Begriffs Wissens werden zunächst die Grundlagen der Wissensrepräsentation und Wissensmodellierung aufgeführt. Dann werden das Anwendungsgebiet des Knowledge Engineerings, die beteiligten Rollen in Knowledge Engineering Projekten und Methodiken zur Erstellung von Wissensmodellen vorgestellt. Darauf aufbauend werden unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 ermittelten Unterstützungsbedarfe Anforderungen an den zu entwickelnden Lösungsansatz abgeleitet.*

### 5.1 Wissensquellen und Wissensbasen

Wissen lässt sich wie bereits in Kapitel 4.2.1 aufgezeigt gegenüber den Begriffen Information und Daten abgrenzen. Dieses Kapitel beschreibt zunächst die unterschiedlichen Arten von Wissen und wie diese in Wissensquellen vorliegen. Daraufhin werden zwei Möglichkeiten zur Nutzung von Wissensquellen als Wissensbasis zur Bereitstellung des für eine Tätigkeit erforderlichen Wissens aufgezeigt.

#### Wissensarten

MILTON 2007 beschreibt in einer sowohl inhaltlich als auch graphisch ansprechenden Form, was Wissen bedeutet (S. 4):

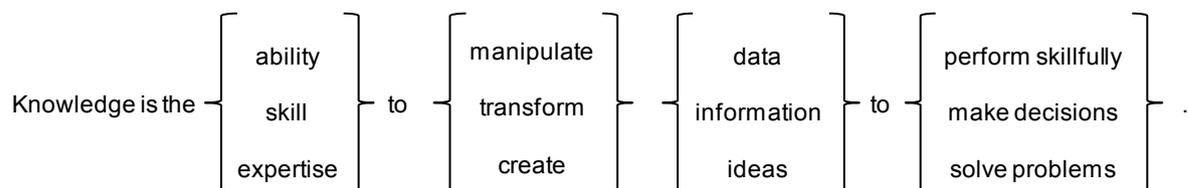


Bild 5-1: Definition von Wissen (Milton, 2007, S. 4)

Mit dieser Definition zeigt MILTON 2007 die vielfältigen Interpretationsmöglichkeiten des Wissensbegriffs. Ebenso weist er auf die zentralen Eigenschaften von Wissen als treibende Kraft und Voraussetzung zur erfolgreichen Durchführung von Handlungen hin. In der Forschung wird zwischen verschiedenen Arten des Wissens unterschieden. NONAKA & TAKEUCHI 1995 (S. 56 f.) bauen auf der Einführung des taciten Wissens nach Michael Polanyi auf und führen die Unterscheidung zwischen tacitem und explizitem Wissen zur Beschreibung des Lernens in Organisationen ein. Tacites Wissen ist subjektiv geprägt, basiert auf Erfahrung und ist schwer formalisierbar bzw. schwer kommunizierbar. Explizites Wissen dagegen ist objektiv erfassbar, baut auf logischen Schlüssen bzw. Abläufen auf und kann leichter kodifiziert werden (NONAKA & TAKEUCHI 1995, S. 60 f.). Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit trifft MILTON 2007. Er unterscheidet zusätzlich zwischen prozeduralem Wissen und konzeptuellem Wissen (MILTON 2007, S. 4). Prozedurales Wissen

beinhaltet Wissen über die Abläufe einer Tätigkeit („Ich weiß, wie (eine Tätigkeit) geht ...). Konzeptuelles Wissen beschreibt Wissen über einen bestimmten Sachverhalt („Ich weiß, dass es (eine Sache) gibt“).

### **Wissensquellen und Weitergabe von Wissen**

Wissen in Unternehmen liegt in unterschiedlichen Quellen vor (LYTRAS & POULOU DI 2006, NONAKA & TAKEUCHI 1995). Klassische Ansätze teilen Wissensquellen ein nach „Wissen in Artefakten“ (z. B. Dokumenten) und „Wissen in Individuen“ (d. h. Menschen). Neuere Ansätze fassen „Wissen in Teams“ und „Wissen in Organisationen“ ebenfalls als Wissensquellen auf (LYTRAS & POULOU DI 2006). Sowohl personalisiertes als auch kodifiziertes Wissen kann in unterschiedlichen Formen in einzelnen Wissensquellen vorliegen. Als Wissensquellen für explizites Wissen können beispielsweise Emails oder sonstige textuelle Beschreibungen, Datenbanken oder allgemein das Inter- und Intranet dienen (GRONAU 2009, S. 11 f.).

Wissen kann zwischen den einzelnen Wissensquellen und Wissensträgern entweder personalisiert oder kodifiziert weitergegeben werden (HANSEN et al. 1999). Kodifizierung bedeutet, dass Wissen explizit in Form von Dokumenten oder anderen Wissensrepräsentationen erfasst wird und damit vom ursprünglichen Wissensträger losgelöst wird. Personalisierung dagegen nutzt direkte Kommunikationswege und persönlichen Kontakt. Beide Ansätze bergen Vor- und Nachteile hinsichtlich des Aufwands zur Umsetzung und Anwendbarkeit (HANSEN et al. 1999). Bei der Kodifizierung von Wissen können beispielsweise große Datenmengen resultieren, die aufwändige IT-Lösungen erfordern. Die Kodifizierung von explizitem Wissen fällt einfacher als die Kodifizierung von tacitem Wissen. Deshalb ist für tacites Wissen die personalisierte Wissensweitergabe besser geeignet. Personalisierung erlaubt einen direkten Wissensaustausch, ist allerdings nicht skalierbar und birgt Probleme bei Personalfuktuation. In der Anwendung ist eine geeignete Mischung zwischen den beiden Ansätzen Personalisierung und Kodifizierung zu wählen – wie MCMAHON et al. 2004 in einer Untersuchung im Umfeld der Produktentwicklung belegen. Kodifizierung ist in manchen Anwendungen eng verknüpft mit Standardisierung die zur Ordnung von Wissen dient (HENDERSON 1999). Standardisierungen sind Teil jedes Unternehmens und Wirtschaftszweigs wie beispielsweise Materialstandards, Industriestandards oder Branchenstandards. Für die kodifizierte Weitergabe und Bereitstellung von Wissen eignen sich unterschiedliche Repräsentationsformen des Wissens. Diese gehen von textuellen Beschreibungen über bildliche Repräsentationen bis hin zu stark formalisierten Formen der Wissensrepräsentation (siehe Kapitel 5.4).

### **Bereitstellung von Wissen in einer Wissensbasis**

Hinsichtlich der Bereitstellung von Wissen muss darüber hinaus der Zeitpunkt der Wissensbereitstellung berücksichtigt werden. Einerseits kann das für die Durchführung einer Handlung erforderliche Wissen vorab bereitgestellt werden (z. B. durch Schulung, Ausbildung, Lesen eines Buches, etc.). Dies erfordert das Merken des jeweiligen Wissens (also Lernen). Andererseits kann Wissen auch situationsspezifisch entsprechend der jeweiligen Bedarfe bereitgestellt werden. Als Beispiel lässt sich die Bereitstellung des Wissens anhand des Einsatzes von Assistentensystemen nennen. Assistentensysteme können

dazu genutzt werden, die Differenz zwischen für eine Handlung erforderlichen Wissens und des tatsächlich vorhandenen Wissens auszugleichen (WANDKE 2005). Sie unterstützen bei der Durchführung der unterschiedlichen Phasen einer Handlung. Neben den unterstützten Phasen unterscheiden sich Assistentensysteme hinsichtlich Anpassbarkeit für bestimmte Situationen, Art der Unterstützung (proaktiv oder reaktiv) und des genutzten Eingabe- und Ausgabemediums (WANDKE 2005). Wissensmanagementsysteme können in diesem Sinne auch als Assistentensysteme interpretiert werden, die Wissen für die Durchführung einer Handlung bereitstellen.

Reicht das vorhandene Wissen für die Durchführung einer Tätigkeit nicht aus, so muss der entstehende Wissensbedarf aus geeigneten Wissensquellen gedeckt werden. Die Bereitstellung dieses Wissens aus vorhandenen Wissensquellen kann generell auf zwei grundlegende Arten erfolgen (siehe Bild 5-2). Einerseits kann das vorliegende Wissen durch direkten Zugriff auf die jeweilige Wissensquelle bereitgestellt werden. Diese dann genutzten Wissensquellen fungieren als direkte Wissensbasis für die Durchführung der Tätigkeit. Andererseits kann aufbauend auf vorhandenen Wissensquellen eine eigenständige Wissensbasis erstellt werden, die dann für spezifische Aufgaben genutzt werden kann. Auch Mischformen zwischen diesen beiden Arten sind möglich. Die beiden Arten werden im Folgenden erläutert.

#### Möglichkeit 1: Vorhandene Wissensquellen dienen direkt als Wissensbasis

#### Möglichkeit 2: Entwicklung einer Wissensbasis basierend auf Wissensquellen

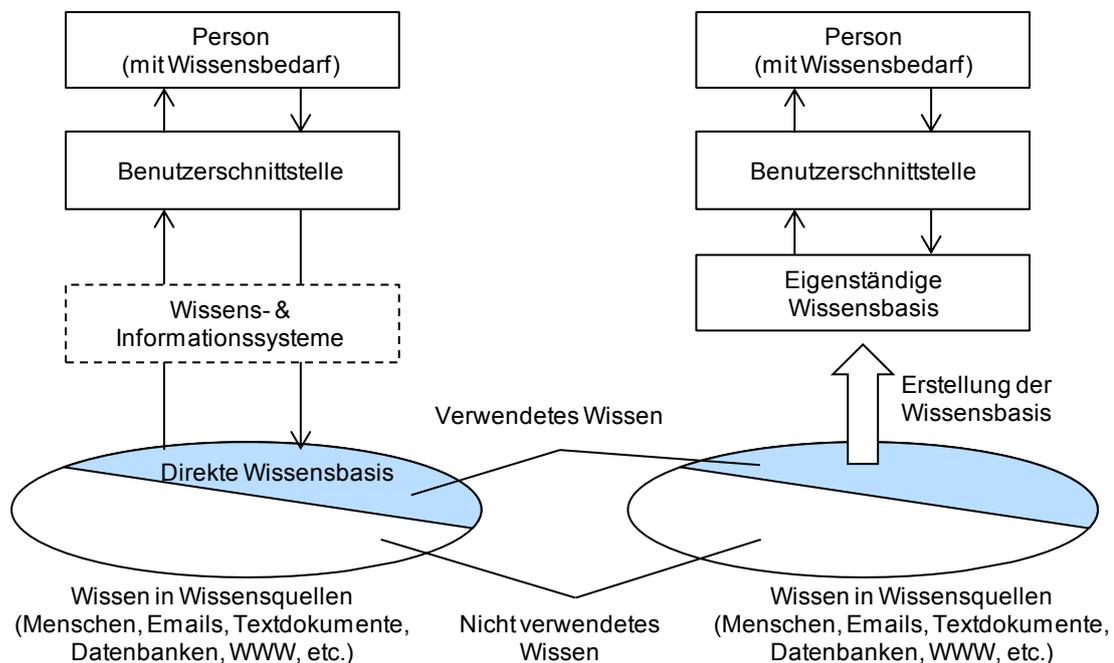


Bild 5-2: Zwei Arten der Verwendung von Wissensquellen als Wissensbasis

Links in der Abbildung dargestellt ist die **direkte Verwendung** eines Teils der vorhandenen Wissensquellen als Wissensbasis für eine bestimmte Aufgabe. Dieses Konzept entspricht im Wesentlichen der Architektur eines Wissens- oder Informationsmanagementsystems (vgl.

GRONAU 2009, S. 11 f.). Die genutzten Wissensquellen werden damit zur Wissensbasis der jeweiligen Aufgabe. Eine Benutzerschnittstelle dient als Verbindung zwischen Nutzer und der Wissensbasis und stellt beispielsweise Zugriffsmöglichkeiten (z. B. geeignete Suchfunktionalitäten oder Strukturierungsmechanismen) und Rechteverwaltung zur Verfügung. Die größte Herausforderung dieser Variante liegt in der Auswahl des tatsächlich benötigten Wissens und dessen geeigneter Aufbereitung.

Auf der rechten Seite ist die zweite Verwendungsmöglichkeit von Wissensquellen als Wissensbasis dargestellt. Die Wissensbasis ist nicht Teil der vorhandenen Wissensquellen, sondern wird unter Nutzung des in den bestehenden Wissensquellen vorhandenen Wissens entsprechend der jeweiligen Aufgabe erstellt. Diese **Erstellung einer Wissensbasis** und der Benutzerschnittstelle zur Nutzung des Wissens ist Aufgabe des Knowledge Engineerings. Eine so erstellte Wissensbasis dient zur Erfassung und Verteilung des vorhandenen Wissens über einen bestimmten Aufgabenbereich. Abhängig von der jeweiligen Anwendung und der Intention des Knowledge Engineering Projektes lässt sich die Nutzung von Wissensbasen in drei Kategorien aufteilen (MILTON 2007, S. 2). Erstens können Wissensbasen genutzt werden, um Wissen unter Menschen zu teilen. Über Inter- oder Intranetseiten wird zum Beispiel Wissen innerhalb eines Unternehmens bereitgestellt, um es an die Mitarbeiter weiterzugeben. Zweitens kann Wissen mit Computersystemen geteilt und mit Computerprogrammen bearbeitbar gemacht werden. Die Repräsentation von Wissen als Ontologie und deren Integration in Computerprogramme zählt zu dieser Nutzung der Wissensbasis. Diese Computerprogramme nutzen das hinterlegte Wissen, um beispielsweise Suchanfragen intelligent zu beantworten. Drittens werden Wissensbasen als Teil der Entwicklung eines intelligenten Computersystems (z. B. Expertensystem oder wissensbasiertes System) genutzt.

In dieser Dissertation wird basierend auf vorliegendem explizitem Wissen eine Wissensbasis erstellt (Möglichkeit 2). Die Bereitstellung des Wissens erfolgt anhand rechnerbasierter Systeme. Das folgende Kapitel beleuchtet und diskutiert technische Möglichkeiten, die zur rechnerbasierten Verwaltung und Nutzung von Daten, Information und Wissen eingesetzt werden können.

## 5.2 Rechnerbasierte Daten-, Informations- und Wissenssysteme

Rechnerbasierte Systeme können von Unternehmen zur Unterstützung bei der Handhabung von Daten, Informationen und Wissen genutzt werden. Einige der Systeme dienen vorrangig der Unterstützung der Transformation von Daten, Information und Wissen als Umsatzprodukt. Andere Systeme stellen dagegen Wissen gezielt bereit, bzw. bereiten Daten und Informationen gezielt auf, um Prozesse zu unterstützen. Auch Mischformen sind möglich. Die folgende Tabelle zeigt eine Auflistung einiger gängiger Systemarten mit einer kurzen Beschreibung und Zuordnung zu den zwei grundlegenden Rollen der Unterstützung (T=Transformation, B=Bereitstellung). Die einzelnen Systemarten wurden den Quellen (LEHNER 2009, S. 4 und TURBAN & VOLONINO 2012, S. 42 bzw. S. 286, SIDDALL 1990, S. 4 ff.) entnommen und gruppiert. Einige der Systemarten sind für spezifische Anwendungen geeignet, während andere Systemarten weitläufige Begriffe umfassen, unter denen mehrere Ausprägungen möglich sind. Die rechnerbasierten Systeme können eingeteilt werden nach den fünf Gruppen Wissenssysteme, künstliche Intelligenz, Enterprise Information Systeme,

Informationsunterstützungssysteme und Datenbank- und Datenmanagement-Systeme. Systeme der künstlichen Intelligenz und Wissenssysteme können unter dem Oberbegriff der wissensintensiven Systeme zusammengefasst werden. Enterprise Information Systeme und Informationsunterstützungssysteme fallen unter den Oberbegriff der Informationssysteme. Da in dieser Dissertation Wissen erfasst und bereitgestellt werden soll, liegt der Fokus auf den wissensintensiven Systemen.

Tabelle 9: Beschreibung von Systemarten im Kontext Daten/Informationen und Wissen

Gruppe	Systemart	Beschreibung	Rolle	
Wissensintensive Systeme	Wissenssysteme	Wissensmanagement-Systeme (KMS)	Unterstützung der Erfassung, Organisation und Nutzung des Unternehmenswissens und von Erfahrungen	T, B
		Organisational Memory Systeme (OMS)	Bereitstellung des aktuellen Wissenstandes einer Organisation an die Mitarbeiter	B
	Künstliche Intelligenz	Expertensysteme / wissensbasierte Systeme	Unterstützung des Menschen bei der Lösung von Problemstellungen auf Grundlage einer Wissensbasis	B
		Roboterkontrolle	Automatische Bewegungsplanung und Steuerung von Robotern	B
		Machine Vision / Bilderkennung	Auswertung und Interpretation von Bilddaten	B
		Interpretation natürlicher Sprache	Interpretation von Sprachbefehlen zur Steuerung von Computern	B
Informationssystem	Enterprise Information Systeme (EIS)	Enterprise resource planning (ERP)	Unterstützung der unternehmensinternen Ressourcenplanung (z.B. Fertigungsprozesse, Zulieferketten, Finanzen, Personalwesen, Verkauf, Marketing, etc.)	B
		Supply chain management (SCM)	Unterstützung einzelnen Teilschritte der Lieferkette	B
		Collaborative planning, forecasting, and replenishment (CPFR)	Unterstützung der Planung und Abstimmung der Materialien und Produkte in der Lieferkette unter den Prozesspartnern	B
		Customer relationship management (CRM)	Unterstützung und Verwaltung der Kundenbeziehungen mit dem Ziel die langfristige Kundenbeziehungen zu optimieren	B
		Data Warehouse Systeme (DWH)	Bewirtschaftung und Auswertung von Datenquellen	B, T
	Informationsunterstützungssysteme	Management-Informationssysteme (MIS)	Bereitstellung von Routineinformationen für die Planung, Organisation und Controlling-Operationen	B
		Decision Support Systeme (DSS)	Kombination von Modellen und Daten um halbstrukturierte Probleme unter starker Einbeziehung des Nutzers zu lösen	B
		Automated decision support (ADS)	Unterstützung beim schnellen Treffen von Entscheidungen mit geringerem Ausmaß in Echtzeit (z.B. Kostenabschätzungen)	B
		CAD/CAM	Ermöglicht Ingenieuren die Entwicklung und das Testen von Prototypen – dient dem Transfer von Spezifikationen an die Fertigung	T
		Electronic records management system/ Dokumentenmanagement	Automatisiert die Verwaltung, Archivierung und Flüsse von elektronischen Dokumenten	T
		Business intelligence (BI)	Erfassung und Nutzung großer Datenmengen um Geschäftsanalysen durchzuführen	B
		Data Mining und Text Mining	Ermöglicht das Lernen aus vorhandenen Datenbeständen (z.B. aus abgeschlossenen Projekten); auch wenn Informationen unvollständig vorliegen	B
	Daten / Datenbanken und Dateien	Datenbankarchitektur von Unternehmen	Aufbau und Datenbankschema der Datenbanksysteme eines Unternehmens	B, T
		Datenbanksysteme- und Anwendungen	Speicherung und Bereitstellung des Zugriffs auf Datenmengen	B, T
Dateisysteme		Verwaltung der Dateien auf unterster Ebene wie z.B. Ordnerstrukturen	B, T	

**T** = Unterstützung bei der Transformation; **B** = Unterstützung bei der Bereitstellung von Daten / Information / Wissen

**Wissenssysteme** als eine Ausprägung der wissensintensiven Systeme integrieren einzelne Software-Anwendungen zur Bereitstellung von Funktionen für das Wissensmanagement. Sie helfen beispielsweise zur Entwicklung und zum Explizieren von Wissen, zur Orientierung in Informations- und Wissensbasen sowie zur Strukturierung von Informationen (GRONAU 2009, S. 9). Sie umfassen Meta-Funktionen für den Umgang mit Information und Wissen, wie beispielsweise Funktionen zur Verwaltung, Erzeugung und Verteilung von Informationen sowie zur Kommunikation und Zusammenarbeit von Menschen. Wissensmanagementsysteme sind häufig modular strukturiert und können verschiedene Funktionsbündel wie Kommunikation und Zusammenarbeit, Inhaltserstellung und -verwaltung, Suche, Inhaltsausgabe und -visualisierung, Prozessmodellierung, Skill Management, Social Networking und E-Learning enthalten (GRONAU 2009, S. 14). Als spezifische Beispiele für Wissensmanagementsysteme sind Social Software, Dokumentenmanagementsysteme, Content Management Systeme, Portal Software, E-Learning Systeme und integrierte Wissensmanagementsysteme zu nennen (GRONAU 2009; SEEGMÜLLER 2006). Durch den Einsatz von Wissensmanagementsysteme werden das Wissen und die Expertise der Mitarbeiter auch bei Personalfluktuationen, schnellen Veränderungen und Personalkürzungen in Organisationen breit zugänglich gemacht (TURBAN & VOLONINO 2012, S. 312). Wissensmodelle spielen beim Einsatz von Wissensmanagementsystemen eine wichtige Rolle, da durch sie vorhandene Wissensquellen strukturiert und somit den beteiligten Personen einfacher zugänglich gemacht werden können (KOHN et al. 2011b). Die Wissensweitergabe stellt einen wesentlichen Aspekt aller Wissensmanagementsysteme dar. IT-Werkzeuge in Wissensmanagementsystemen können sowohl die personalisierte als auch die kodifizierte Wissensweitergabe unterstützen. Bei kodifizierter Wissensweitergabe unterstützen IT-Werkzeuge beim Auffinden von Wissen wogegen sie bei der personalisierten Wissensweitergabe vorrangig die Zusammenarbeit unterstützen.

Wissenssysteme lassen sich von Systemen der **künstlichen Intelligenz** abgrenzen (GRONAU 2009, S. 9). Systeme der künstlichen Intelligenz ziehen auf Basis einer großen Menge von Fakten und Regeln eines Fachgebiets (Expertenwissen) bei konkreten Problemstellungen aus dem „Wissen“ Schlussfolgerungen und bieten teilweise automatisiert Lösungen für die Problemstellung an. Die Lösung wird im Allgemeinen begründet und die Verlässlichkeit der Lösung bewertet (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009). Expertensysteme bzw. wissensbasierte Systeme sind die bekanntesten Vertreter der künstlichen Intelligenz. Expertensysteme sind Computer-basierte Systeme, die die Rolle des Experten unter Nutzung von künstlicher Intelligenz simulieren, um Probleme unter Verwendung einer durch einen Experten bereitgestellten Informationsbasis und zugehörigen Entscheidungsregeln lösen. Zur Erstellung von Expertensystemen dient der Wissensingenieur als Schnittstelle zwischen Domänenexperten und System. Dieser transformiert vorliegendes Wissen in das Expertensystem. Expertensysteme haben den Vorteil, dass sie das Wissen einzelner Experten kombinieren und das Wissen gespeichert wird. Einem Wissensverlust durch Arbeitsplatzwechsel oder Ausscheiden von Mitarbeitern wird dadurch entgegengewirkt (DIETER 2000, S. 146 ff.).

Neben den wissensintensiven Systemen existieren Systeme, die sich gezielt mit dem Management von Informationen und Daten beschäftigen. Ein Informationssystem (IS) sammelt, verwaltet, speichert, analysiert und verteilt Informationen entsprechend eines

bestimmten Zwecks oder einer bestimmten Zielstellung (TURBAN & VOLONINO 2012, S. 9). Es kombiniert Hardware, Software, Daten bzw. Informationen und Abläufe und kommuniziert über ein Interface mit einem Nutzer. Hierzu gehören **Enterprise Information Systeme** (EIS), die als organisationsübergreifende Informationssysteme zur Integration und Koordination einzelner Geschäftsprozesse anhand durchgängiger Informationsverteilung genutzt werden. **Informationsunterstützungssysteme** sind spezifische, Systeme die einen bestimmten Arbeitsablauf bzw. eine bestimmte Aufgabe unterstützen.

Zuletzt dienen **Datenbankarchitekturen**, **Datenbanksysteme** und **Dateisysteme** auf unterster Hierarchieebene der Verwaltung und Speicherung der Dateien und Daten (LEHNER 2009, S. 4). Dadurch wird ein geordneter Zugriff auf die Dateien und Daten ermöglicht.

### 5.3 Knowledge Engineering

Wie im vorigen Kapitel beschrieben, kann Wissen anhand wissensintensiver Systeme einem Nutzer bereitgestellt werden. Das Forschungs- und Anwendungsfeld des Knowledge Engineerings widmet sich der systematischen Erstellung von Wissensmodellen und deren Nutzung in wissensintensiven Systemen (STUDER et al. 1998; SCHREIBER et al. 1999).

#### Aufgaben des Knowledge Engineerings

Die folgende Abbildung (Bild 5-3) zeigt anhand des Zusammenwirkens von Wissensquellen, Wissensmodellen und Wissensintensiven Systemen die wesentlichen Betrachtungsgegenstände und Aufgaben des Knowledge Engineerings.

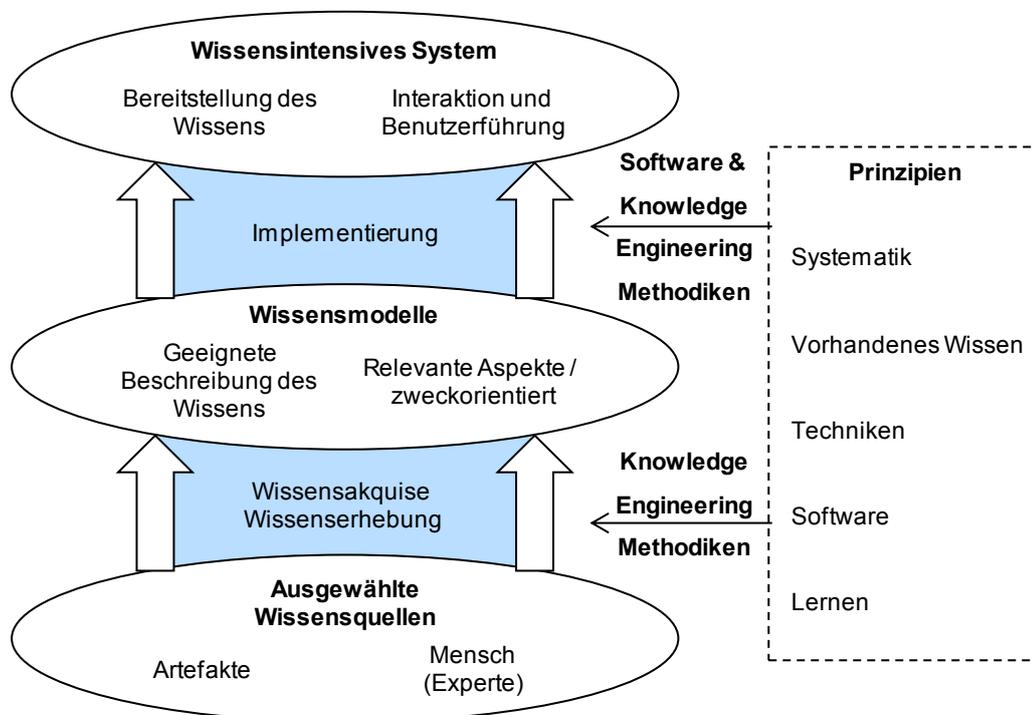


Bild 5-3: Erstellung von Wissensmodellen als Aufgabe des Knowledge Engineerings (Inhalte in Anlehnung an MILTON 2007, SCHREIBER et al. 1999 und SHADBOLT 2005)

Hauptaufgabe des Knowledge Engineerings liegt darin, eine geeignete Beschreibung des für einen bestimmten Zweck erforderlichen Wissens zu erzeugen (SCHREIBER et al. 1999, S. 16). Besonders wichtig ist die Fokussierung auf die relevanten Wissensaspekte und ihre adäquate Externalisierung in Wissensmodelle. Die Wissensmodelle dienen als Grundlage für die Implementierung eines wissensintensiven Systems. Die Erstellung der Wissensmodelle ist zentrale Aufgabe des Knowledge Engineerings während die Implementierung erst ein darauf folgender Schritt ist (SCHREIBER et al. 1999, S. 16). Für die Implementierung des wissensintensiven Systems ist ein enges Ineinandergreifen von Software Engineering und Knowledge Engineering erforderlich. SCHREIBER et al. 1999 (S. 16) heben darüber hinaus hervor, dass die Erstellung des Wissensmodells nicht durch vorhandene Software, sondern die Software entsprechend des jeweiligen Wissensmodells gewählt werden sollte.

Für die Erstellung des Wissensmodells ist die Auswahl der für den jeweiligen Anwendungsfall erforderlichen und geeigneten Wissensquellen (Artefakte oder Experten) entscheidend. Sind Wissensquellen ausgewählt, so kann die Wissensakquise zur Erfassung der Informationen und des Wissens erfolgen. Die Wissensakquise wird als ein erfolgsbestimmender Teil der Erstellung eines Wissensmodells gesehen (SHADBOLT 2005). Die Wissenserhebung (engl. knowledge elicitation) ist ein Teilprozess der Wissensakquise, der sich mit der Erfassung von Informationen von Experten befasst. Für Wissensakquise und Wissenserhebung gibt es eine Vielfalt an unterschiedlichen Methoden.

MILTON 2007 (S. 6 f.) hebt fünf wesentliche Prinzipien hervor, die bei der Erstellung von Wissensmodellen und der Wissensakquise beachtet werden müssen. Methoden müssen systematisch innerhalb von Methodiken eingesetzt werden, um das benötigte Wissen effizient zu erfassen und die einzelnen Tätigkeiten nachvollziehbar und reproduzierbar zu gestalten. Wann immer möglich, soll vorhandenes, bereits aufbereitetes Wissen aus Vorgängerprojekten oder generischen Wissensmodellen genutzt werden, um den Aufwand gering zu halten. Für die Erhebung, Analyse und Modellierung von Wissen müssen geeignete Techniken bereitstehen und verwendet werden. Spezialsoftware kann dazu eingesetzt werden, die Tätigkeiten schneller, einfacher und effektiver durchzuführen. Zuletzt hebt MILTON 2007 (S. 6 f.) den Erfahrungstransfer bei der Wissensakquise hervor.

### **Rollen in Knowledge Engineering Projekten**

Erfolgreiches Knowledge Engineering ist geprägt durch das effiziente und effektive Zusammenspiel der einzelnen beteiligten Rollen (SCHREIBER et al. 1999, S. 21). In der folgenden Abbildung (Bild 5-4) sind die sechs zentralen Rollen eines Knowledge Engineering Projektes und deren Interaktionen dargestellt. Das Projekt wird aus dem Bereich des Wissensmanagements eines Unternehmens von einem Wissensmanager angestoßen. Er gibt generelle Ziele vor und ermöglicht auf Führungsebene die Vernetzung des Projektes. Der Wissensingenieur ist die zentral ausführende Rolle. Er ist zuständig für die Anforderungsklä rung mit den späteren Wissensnutzer, erhebt das Wissen von Experten (Wissensbereitsteller) und aus anderen Wissensquellen und gibt die erstellten Wissensmodelle weiter an einen Wissenssystem-Entwickler (z. B. Softwareentwickler), der die rechnerbasierte Anwendung in Form eines wissensintensiven Systems umsetzt. Im jeweiligen Projekt kann auch ein Projektmanager die Steuerung und das Controlling der durchgeführten Tätigkeiten

übernehmen. Das entstandene wissensintensive System muss durch den Experten validiert werden und kann daraufhin durch den Wissensnutzer verwendet werden.

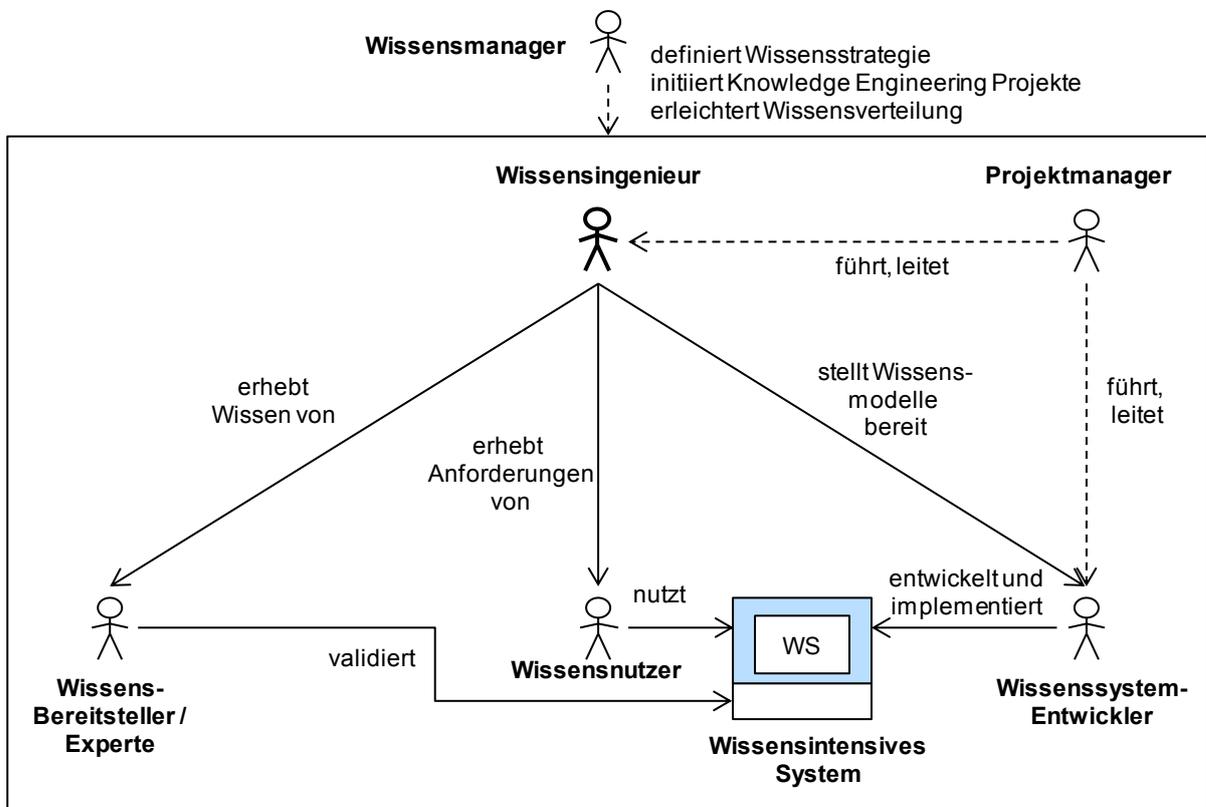


Bild 5-4: Rollen und Interaktionen im Knowledge Engineering (nach SCHREIBER et al. 1999, S. 21)

Das Knowledge Engineering stellt die für eine erfolgreiche Wissensmodellierung und Bereitstellung von Wissen notwendigen Techniken und Methoden bereit. Die einzelnen Methoden führen durch die Schritte der Erstellung von wissensintensiven Systemen und gewährleisten qualitativ hochwertige Resultate. Ein wesentlicher Aspekt ist die Repräsentation des Wissens mittels Wissensmodellierungssprachen. Die folgenden Kapitel geben zunächst eine Einführung in gängige Modellierungssprachen zur Repräsentation von Wissensmodellen. Daraufhin werden Methodiken des Knowledge Engineerings zur Erstellung von Wissensmodellen beschrieben.

## 5.4 Wissensmodelle und ihre Repräsentation in Modellierungssprachen

Wissensmodelle sind eine spezielle Unterart von Modellen mit dem Zweck, Wissen für einen bestimmten Anwendungsfall bereitzustellen. Sie werden im Knowledge Engineering eingesetzt, um bestimmte Sichtweisen auf das für einen bestimmten Anwendungsfall in Wissensbasen erfasste Wissen zu ermöglichen (MILTON 2007, S. 14). Die vollständige Beschreibung einer Wissensbasis erfolgt aus der Kombination mehrerer, miteinander interagierender Teil-Wissensmodelle. Beispielsweise kann ein Wissensmodell die

Abhängigkeiten der Betrachtungsgegenstände der Wissensdomäne abbilden und ein anderes Wissensmodell die Tätigkeiten, die in der jeweiligen Wissensdomäne ausgeführt werden. Für die Repräsentation von Wissensmodellen können Modellierungssprachen in unterschiedlichem Formalisierungsgrad genutzt werden. Beispielsweise kann Wissen in normaler Sprache beschrieben werden (z. B. in Bedienungsanleitungen), anhand von Bildern oder Videos, oder auch in computerinterpretierbaren formalen Sprachen. Formalisierte Modellierungssprachen zur Repräsentation von Wissen werden definiert durch ihre Syntax, Semantik und Pragmatik (BRACHMAN & LEVESQUE 2004, S. 16). Die Syntax definiert die in der Sprache mögliche Reihenfolge und Gruppierung von Zeichen und bestimmt damit die korrekt formulierten Ausdrücke. Semantik beschreibt die Bedeutung der Zeichen und Zeichengruppen und ermöglicht bedeutungsvolle Ausdrücke. Pragmatik beinhaltet die praktische Umsetzung und den Umgang mit den bedeutungsvollen Ausdrücken.

Je nach Nutzung der Wissensbasis ist eine bestimmte Ausdrucksmächtigkeit und Formalisierungsgrad der Modellierungssprache erforderlich. Für den Austausch von Wissen zwischen Menschen sind andere Modellierungssprachen geeigneter als für die Repräsentation und Nutzung von Wissen in einem rechnerbasierten System. Wissensbasierten Systemen liegt beispielsweise ein strukturiertes Wissensmodell zu Grunde, in der das für den jeweiligen Zweck des wissensbasierten Systems relevante Wissen computerverständlich repräsentiert ist (BRACHMAN & LEVESQUE 2004). Die Repräsentation von Wissen ist eng verbunden mit Repräsentation von Informationen. Die Abgrenzung zwischen Informations- und Wissensrepräsentation ist entsprechend des jeweiligen Blickwinkels fließend und lässt sich am besten anhand der jeweiligen Anwendung abgrenzen. Einerseits können Wissensrepräsentationen in rechnerbasierten wissensbasierten Systemen zur automatisierten Planung oder Durchführung von Aktivitäten genutzt werden. Andererseits können Informationsrepräsentationen auch der Strukturierung und Aufbereitung von Informationen bzw. Begrifflichkeiten in Informationssystemen dienen. Die Übergänge zwischen diesen beiden Anwendungen sind fließend und für die jeweiligen Anwendungen existieren unterschiedliche Modellierungssprachen, die eine Repräsentation der Inhalte ermöglichen.

Die folgende Abbildung (Bild 5-5) zeigt wesentliche Repräsentationen für Wissen und Informationen und ordnet sie ihrer hauptsächlichen Anwendung zu (in Anlehnung an Einteilungen von LUGER 2005, S. 277 ff.; BEIBEL 2011, S. 27 f.; KRCMAR 2010, S. 78; MILTON 2007, S. 14 ff. und STOCK & STOCK 2008, S. 42). Stark formalisierte Wissensrepräsentationen im Kontext der rechnerbasierten Nutzung in wissensbasierten Systemen können allgemein in fallbasierte Repräsentationen, regelbasierte Repräsentationen oder modellbasierte Repräsentationen eingeteilt werden (LUGER 2005, S. 277 ff.). Fallbasierte Repräsentationen erfassen vorhandenes Wissen aus vergangenen Situationen und können anhand von Analogiebildung zur Problemlösung beitragen. Regelbasierte Repräsentationen erfassen Wissen ablauforientiert in Form von „Wenn-Dann“-Ausdrücken. Diese beschreiben, wie sich ein System in unterschiedlichen Zuständen verhält. Modellbasierte Repräsentationen wie beispielsweise Frames, Constraints oder Beschreibungslogiken erfassen Wissen deklarativ und eignen sich für das Ableiten logischer Schlüsse auf Basis explizit formulierter Ausdrücke. Formalsprachliche Ontologien in ihren unterschiedlichen Repräsentationsformen und Ausdrucksmächtigkeiten gehören ebenfalls zu dieser Gruppe (für eine Übersicht über unterschiedliche Ontologiesprachen siehe STUCKENSCHMIDT 2009, S. 97 ff.).

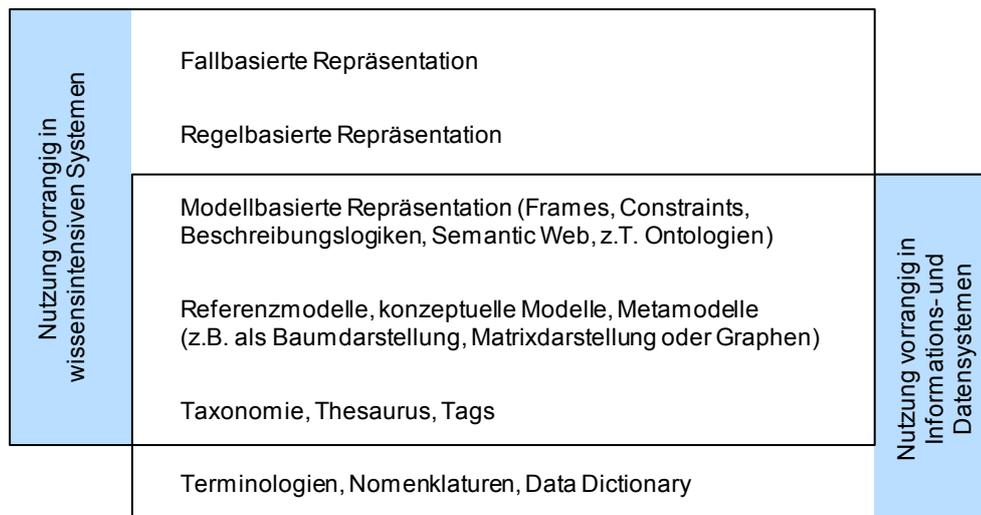


Bild 5-5: Möglichkeiten der Repräsentation von Wissen und Informationen

Modellbasierte Repräsentationen stellen den Übergang zwischen der Nutzung von Repräsentationsformen in wissensbasierten Systemen und Informationssystemen dar. Beispielsweise können Ontologiesprachen sowohl für Informationssysteme (z. B. als einfaches Themennetz) als auch in Expertensystemen (als formalsprachliche Ontologie) genutzt werden (REICHENBERGER 2010, S. 17). Direkt an die stark formalisierten modellbasierten Wissensrepräsentationen schließen sich weniger formalisierte Wissensrepräsentationen bzw. Informationsrepräsentationen an, wie beispielsweise Referenzmodelle, konzeptuelle Modelle und Metamodelle bis hin zu einfacheren Begriffssystemen wie Taxonomien und Thesauri, Terminologien und Nomenklaturen (BEIBEL 2011, S. 27, KRCCMAR 2010, S. 78).

Referenzmodelle sind „konkrete, aber vom Unternehmenseinzelfall abstrahierte Modelle zur Darstellung von technischen oder betriebswirtschaftlichen Fachinhalten bezüglich der Strukturen und Abläufe“ (VOß 2007, S. 193). Sie haben den Gestaltungsanspruch eines Soll-Modells (BEIBEL 2011, S. 27). Konzeptuelle Modelle sind sprachliche Artefakte für die Repräsentation von Wissen, das aus der Konzeptualisierung eines Realitätsausschnitts hervorgegangen ist (THALHEIM 2010). Metamodelle sind ein rein sprachliches Beschreibungsmodell, das die formale Sprache zur formalsprachlichen Modellierung von Realitätsausschnitten spezifiziert (BEIBEL 2011, S. 27).

Im Vergleich zu formalsprachlichen Ontologien sind Metamodelle allerdings nicht computerinterpretierbar, da auch natürlichsprachliche Spezifikationen verwendet werden. Taxonomien stellen eine Sammlung von Entitäten dar, die durch ein Klassifikationsschema geordnet werden und normalerweise hierarchisch angeordnet sind (BEIBEL 2011, S. 29). Thesauri sind systematisch oder alphabetisch geordnete Verzeichnisse von Wörtern in denen Vorzugs- und Nichtvorzugsbenennungen der Schaffung einer einheitlichen Terminologie eines Fachgebiets dienen (WEDEKIND 2001, S. 474). Sie enthalten eine möglichst vollständige Terminologie eines Fachgebiets mit Homonym-, Synonym- und Äquivalenzbeziehungen.

Terminologien, Nomenklaturen oder Data Dictionaries als einfachste Form der Wissens- bzw. Informationsrepräsentation beschränken sich inhaltlich auf die Sammlung und Systematisierung von Begriffen. Sie werden daher vorrangig in Informations- und Datensystemen eingesetzt, können aber auch in frühen Phasen der Wissensmodellierung genutzt werden, um das jeweilige Betrachtungsfeld zu strukturieren.

Je nach Mächtigkeit und Formalisierungsgrad werden die einzelnen Repräsentationen für unterschiedliche Zwecke verwendet bzw. können unterschiedliche Leistungen erbringen (REICHENBERGER 2010, S. 87). Einfache Repräsentationen wie Nomenklaturen oder Taxonomien können dabei helfen, Entitäten in einem Suchraum zu finden. Metamodelle und konzeptuelle Modelle dienen dazu, einen Sachverhalt besser zu verstehen und formalisierte Wissensrepräsentationen können dazu genutzt werden, Entscheidungen eigenständig zu treffen (REICHENBERGER 2010, S. 87). STOCK & STOCK 2008 (S. 42) weisen darauf hin, dass die Ausdrucksstärke einer Wissensrepräsentation meist auf Kosten der Größe der Wissensdomäne geht, die im jeweiligen Wissensmodell abgebildet wird. Während sich ausdruckschwächere Repräsentationen wie Schlagwortmethoden oder Klassifikationen nahezu überall einsetzen lassen, werden ausdrucksstärkere Repräsentationen für spezifische Probleme und damit fokussierter auf bestimmte Anwendungsfälle verwendet (STOCK & STOCK 2008, S. 42).

Die Auswahl der für eine Anwendung passenden Modellierungssprache erfolgt im Rahmen der Durchführung von Methodiken zur Erstellung von Wissensmodellen. Im folgenden Kapitel werden diese Methodiken näher beschrieben.

## 5.5 Methodiken zur Erstellung von Wissensmodellen und Wissensbasen

Die Erstellung von Wissensmodellen erfordert den systematischen Einsatz von Methoden zur Auswahl der passenden Wissensquellen, zur effizienten Akquisition des erforderlichen Wissens und zur Repräsentation des erfassten Wissens in geeigneten Wissensrepräsentationen (MILTON 2007, S. 6 f.). Hierfür existieren unterschiedliche Methodiken die sich hinsichtlich ihrer unterstützten Projektziele und Ergebniserwartungen unterscheiden (MILTON 2007, S. 53).

### Übersicht einzelner Methodiken

Ein Großteil der Methodiken hat ihren Ursprung in den 90er Jahren als das Knowledge Engineering wachsende Bedeutung erlangte. Zu diesen frühen Methodiken zählen beispielsweise CommonKADS, MOKA, Protégé II und MIKE. **CommonKADS** (Knowledge Acquisition and Documentation Structuring) ist ursprünglich eine Methodik zur Entwicklung von Systemen der künstlichen Intelligenz, wie beispielsweise Expertensysteme und wissensbasierte Systeme (SCHREIBER et al. 1999; HICKMAN et al. 1998). **MOKA** (Methodology for Knowledge-based Engineering Applications) ist eine Methodik zur Entwicklung von wissensbasierten Softwareanwendungen für CAD-Systeme (KBE-Anwendungen) (STOKES 2001). **Protégé II** ist ein Software-Rahmenwerk, mittels dessen Wissensakquise-Werkzeuge automatisch generiert werden und Problemlösungsmethoden bereitgestellt werden können (PUERTA et al. 1992). Die Methodik **MIKE** (Model-based and

Incremental Knowledge Engineering) baut auf CommonKADS auf und erweitert diese um formalisierte und ausführbare Repräsentationen und einfache Transformationen zwischen den entstehenden Modellen (ANGELE et al. 1998). Als weitere Wissensmodellierungs-Rahmenwerke nennt SCHREIBER et al. 1999 (S. 122) darüber hinaus Generic Tasks, Role-Limiting Methods, Components of Expertise, DIDS und DESIRE.

Neben diesen allgemein ausgerichteten und umfassenden Methodiken gibt es eine Reihe an speziellen Methodiken zur Entwicklung von Wissensmodellen in einer bestimmten Modellierungssprache. Für die Entwicklung von Ontologien beispielsweise stellt CORCHO et al. 2003 sieben unterschiedliche Methodiken gegenüber (Cyc, Uschold and King 1995, Grüninger und Fox 1995, Kactus, Methontology, Sensus und On-To-Knowledge). AHMED et al. 2005 beschreiben eine Methodik zur Entwicklung von Ontologien spezifisch im Anwendungsumfeld der Produktentwicklung. Auch GAAG 2010 (S. 61 ff.) beschreibt und diskutiert unterschiedliche Methodiken der Ontologieentwicklung bezüglich ihres Nutzens in der Produktentwicklung.

Eine Beurteilung und Vergleich einiger existierenden allgemeinen Methodiken nimmt MILTON 2007 (S. 161 ff.) vor. Die Methodiken lassen sich anhand Anzahl durchzuführender Teilschritte, nach bereitgestellten Wissensobjekten (Konzepte, Relationen und Aufgaben), nach genutzten Wissensmodellen als Teilsichten auf die Wissensbasis (Aufgabenmodell, Inferenzmodell, etc.) und der jeweiligen Strategie für Akquise, Modellierung und Nutzung des Wissens unterscheiden. Manche stellen darüber hinaus Checklisten oder Arbeitsblätter bereit, beschreiben detaillierte Arbeitsabläufe und nennen Kriterien für die Beurteilung der einzelnen Schritte. MILTON 2007 nennt CommonKADS und MOKA als die aktuell wichtigsten Methodiken. Allerdings weist er darauf hin, dass beide Methodiken für spezifische Anwendungsfälle gedacht sind und deshalb projektspezifisch eine Kombination und Anpassung der jeweiligen Methodik erforderlich ist.

#### **47-Schritt Methodik nach MILTON 2007**

MILTON 2007 schlägt in Ergänzung zu den bestehenden Methodiken eine anwendungsunabhängige Methodik vor, die bei beliebigen Knowledge Engineering Projekten als Unterstützung genutzt werden kann. Diese **47-Schritt-Methodik** kann sowohl als eigenständige Methodik für die Durchführung von Knowledge Engineering Projekten genutzt werden als auch als Ergänzung zu bestehenden Methodiken dazu dienen, gezielt einzelne Schritte zu unterstützen. Auf Grund ihres hohen Detaillierungsgrades kann sie als Ausgangsbasis für die Neuentwicklung einer eigenen Methodik Verwendung finden (MILTON 2007, S. 163).

Die 47-Schritt-Methodik vereint wesentliche Inhalte der anderen Methoden und schlüsselt deren oftmals implizit formulierte Teilschritte detailliert auf (siehe Bild 5-6). Die 47-Schritt-Methodik teilt die insgesamt 47 Schritte in vier Phasen ein. In der ersten Phase erfolgen der Projektstart, die Projektdimensionierung und die Projektplanung. Die nächsten beiden Phasen befassen sich mit der Erfassung und Modellierung des Wissens. In der zweiten Phase wird zunächst initial das Wissen erfasst und in Wissensmodelle abgebildet. Es erfolgt eine Bewertung, ob die gesetzten Ziele erreicht werden können und gegebenenfalls werden der Projektplan bzw. die Projektziele angepasst. In der dritten Phase werden die Wissensmodelle

weiter detailliert und mit Detailwissen gefüllt, sowie erste Prototypen des wissensintensiven Systems (des Endprodukts) erstellt und getestet. Die Implementierung und Bereitstellung des wissensintensiven Systems erfolgt in der vierten Phase. Abschließend werden die Nutzung des Systems beobachtet und gewonnene Erfahrungen gesammelt.

	Nr	Bezeichnung		Nr	Bezeichnung	
Projektstart, Projektdimensionierung und Projektplanung	1	Identifikation der Projektidee	(Fortsetzung)	25	Anpassung der Struktur der Wissensbasis	
	2	Meinungssammlung über Projektidee		26	Modellierung der Beziehungen des Wissensmodells	
	3	Erstellung eines Projektvorschlags / Projektantrags		27	Modellierung der Attribute und Werte des Wissensmodells	
	4	Einholen der Bestätigung des Projektvorschlags / Projektantrags		28	Modellierung des prozeduralen Wissens	
	5	Erstellung der Wissensbasis		29	Validierung und Nutzung der Wissensmodelle mit Experten	
	6	Zerlegung der betrachteten Domäne		Detaillierte Wissenserfassung und Modellierung	30	Durchführung weiterer Interviews
	7	Bewertung und Auswahl der betrachteten Wissensbereiche			31	Finalisierung der Wissensmodelle
	8	Bestätigung des Betrachtungsbereiches und Finalisierung der Ziele			32	Erstellung eines Prototyps des Endprodukts
	9	Identifikation der Wissensquellen			33	Beurteilung des Prototyps des Endprodukts
	10	Identifikation der Projektart			34	Bestandsaufnahme und Entscheidung für finale Schritte
	11	Definition und Verstehen des Ablaufs / der Methodik			35	Erfassung und Modellierung des Detailwissens
	12	Erstellung des Projektplans			36	Durchführung von Vergleichsprüfungen
	13	Zuordnung und Verteilung des Projektplans			37	Behebung von unterschiedlichen Meinungen
Initiale Wissenserfassung und Modellierung	14	Vertraut werden mit den Grundlagen	38		Sicherstellung der Validierung des Wissens	
	15	Vorbereitung der halbstrukturierten Interviews	39		Finalisierung des Wissensmodells und der Wissensbasis	
	16	Durchführung der halbstrukturierten Interviews	Teilen und Speichern des Wissens		40	Definition und Erstellung des Formats des Endprodukts
	17	Transkription der Interviewaufzeichnungen			41	Erstellung provisorisches Endprodukt
	18	Durchführung der initialen Analyse			42	Beurteilung provisorisches Endprodukt
	19	Erstellung des Konzeptbaums		43	Erstellung Endprodukt	
	20	Validierung des Konzeptbaums		44	Release des Endprodukts	
	21	Bestandsaufnahme und ggf. Anpassung des Projektplans		45	Veröffentlichung des Endprodukts	
	22	Ergänzung der Beschreibungen zu Wissensseiten		46	Monitoring der Wirkung des Endprodukts	
	23	Erstellung eines Glossars		47	Dokumentation Lessons Learned	
	24	Erstellung des Meta-Modells				

Bild 5-6: Vier Phasen und 47 Teilschritte der 47-Schritt-Methodik

## CommonKADS Methodik

Während die 47-Schritt-Methodik ein Augenmerk auf die detaillierte Beschreibung der einzelnen Teilschritte des Knowledge Engineerings legt, stehen bei der **CommonKADS** Methodik die explizite Formulierung der während eines Projektes entstehenden Zwischenergebnisse in Form von Teilmodellen, deren Interaktion und deren Bestandteile im

Vordergrund. Wie oben beschrieben dient CommonKADS in ihrer ursprünglichen Intention der Erstellung von wissensbasierten Systemen, die in einer bestimmten wissensintensiven Tätigkeit unterstützen (SCHREIBER et al. 1999). Die Prinzipien des Aufbaus der einzelnen Modelle können allerdings auf andere Anwendungen von wissensintensiven Systemen übertragen werden. Die folgende Abbildung (Bild 5-7) zeigt die sechs Teilmodelle der Common KADS Methodik mit den darin abzubildenden Wissensinhalten (SCHREIBER et al. 1999, S. 18).

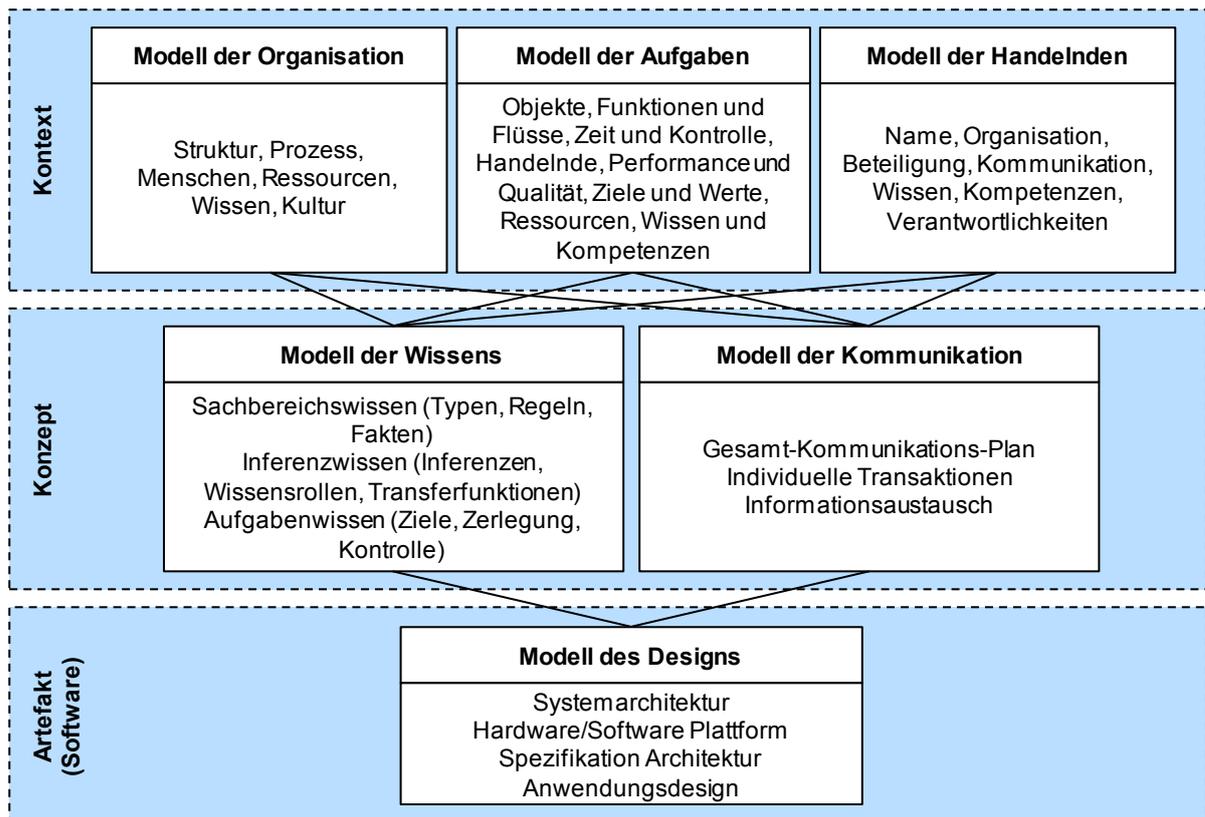


Bild 5-7: Zusammenspiel der Teilmodelle aus CommonKADS (in Anlehnung an SCHREIBER et al. 1999)

Die Modelle der CommonKADS Methodik bauen ausgehend von der Erfassung des Kontextes, über die Entwicklung des Konzeptes bis zur Festlegung des Designs und der Implementierung des wissensbasierten Systems aufeinander auf.

Die ersten drei Modelle definieren den Kontext, in denen das wissensbasierte System eingesetzt werden soll. Das **Modell der Organisation** unterstützt die Analyse des Anwendungsbereichs, in dem das zu konzipierende wissensbasierte System eingesetzt werden soll. Mit Hilfe des Modells der Organisation werden aktuelle Probleme erfasst und Möglichkeiten für den Einsatz von wissensbasierten Systemen zu deren Behebung identifiziert. Das **Modell der Aufgaben** beschreibt die relevanten zu unterstützenden Aufgaben und Tätigkeiten. Auch vorhandene Inputs und Outputs der Tätigkeiten sowie Leistungskriterien werden erfasst. Das **Modell der Handelnden** beschreibt die Eigenschaften der Handelnden als Ausführende der Aufgaben. Handelnde können sowohl Menschen, Informationssysteme oder sonstige Objekte sein.

Das **Modell des Wissens** expliziert im Detail die Arten und die Struktur des erforderlichen Wissens. Es stellt eine implementierungs-unabhängige Beschreibung der einzelnen Wissens-elemente zur Aufgabenbewältigung dar. Das Modell des Wissens ist ein wichtiges Instrument sowohl für die Arbeit mit den jeweiligen Experten als auch für die spätere Nutzung des Systems. Das **Modell der Kommunikation** beschreibt ebenfalls implementierungsunabhängig die kommunikativen Transaktionen zwischen den Handelnden. Die bisherigen Modelle können als Aufspaltung der Anforderungsspezifikation für das wissensbasierte System in einzelne Teilaspekte interpretiert werden.

Darauf aufbauend beschreibt das **Modell des Designs** die Spezifikation des technischen Systems bezüglich Architektur, Implementierungsplattform, Softwaremodule, Repräsentationsformen und Berechnungsmethoden, die für die Implementierung der in dem Modell des Wissens und dem Modell der Kommunikation beschriebenen Funktionalitäten erforderlich sind (SCHREIBER et al. 1999, S. 19 ff.). Für jedes der einzelnen Modelle werden Teilaspekte aufgeführt, die darin abgebildet werden sollen, und Vorlagen für die einzelnen Wissensartefakte beschrieben.

Bei beiden vorgestellten Methodiken erfolgt eine klare Trennung zwischen konzeptioneller Gestaltung der Wissensbasis und darauf folgender Implementierung. Die Implementierung erfolgt als nachgelagerter Schritt aufbauend auf der Konzeption des benötigten Wissens. Diese Trennung findet sich auch in der Rollentrennung zwischen Wissensingenieur und Wissenssystem-Entwickler in Knowledge Engineering Projekten wieder (SCHREIBER et al. 1999, S. 21). Der Wissensingenieur ist für die konzeptionelle Gestaltung zuständig, während der Wissenssystem-Entwickler für die Implementierung verantwortlich ist.

### **Wissensakquise zur Erstellung von Wissensmodellen**

Die Methodiken beschreiben in ihren Teilschritten den Einsatz von Methoden und Techniken zur Generierung und Repräsentation der jeweiligen (Zwischen-)Ergebnisse. In den Teilschritten werden einzelne Wissensmodelle in zunehmender Konkretisierungsstufe und wachsendem Detaillierungs- und Formalisierungsgrad erstellt. Ausgehend von textuellen Beschreibungen der Zielstellungen und einer ersten Erhebung der Betrachtungsgegenstände wächst mit zunehmendem Projektverlauf die Wissensbasis. MILTON 2007 (S. 14) bzw. SCHREIBER et al. 1999 nennen hierarchische Baumstrukturen, Matrizen, Karten bzw. Graphen, Zeitverläufe, Frames und Wissensseiten als mögliche Repräsentationsform des Wissens.

Die Wissensakquise ist dabei der zentrale Schritt bei der Erstellung von Wissensmodellen. SHADBOLT 2005 stellt eine umfassende Sammlung an Techniken zur Wissensakquise und Wissenserhebung vor. Interviewtechniken wie beispielsweise strukturierte, halbstrukturierte und unstrukturierte Interviews eignen sich für die direkte Erhebung von Expertenwissen. Protokollanalysen dienen dazu, nach durchgeführten Treffen die Inhalte zu extrahieren (SHADBOLT 2005). Beispielsweise kann die Inferential Modelling Technique (IMT) dazu genutzt werden, die in Interviews erhobenen unstrukturierten Daten zu analysieren und zu interpretieren (CHAN 1994). Des Weiteren existieren Techniken wie Concept Mapping oder Concept Sorting, um die Begriffswelt und das interne Verständnis eines Experten besser zu erfassen (für eine Beschreibung siehe SHADBOLT 2005).

Bei der Wissenserhebung existieren allerdings sowohl auf Seiten der Experten als auch des Wissensingenieurs Hürden, die eine erfolgreiche Erstellung des Wissensmodells behindern können (MILTON 2007, S. 7 f.). Experten fällt es zum Teil schwer, ihre Expertise verständlich zu formulieren. Dies kann an mangelndem Verständnis des formulierten Wissensbedarfs oder des Zwecks der Wissenserfassung liegen. Der richtige Detaillierungsgrad, die Reihenfolge, Logik und Relevanz der Wissensbestandteile sind entscheidende Faktoren, um die Wissenserhebung effizient durchzuführen. Für den Wissensingenieur können sich Schwierigkeiten aus mangelndem Verständnis des Expertenwissen ergeben und dessen korrekte Transkription in Wissensdokumente (MILTON 2007, S. 7 f.).

### **Qualität von Wissensmodellen**

Die Erstellung von qualitativ hochwertigen Wissensmodellen und wissensintensiven Systemen wird durch gezielten Methodeneinsatz unterstützt. MILTON 2007 (S. 6) nennt Kriterien, die ein qualitativ hochwertiges Knowledge Engineering Projekt ausmachen. Das Endprodukt muss dem Endnutzer dienlich sein. Um dienlich zu sein, muss das Endprodukt mit hochwertigem Wissen gefüllt sein, das korrekt, vollständig, relevant und strukturiert gespeichert ist. Das Projekt an sich muss darüber hinaus effizient gestaltet sein und vorhandene Ressourcen bestmöglich nutzen. Auch soll das Projekt das Tagesgeschäft nicht übertrieben beeinflussen und nicht zu viel Zeit der Experten beanspruchen (MILTON 2007, S. 6).

POTINECKE 2009 (S. 47) listet zehn Kennzahlensysteme zur Beurteilung des Betriebes von Informationstechnologien und –systemen auf. Aspekte der Kosten, Leistung, Nutzen, Prozessorientierung, Nutzungsdauer und –intensität, Aufwand für Akquisition, Realisierung, Support, Monitoring und Verfügbarkeitsgrad werden in den einzelnen Originalquellen als Bewertungskriterien genannt. Er weist darauf hin, dass kein allgemein gültiges Kennzahlensystem existiert. Wissensintensive Systeme werden meistens in Form von Software umgesetzt. Deshalb können für die Bewertung von wissensintensiven Systemen auch Evaluationskriterien zur Bewertung von Softwareprodukten berücksichtigt werden. In der Norm ISO/IEC 9126 werden für Software die Qualitätskriterien Funktionalität, Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit, Effizienz, Wartbarkeit/Änderbarkeit und Übertragbarkeit genannt und hinsichtlich ihrer Ausprägungen beschrieben (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2001). Gezielte Tests können in unterschiedlichen Phasen der Software-Entwicklung eingesetzt werden, um diese Kriterien zu überprüfen. Die eingesetzten Tests lassen sich anhand des Zeitpunkts in der Entwicklungsphase (Prüfebene), der getesteten inhaltlichen Aspekte (Prüfkriterium) und Ausgestaltung der Testfälle (Prüfmethodik) unterscheiden (HOFFMANN 2013, S. 157).

Schwierigkeiten in der Anwendung und in der direkten Umsetzung zur Bewertung von Informationstechnologiesystemen liegen vor allem an der Fülle der zur Verfügung stehenden Kennzahlen (POTINECKE 2009). VOSKUI 2012 weist auf die Bedeutung des Modellzwecks für die Bewertung der Qualität von Wissensmodellen hin und nennt für Taxonomien als eine Art der Wissensrepräsentation die Qualitätskriterien Klarheit, Eindeutigkeit und Homogenität. Im dem Bereich der Ontologieentwicklung umfasst die Evaluation des Wissensmodells technologieorientierte, nutzerorientierte und formalorientierte Aspekte (SURE et al. 2004). Ontologieeigenschaften wie Konformität der Syntax und Konsistenz bezüglich Semantik und

technische Eigenschaften wie Interoperabilität des Systems und Skalierbarkeit werden bewertet. Wichtigste Bedingung ist die Zufriedenheit des Nutzers mit der Ontologie bzw. der Mehrwert im Vergleich zu bestehenden Möglichkeiten. Ebenfalls können Ontologien zusätzlich hinsichtlich formaler Eigenschaften wie verwendete Hierarchien bewertet werden. Zur Gewährleistung einer hohen Qualität der Ergebnisse muss vor allem der Knowledge Engineer über geeignete Fähigkeiten verfügen (HICKMAN et al. 1998, S. 162). Auch fachspezifische und persönliche Eigenheiten des jeweiligen Nutzers des Wissensmodells müssen beachtet werden. Beispielsweise nennt HORVATH & RUDAS 2008, dass wissensintensive Systeme den individuellen Umgang mit Wissen berücksichtigen müssen. Im Bereich der Produktentwicklung werden beispielsweise einfache Aufbereitung des Wissens in Regeln oder Checklisten von den Entwicklern bevorzugt (HORVATH & RUDAS 2008).

## 5.6 Anforderungen an die zu entwickelnde Wissensbasis

Wie in Kapitel 4 beschrieben, besteht ein Forschungsbedarf hinsichtlich der Verbesserung der Arbeit mit Produktmodellen in Produktentwicklungsprozessen. Als Lösungsansatz wird in dieser Dissertation die Unterstützung der Erfassung und Bereitstellung von für die Arbeit mit Produktmodellen erforderlichen Wissens anhand einer Wissensbasis vorgeschlagen. Die Grundlagen für die Erstellung von Wissensmodellen wurden in Kapitel 5 aus der Sicht des Knowledge Engineerings beschrieben. Es wurden Methodiken des Knowledge Engineerings und unterschiedliche Möglichkeiten der Wissensrepräsentation vorgestellt.

Als Zusammenfassung der Kapitel 4 und Kapitel 5 werden in diesem Kapitel die Anforderungen an den Lösungsansatz (d. h. die Entwicklung der Wissensbasis) aufgestellt. Zur bestmöglichen Gewährleistung der Vollständigkeit werden die Anforderungen nach der in der KADS-Methodik definierten Kernergebnisse eines Knowledge Engineering Projekts strukturiert. Damit finden alle Teilaspekte des angestrebten Ergebnisses Berücksichtigung in der Anforderungsdefinition. Die Anforderungen berücksichtigen ebenfalls die spezifischen Herausforderungen, die sich aus der in Kapitel 4 formulierten Zielsetzung bezüglich der Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen ergeben.

Zur Verdeutlichung des Mehrwerts der Wissensbasis zeigt die folgende Abbildung (Bild 5-8) deren Nutzung im Rahmen eines Knowledge Engineering Projektes. Die Rollen sind gemäß der Einteilung von SCHREIBER et al. 1999 definiert (siehe Bild 5-4 in Kapitel 5.3) und die für die Nutzung der Wissensbasis relevanten Interaktionen dargestellt.

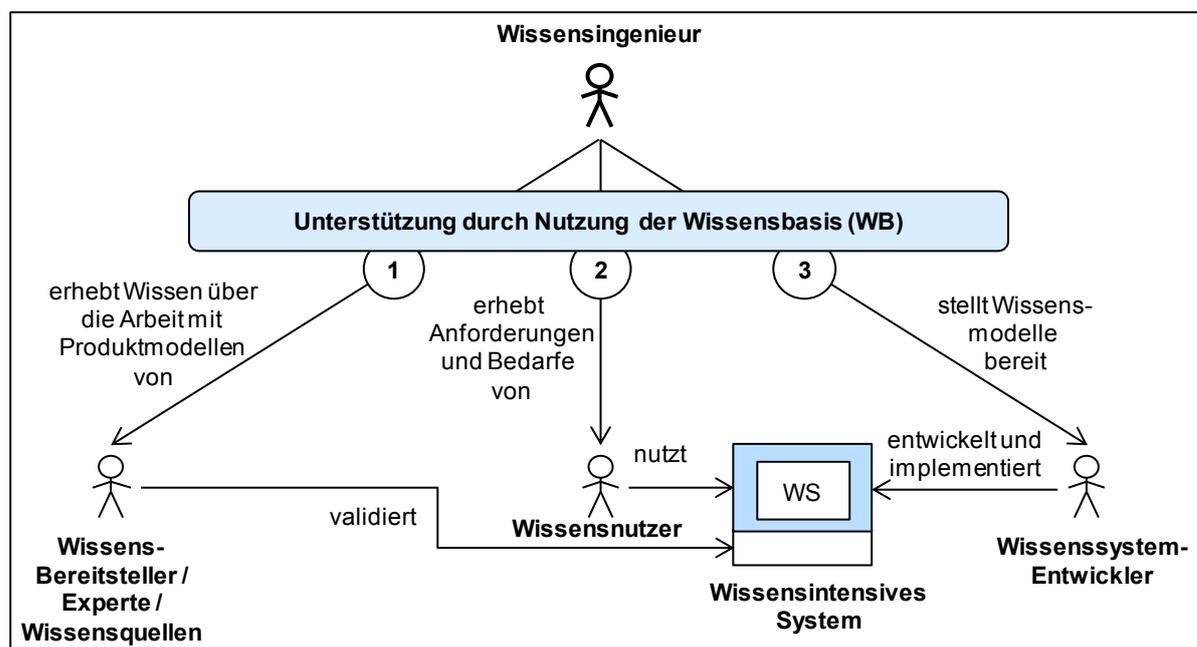


Bild 5-8: Angestrebte Unterstützung durch Nutzung der Wissensbasis (die vollständigen Rollen und Interaktionen in Knowledge Engineering Projekten sind in Bild 5-4 dargestellt)

Die Wissensbasis (WB) unterstützt einen Wissensingenieur in seinen drei wesentlichen Interaktionen mit den beteiligten Rollen. Sie ermöglicht, Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen von Experten bzw. unterschiedlichen Quellen strukturiert zu erheben (**Interaktion 1**). Anhand eines Abgleichs von benötigtem und vorhandenem Wissen kann der spezifische Bedarf nach Wissen von potentiellen Wissensnutzern mittels ihrer Hilfe ermittelt werden (**Interaktion 2**). Ebenfalls können das zur Deckung des Bedarfs erforderliche Wissen bzw. die für die Implementierung erforderlichen Wissensartefakte an einen Wissenssystementwickler ausgeleitet werden (**Interaktion 3**). Die darauf folgende Entwicklung und Implementierung des wissensintensiven Systems (WS) zur Bereitstellung dieses Wissens erfordert Expertise in der Software-Entwicklung. Dies ist nicht mehr Aufgabe des Wissensingenieurs, sondern des Wissenssystem-Entwicklers. Die konkrete Umsetzung einer Lösung des Knowledge Engineering und deren Bereitstellung durch Implementierung sind anwendungsspezifisch und von den jeweiligen Rahmenbedingungen abhängig. Der Aspekt der Implementierung wird entsprechend der beschriebenen Methodiken als ein auf die Erstellung der Wissensbasis folgender Schritt gesehen. Daher wird er in dieser Dissertation lediglich indirekt im Rahmen der Bewertung der jeweils bereitgestellten konkreten Unterstützungsmaßnahmen bei der Arbeit mit Produktmodellen betrachtet.

Die Anforderungen an den Lösungsansatz leiten sich aus den drei Ebenen der KADS-Methodik ab (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Anforderungen an den Lösungsansatz

<b>Kontext</b> Anwendungs- und Unternehmensabhängigkeit	<b>Organisatorische Aspekte</b>	
	Organisation / Einsatz der Wissensbasis	Anhand der Nutzung der Wissensbasis im Rahmen eines Knowledge-Engineering Projektes soll Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen aufbereitet und für eine Unterstützung in der Produktentwicklung bereitgestellt werden können.
	Unternehmensunabhängigkeit	Die Wissensbasis soll durch Unternehmen verwendet werden können, die mechatronische Produkte entwickeln und dabei Produktmodelle nutzen und auf Herausforderungen stoßen, wie sie in Kapitel 4 beschrieben sind.
	<b>Berücksichtigte Aufgaben</b>	
	Tätigkeiten mit Produktmodellen	Anhand der Wissensbasis soll Wissen über alle Tätigkeiten mit Produktmodellen strukturiert, erfasst und bereitgestellt werden können.
	Allgemeines Verständnis bezüglich Modellierung	Das allgemeine Verständnis über die Bedeutung, Wirkung und Grenzen von Modellen soll gestärkt werden.
	Geeignetes Maß an Granularität der Wissenstiefe bezüglich Modelle	Es soll keine detaillierte Beschreibung eines bestimmten Modellierungstools (z.B. CATIA) erfolgen (zu granular) allerdings dennoch Produktmodellrelevanz der Teilschritte vorhanden sein. Es soll eine allgemeine Aufbereitung und Bereitstellung vorliegenden Wissens über die Arbeit mit Produktmodellen erreicht werden.
	Nutzung vorhandenen Wissens	Vorhandenes explizites Wissen soll bei der Erstellung der Wissensbasis genutzt werden, um den Aufwand gering zu halten.
	<b>Betrachtete Handelnde</b>	
	Nutzer des Wissens in der Wissensbasis	Nutzer des im Rahmen eines Knowledge Engineering Projektes aufbereiteten und bereitgestellten Wissens sollen diejenigen Personen im Produktentwicklungsprozess sein, die mit Produktmodellen arbeiten. Dies können beispielsweise Personen wie Produktplaner und Produktentwickler sein.
<b>Konzept</b> Abstrakte Beschreibung der Arbeit mit Produktmodellen	<b>Sachbereichswissen</b>	
	Vielfalt an Produktmodelltypen	Der Umgang mit der Vielfalt an Produktmodelltypen soll unterstützt werden. Es soll eine Sammlung und Beschreibung vorhandener Produktmodelltypen erfolgen.
	Beschreibung der Produktmodelle	Ermöglichung der Unterscheidung vorhandener Produktmodelle anhand kleinem Satz an relevanten Beschreibungsparametern (Merkmale und Ausprägungen). Es sollen diskrete Ausprägungen der Merkmale identifiziert werden um eine eindeutige Klassifizierung zu ermöglichen.
	Domänen-übergreifende Wissensnutzung	Vorhandenes Wissen aus unterschiedlichen Modellierungsanwendungen soll genutzt werden.
	<b>Inferenzwissen</b>	
	Einflussfaktoren auf die Arbeit mit Modellen	Identifikation von Parametern, die die Arbeit mit Produktmodellen beeinflussen, und deren Verbindung zu den Tätigkeiten und Betrachtungsgegenständen.
	Situationspezifisch	Berücksichtigung von durch die Situation bedingte Einflussfaktoren (Rahmenbedingungen, Vorkenntnisse, etc.).
	<b>Aufgabenwissen</b>	
	Granularität der Teilschritte	Die einzelnen Teilschritte bei der Arbeit mit Produktmodellen müssen angemessen aufgeschlüsselt sein, um vorhandenes Wissen darin vermitteln zu können.
	<b>Modell der Kommunikation</b>	
Vermittlung des Wissens	Es sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie das in der Wissensbasis enthaltene Wissen den nutzenden Personen bereitgestellt werden kann.	
<b>Artefakt (Software)</b> Nicht im Fokus	<b>Modell des Designs</b>	
	Erweiterbarkeit	Zusätzliches Wissen soll in die Wissensbasis ergänzbar sein und die Erweiterung der Wissensbasis soll berücksichtigt werden.
	Implementierung	Die Implementierung erfolgt stets unternehmens- und anwendungsspezifisch. Daher liegt der Fokus nicht auf der Implementierung in einem wissensbasierten System, sondern auf der Strukturierung des Wissens. Die Implementierung kann darauf aufbauend in einem folgenden Schritt durchgeführt werden.

Die erste Ebene des KADS-Modells beschreibt den **Kontext**, in der das wissensbasierte System eingesetzt werden soll. Normalerweise werden wissensintensive Systeme vorrangig für einen spezifischen Anwendungsfall in einem bestimmten Unternehmen entwickelt. Die Ergebnisse sind damit spezifisch auf diesen Anwendungsfall und das jeweilige Unternehmen angepasst. Die Nutzung in anderen Anwendungsfällen und Unternehmen wäre mit Aufwand

verbunden. Für das Ziel dieser Dissertation – eine allgemein verwendbare Wissensbasis – wird daher der Kontext abstrakt formuliert. Dadurch wird eine allgemeine Anwendung ermöglicht. Für das Modell der Organisation bedeutet dies, dass die angestrebte Wissensbasis von allen Unternehmen, die mechatronische Produkte herstellen und dabei mit Produktmodellen arbeiten, nutzbar ist. Die Formulierung der Anforderungen an das Modell der Aufgaben und das Modell der Handelnden erfolgt gleichsam abstrakt. Die Wissensbasis soll Wissen über all diejenigen Tätigkeiten enthalten, in denen im Produktentwicklungsprozess mit Produktmodellen gearbeitet wird. Als Handelnde sind diejenigen Personen zu berücksichtigen, die mit Produktmodellen arbeiten. Dies beinhaltet sowohl direkte Arbeit mit dem Modell (z. B. Ersteller) als auch indirekte Arbeit mit dem Modell (z. B. Nutzer).

Die zweite Ebene umfasst Anforderungen an **Konzept der Umsetzung**. Diese sind ebenfalls allgemein gehalten, so dass eine möglichst abstrakte Beschreibung der Arbeit mit Produktmodellen ermöglicht wird. Bezüglich des Sachbereichswissens soll der Umgang mit der Vielfalt an Produktmodelltypen unterstützt werden. Eine Unterscheidung vorhandener Produktmodelle soll anhand einer geringer Anzahl an relevanten Beschreibungsmerkmalen ermöglicht werden. Einflussfaktoren auf die Arbeit mit Modellen sollen im Rahmen des Inferenzwissens erfasst sein. Die einzelnen Teilschritte als Teil des Aufgabenwissens sollen so aufgeschlüsselt sein, dass vorhandenes Wissen ohne eine Informationsüberflutung vermittelt werden kann.

Wie oben erwähnt liegt das **Modell des Artefakts** – also der Implementierung – nicht im Fokus dieser Dissertation. Die Implementierung des Ansatzes wird entsprechend der beabsichtigten Unterstützung als nachfolgender Schritt gesehen. Es wird allerdings auf eine Erweiterbarkeit der Wissensbasis sowohl auf inhaltlicher als auch struktureller Ebene geachtet.



## 6. Lösungsansatz: Produktmodell-Wissensbasis

*Das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen wurde in den vorigen Kapiteln als wichtiger Erfolgsfaktor in der Produktentwicklung hervorgehoben. Dieses Kapitel beschreibt die Wissensbasis für die Repräsentation von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen. Die aus Erkenntnissen des Knowledge Engineerings in Kapitel 5.6 abgeleiteten Anforderungen an den Lösungsansatz werden berücksichtigt. Zunächst werden die einzelnen Schritte zur Erstellung der Wissensbasis beschrieben. Ein Rahmenwerk dient der strukturierten Erfassung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen aus unterschiedlichen Quellen und dessen Integration in die Wissensbasis. Die Wissensbasis besteht aus einer Ontologie und drei Teil-Wissensmodellen. Wesentliche Teilaspekte des erforderlichen Wissens werden anhand einzelner Konzepte und deren Relationen in der Ontologie definiert. Die drei Teil-Wissensmodelle repräsentieren darauf aufbauend detailliert das für die Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Wissen. Die Nutzungsmöglichkeiten der erstellten und gefüllten Wissensbasis werden als Teil der Evaluation im folgenden Kapitel 7 beschrieben.*

### 6.1 Erstellung der Wissensbasis

Dieses Kapitel detailliert zunächst das Vorgehen zur Erstellung der Wissensbasis und deren grundlegenden Aufbau. Das dabei genutzte Rahmenwerk zur strukturierten Erfassung von Wissen über die Arbeit mit Modellen aus unterschiedlichen Wissensquellen wird vorgestellt. Die verwendeten Wissensquellen werden daraufhin im nächsten Kapitel entsprechend des Rahmenwerks verortet und deren Inhalte beschrieben.

#### 6.1.1 Vorgehen zur Erstellung der Wissensbasis

Das Vorgehen zur Erstellung der Wissensbasis baut auf der in Kapitel 5.5 beschriebenen 47-Schritt-Methodik zur Durchführung von Knowledge Engineering Projekten (MILTON 2007) und der KADS-Methodik zur modellorientierten Repräsentation von Wissen (SCHREIBER et al. 1999) auf.

Die folgende Abbildung (Bild 6-1) zeigt die zur Erstellung der Wissensbasis durchgeführten Schritte. Zunächst wird entsprechend der 47-Schritt-Methodik die Erstellung der Wissensbasis vorbereitet. Die Zielsetzung und die zu unterstützenden Betrachtungsbereiche werden festgelegt. Anforderungen an den Lösungsansatz werden ermittelt und Wissensquellen für die erforderliche Wissensakquise bestimmt. Die durch die Wissensbasis unterstützten Interaktionen zwischen den an Knowledge Engineering Projekten beteiligten Rollen und die Anforderungen an den Lösungsansatz wurden bereits in Kapitel 5.6 gemäß der in der KADS-Methodik formulierten Teilmodelle beschrieben.

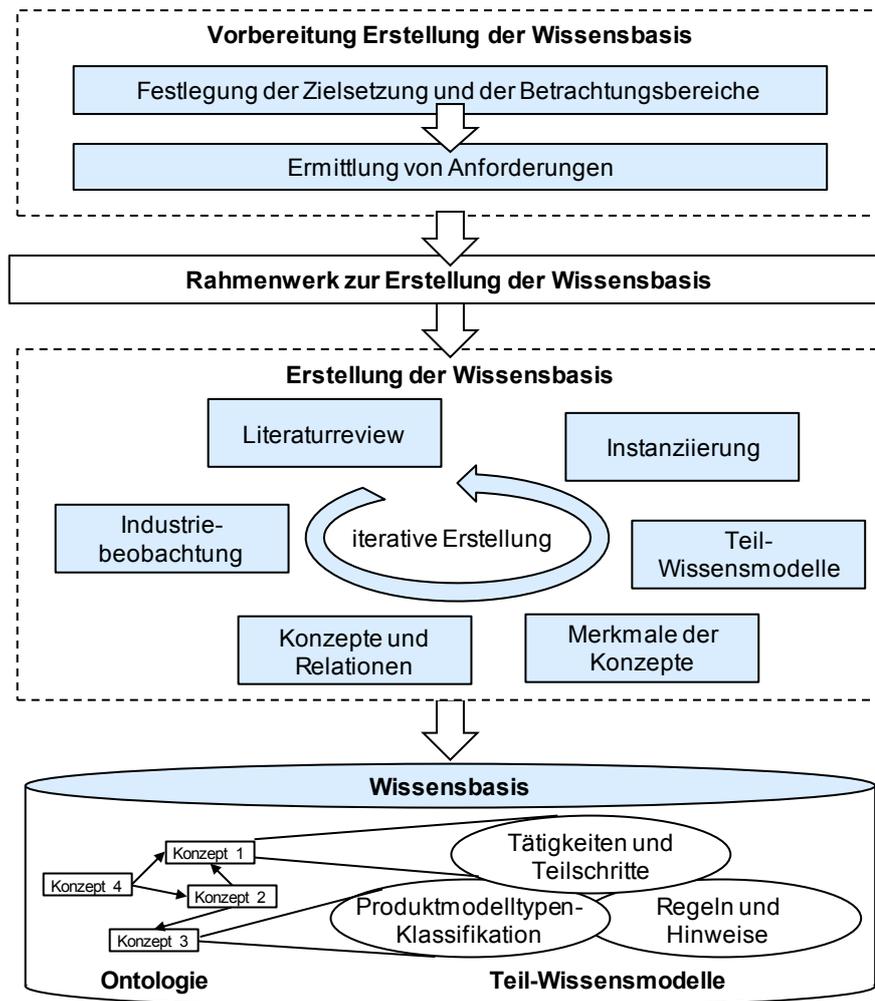


Bild 6-1: Vorgehen zur Erstellung der Wissensbasis

Zur nachvollziehbaren Akquise des in den einzelnen Wissensquellen enthaltenen Wissens wird ein Rahmenwerk zur Unterstützung der Erstellung der Wissensbasis verwendet. Dieses berücksichtigt die spezifischen Anforderungen an den Lösungsansatz und ermöglicht die Überführung des jeweiligen Wissens in eine kohärente Wissensbasis (Interaktion 1 entsprechend den Anforderungen). Das Rahmenwerk wird im folgenden Kapitel 6.1.3 näher beschrieben. Die Wissensbasis wird aufbauend auf dem Rahmenwerk unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.6 formulierten Anforderungen iterativ erstellt. Als Wissensquellen für die Erstellung der Wissensbasis dienen sowohl eigene Erfahrungen des Autors in der Arbeit mit Produktmodellen, in der Industrie durchgeführte Fallstudien und Literaturanalysen über die Arbeit mit Modellen (siehe Kapitel 6.2). Zunächst wird die Struktur der Wissensbasis in Form von Konzepten und deren Relationen definiert. Die Konzepte werden anhand sie beschreibender Merkmale detailliert und Wissen für die einzelnen Konzepte in Teil-Wissensmodellen repräsentiert. Die Instanziierung der Wissensbasis erfolgt durch Integration des in den einzelnen Wissensquellen enthaltenen Wissens in die Teil-Wissensmodelle. Die in dieser Dissertation verwendeten Wissensquellen ermöglichen eine initiale Befüllung der Wissensbasis. Ergänzungen von Wissen und Änderungen an der Wissensbasis sind

anwendungsspezifisch möglich und sinnvoll. Die Erweiterungsmöglichkeiten der Wissensbasis werden in Kapitel 7.2 anhand des allgemeinen Vorgehens zur Nutzung der Wissensbasis beschrieben.

### 6.1.2 Aufbau der Wissensbasis

Entsprechend der 47-Schritt-Methodik und der KADS-Methodik besteht die Wissensbasis aus einzelnen Wissensmodellen, die in ihrer Gesamtheit das Wissen für die Arbeit mit Produktmodellen enthalten. Aus diesen können entsprechend den jeweiligen Bedarfen der Wissensnutzer die benötigten Wissensartefakte extrahiert und an den Wissenssystem-Entwickler weitergegeben werden (Interaktion 3 entsprechend der formulierten Anforderungen). Die Wissensbasis enthält Sachbereichswissen, Wissen über die mit Produktmodellen durchzuführenden Tätigkeiten und Aufgaben, sowie Inferenzwissen, das in Form von Einflussfaktoren und Hinweisen die Abhängigkeiten zwischen den Entitäten des Sachbereichs und den Aufgaben beschreibt. Zur Repräsentation dieses Wissens wird eine Ontologie und drei Teil-Wissensmodelle genutzt. Bild 6-2 gibt eine Übersicht über die Inhalte der Ontologie und der Teil-Wissensmodelle.

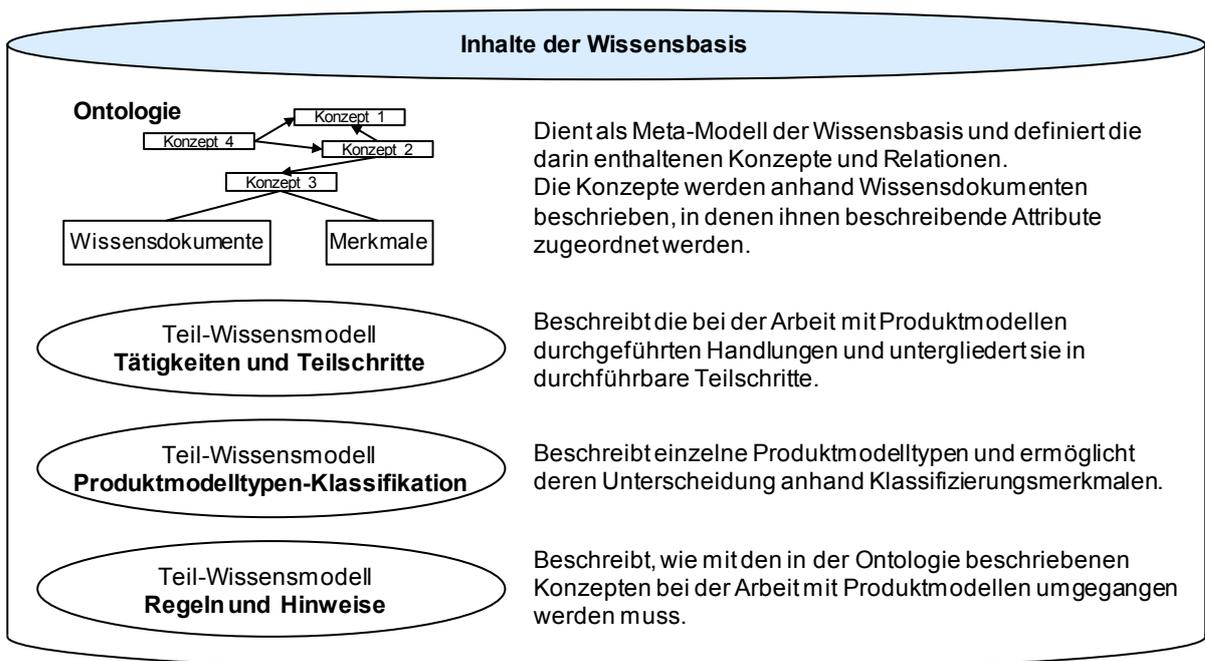


Bild 6-2: Wissensbasis mit Ontologie und Teil-Wissensmodellen

Die **Ontologie** definiert als Meta-Modell der Wissensbasis die relevanten Konzepte und Relationen zwischen den Konzepten. Wissensdokumente legen die Bedeutung der Konzepte anhand sie beschreibender Attribute fest. Die Ontologie bestimmt die Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Teil-Wissensmodellen. Diese detaillieren unter Nutzung der in der Ontologie beschriebenen Konzepte und Relationen die wesentlichen Aspekte des für die Arbeit mit Produktmodellen relevanten Wissens.

Das Teil-Wissensmodell „**Tätigkeiten und Teilschritte**“ dient zur Abbildung des prozeduralen Wissens über die zeitliche Durchführung von Tätigkeiten. Einzelne Tätigkeiten, die bei der Arbeit mit Produktmodellen durchgeführt werden, sind in diesem Teil-Wissensmodell gesammelt und in Teilschritte detailliert.

Im zweiten Teil-Wissensmodell „**Produktmodelltypen-Klassifikation**“ wird der existierenden Vielfalt an vorhandenen Produktmodelltypen anhand einer Klassifikation von Produktmodelltypen begegnet. Durch die Identifikation und Zuordnung geeigneter Unterscheidungsmerkmale zwischen den Produktmodelltypen lassen sich vorhandene Produktmodelltypen und damit auch Produktmodelle besser voneinander unterscheiden und gezielt für den jeweiligen Anwendungsfall auswählen.

Das dritte Teil-Wissensmodell „**Regeln und Hinweise**“ beinhaltet Wissen über die gegenseitige Beeinflussung der Merkmale der Konzepte der Wissensbasis. Regeln und Hinweise zur detaillierten Ausgestaltung der einzelnen Teilschritte werden darin erfasst. Diese werden daraufhin mit den Teilschritten bei der Arbeit mit Produktmodellen verknüpft, wodurch das Wissen in den einzelnen Teilschritten verfügbar gemacht werden kann.

Anhand dieser Aufschlüsselung des Wissens über die Arbeit mit Produktmodellen in den Teil-Wissensmodellen werden ebenfalls die schrittweise Klärung von Anforderungen und die Ermittlung von Wissensbedarfen der späteren Wissensnutzer unterstützt (Interaktion 2 entsprechend den formulierten Anforderungen). Denn die Konzepte und Attribute der Ontologie können genutzt werden, um Wissensbedarfe bezüglich der jeweiligen Konzepte zu ermitteln. Beispielsweise kann Wissensbedarf über die Abfolge von Tätigkeiten bestehen, über die Repräsentationsform der Modelle wird allerdings kein zusätzliches Wissen benötigt.

### 6.1.3 Rahmenwerk zur Erstellung der Wissensbasis

Die Wissensbasis soll gemäß den Anforderungen Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen enthalten und den Wissensingenieur bei der Erfassung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen unterstützen (Interaktion 1 entsprechend Kapitel 5.6). Als zentrale Herausforderung bei der Erfassung des Wissens ergibt sich die Vielfalt an vorhandenen Produktmodellen in Kombination mit der Vielfalt an unterschiedlichen Meinungen über die richtige Arbeit mit Modellen (vergleiche Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4). Denn wie können die unterschiedlichen Beschreibungen, Hinweise, Regeln derart erfasst werden, dass dennoch das enthaltene Wissen für den jeweiligen Anwendungsfall nutzbar gemacht wird? Als Hilfsmittel zur Erstellung der Wissensbasis wird in dieser Dissertation ein Rahmenwerk zur strukturierten Erfassung des Wissens über die Arbeit mit Modellen entwickelt (siehe KOHN et al. 2013b). Dieses ermöglicht, die Vielfalt an unterschiedlichen Wissensquellen über die Arbeit mit Modellen zu strukturieren und das darin enthaltene Wissen nachvollziehbar zu extrahieren.

Das Rahmenwerk baut auf den folgenden Hypothesen bezüglich der Generierung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen auf. Diese besagen, dass Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen aus drei unterschiedlichen Wissensquellen gewonnen werden kann (siehe Bild 6-3):

- Wissen aus der allgemeinen Modelltheorie kann gewinnbringend genutzt werden, um die Arbeit mit Produktmodellen im Produktentwicklungsprozess zu unterstützen.
- Wissen über die Arbeit mit Modellen eines bestimmten Typs bzw. einer bestimmten Modellierungsanwendung kann auch auf die Arbeit mit Modellen eines anderen Typs bzw. auf andere Modellierungsanwendungen angewandt werden.
- Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen in spezifischen Projekten kann genutzt werden, um allgemeine Unterstützungsmaßnahmen zu entwickeln und das Wissen somit für andere Projekte verfügbar zu machen.

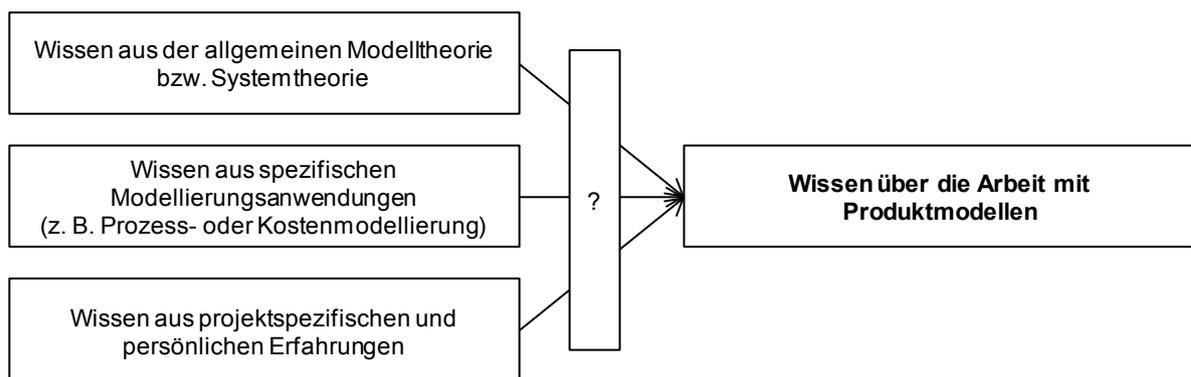


Bild 6-3: Wissensquellen für Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen

Das Rahmenwerk besteht entsprechend den genannten Hypothesen und den drei möglichen Wissensquellen aus drei Ebenen. Auf den einzelnen Ebenen repräsentierten drei inhaltliche Gruppen die einzelnen Sichtweisen auf das Wissen entsprechend der in der KADS-Methodik definierten Bestandteile von Wissensmodellen. Damit berücksichtigt das Rahmenwerk insbesondere die folgenden Anforderungen an die Bereitstellung des Wissens:

- Das Wissen muss in geeigneter Granularität vorliegen (nicht zu detailliert und nicht zu abstrakt).
- Das Wissen muss bewertbar sein bzw. bewertbar gemacht werden, z. B. ob es für den spezifischen Bedarf tatsächlich geeignet ist.
- Der Ursprung des Wissens muss bekannt sein, um gegebenenfalls klärende Rückfragen stellen zu können.

Die folgende Abbildung (Bild 6-4) zeigt die Struktur des Rahmenwerks anhand der drei Ebenen und drei inhaltlichen Gruppen. Diese wird in den folgenden Absätzen detailliert und das Rahmenwerk mit den Interaktionen zwischen den einzelnen Ebenen ist vollständig in Bild 6-6 dargestellt.

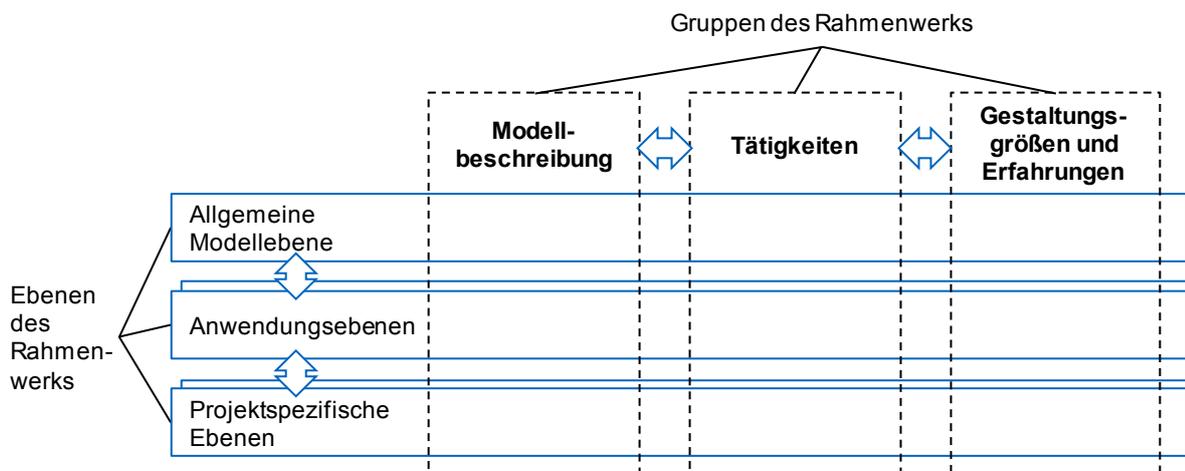


Bild 6-4: Struktur des Rahmenwerks mit Ebenen und Gruppen

Durch das Rahmenwerk werden insgesamt neun Felder aufgespannt, anhand derer unterschiedliche Aspekte des Wissens über die Arbeit mit Modellen verortet werden können. Die Ebenen ermöglichen die Verortung von Wissen aus den einzelnen Wissensquellen. Allgemeines Wissen über die Arbeit mit Modellen kann über die allgemeine Modellebene eingebracht werden. Anwendungsspezifisches Wissen wird in den Anwendungsebenen eingefügt. Projektspezifisches Wissen wird in der projektspezifischen Ebene verortet. Durch die Verallgemeinerung zwischen Anwendungsebene und allgemeiner Modellebene und der darauffolgenden Konkretisierung in die andere Richtung wird ein Transfer von anwendungsabhängigen Aspekten von einer Anwendung auf andere Anwendungen ermöglicht. Dadurch können Erkenntnisse, Regeln und Abläufe zwischen den unterschiedlichen Modellanwendungen transferiert werden. Im Folgenden werden zunächst die drei Gruppen und dann die drei Ebenen des Rahmenwerks beschrieben und anhand von Beispielen dessen Nutzung erklärt.

In folgender Abbildung (Bild 6-5) sind die drei Gruppen mit jeweiligen Beispielen für deren Inhalt aufgezeigt. Die deklarative Sicht auf den Sachbereich (das Sachbereichswissen) wird in der ersten Gruppe **Modellbeschreibung** erfasst. Diese Gruppe beinhaltet die für die Arbeit mit Modellen erforderlichen Definitionen und Abgrenzungen von Modellen. Auch Wissen über die Abgrenzung von unterschiedlichen Modelltypen anhand der erforderlichen Modellklassifikationen zählt hierzu.

Das Aufgabenwissen wird in modellrelevanten Tätigkeiten und Teilschritten in der Gruppe **Tätigkeiten** abgebildet. Die Tätigkeiten werden beschrieben anhand darin durchgeführter Teilschritte und einzelner Prozessabfolgen.

In der dritten Gruppe **Gestaltungsgrößen und Erfahrungen** wird das Inferenzwissen über die Zusammenhänge der einzelnen Betrachtungsgegenstände beschrieben. Darin werden die zur erfolgreichen Anwendung der in den ersten beiden Gruppen enthaltenen Elemente erforderlichen Informationen und Hinweise gegeben. Die Tätigkeiten werden durch einen

Ausgangszustand bedingt, durch Einflussfaktoren beeinflusst und resultieren in einem Ergebnis.

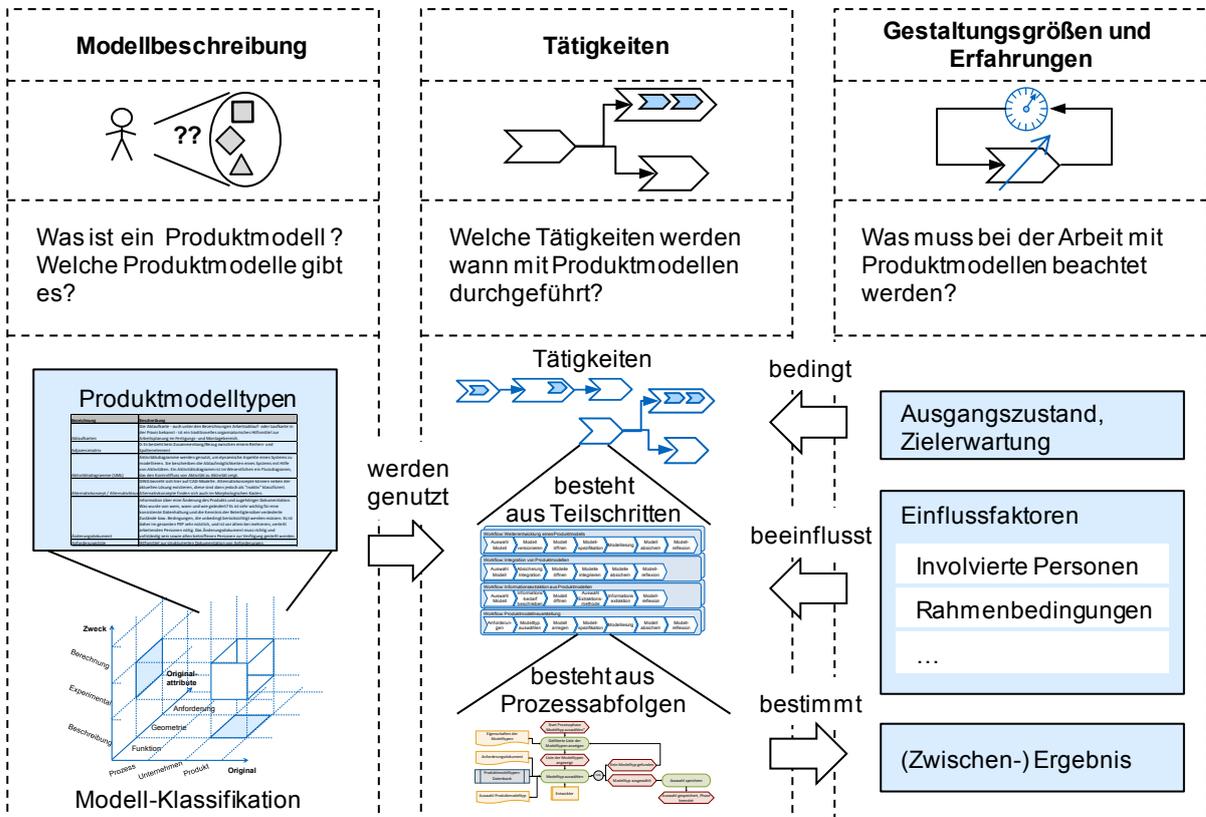


Bild 6-5: Inhaltliche Gruppen des Rahmenwerks

Die drei inhaltlichen Gruppen werden wie oben beschrieben anhand der drei Ebenen des Rahmenwerks in jeweils drei Felder unterteilt, in denen das Wissen über die Arbeit mit Modellen auf unterschiedlichen Abstraktionsgraden beschrieben werden kann (siehe Bild 6-6). Die Pfeile in Bild 6-6 stellen die vorliegenden Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Ebenen dar. Auf der Anwendungsebene stellt die **Produktmodellebene** die Zielebene der Bereitstellung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen in dieser Dissertation dar. Als Teilebene der Anwendungsebenen enthält sie Beschreibungen, welche Produktmodelle existieren, welche Tätigkeiten mit Produktmodellen durchgeführt werden, und Hinweise und Best Practices zur Arbeit mit Produktmodellen. Die anderen Ebenen dienen gemäß den formulierten Hypothesen der Befüllung dieser Produktmodellebene mit Wissen.

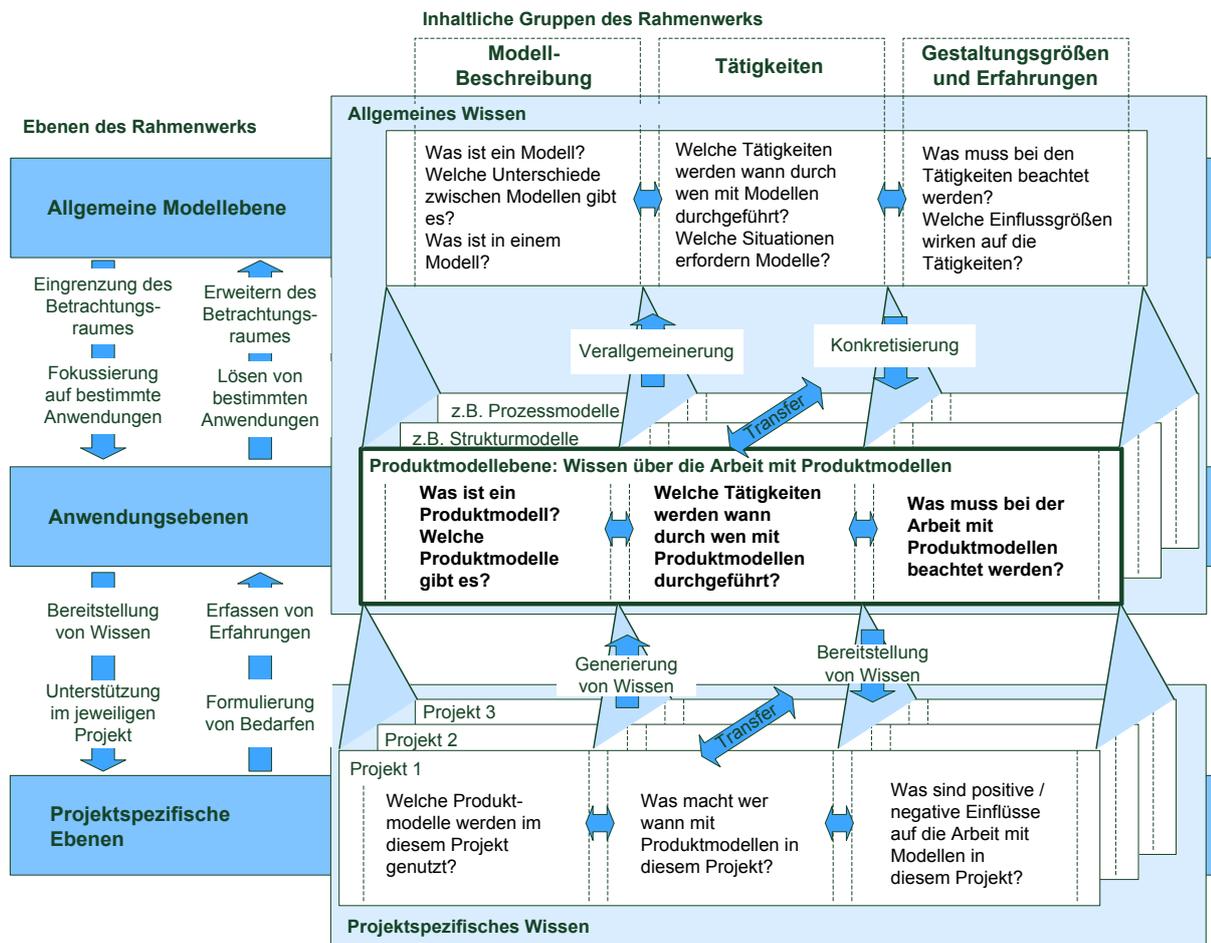


Bild 6-6: Rahmenwerk zur Erstellung der Wissensbasis mit Interaktionen

Die Befüllung der Produktmodellebene kann einerseits aus Erkenntnissen der allgemeinen Modelltheorie erfolgen. Diese werden in Form von anwendungsunabhängigen Aspekten der Modellierung auf der ersten Ebene des Rahmenwerks (**Allgemeine Modellebene**) beschrieben. Sie dient als Abstraktionsebene für die darunter liegende zweite Ebene. Durch diese Verallgemeinerung und darauf folgender Konkretisierung kann Wissen aus der allgemeinen Modellebene für die Beschreibung des Wissens über die Arbeit mit Produktmodellen genutzt werden. In der allgemeinen Modellebene wird beispielsweise vorgegeben, dass jedes Modell einen Modellzweck hat. Diese Eigenschaft vererbt sich an die Ebene der Produktmodelle. So können allgemeine, modelltheoretische Erkenntnisse und Wissen über die Arbeit mit Modellen, die bislang nicht im Umfeld der Produktentwicklung vorhanden waren, nutzbar gemacht werden. Die in der allgemeinen Modellebene beschriebenen Aspekte der Modellierung werden in der darunter liegenden Ebene anwendungsspezifisch konkretisiert.

Eine weitere Möglichkeit, Wissen für die Produktmodellebene zu akquirieren stellt die dritte Ebene dar (**Projektspezifische Ebene**). In ihr werden Erkenntnisse aus spezifischen Modellierungsprojekten erfasst. Durch eine Verallgemeinerung lassen sich diese Erkenntnisse auf die Produktmodellebene übertragen. Wird beispielsweise in einem

Produktentwicklungsprojekt festgestellt, dass bei der Erstellung von Modellen eines bestimmten Produktmodelltyps ein bestimmtes Werkzeug genutzt werden kann, so kann dieses Wissen als Best Practice in der Produktmodellebene erfasst werden. Die Produktmodellebene spannt den Rahmen auf für die Erfassung von Erkenntnissen und Wissen aus der tatsächlichen Durchführung von Modellierungsprojekten auf der projektspezifischen Ebene. Die Bereitstellung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen erfolgt, indem Bedarfe in der dritten Ebene formuliert und durch Wissen in der zweiten Ebene gedeckt werden. In der dritten Ebene findet dann eine Nutzung der in der zweiten Ebene erfassten Wissensaspekte in spezifischen Projekten statt. Beispielsweise wird die Vorgabe, dass jedes Produktmodell einen Zweck erfüllt in der dritten Ebene derart umgesetzt, dass für ein erstelltes Produktmodell der Zweck dokumentiert wird. Da mehrere Projekte durchgeführt werden können, gibt es mehrere Ausprägungen der dritten Ebene. Über das in der mittleren Ebene repräsentierte Wissen ist ein Transfer von Erkenntnissen zwischen diesen einzelnen Modellierungsprojekten möglich.

Die Produktmodellebene kann ebenfalls über einen Transfer von Erkenntnissen aus der Arbeit mit anderen Modellanwendungen, die keine Produktmodelle sind, gefüllt werden. Diese Erkenntnisse sind in den zur Produktmodellebene parallel angeordneten **Anwendungsebenen** enthalten. Diese Möglichkeit ist in dem Rahmenwerk deshalb vorgesehen, weil Erkenntnisse aus einer bestimmten Modellierungsanwendung in gewissen Grenzen übertragbar sind auf eine andere Modellierungsanwendung. Kennzahlen für die Bewertung der Qualität von Prozessmodellen können beispielsweise sinnvolle Anregungen für die Bewertung der Qualität von Produktmodellen geben. Vor allem, wenn die jeweiligen Modelle ähnlich sind (z. B. gelten für die graphische Darstellung von Prozessmodellen in Form eines Ablaufplanes ähnliche Qualitätsmerkmale wie für die graphische Darstellung einer umsatzorientierten Funktionsmodellierung). Diese anderen Modellierungsanwendungen ermöglichen damit eine Ergänzung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen. Der Transfer von Erkenntnissen zwischen einzelnen Modellierungsanwendungen kann über die allgemeine Modellebene erfolgen. Anhand von Ähnlichkeiten und Unterschieden der jeweiligen Modellanwendung können Aussagen hinsichtlich der Übertragbarkeit der Erkenntnisse und des Wissens getroffen werden.

Anhand der durch das Rahmenwerk aufgespannten neun Felder können die zur Erstellung der Wissensbasis genutzten Wissensquellen geordnet werden. Das folgende Kapitel zeigt diese Zuordnung auf und beschreibt die einzelnen genutzten Wissensquellen und deren Beitrag zur Erstellung der Wissensbasis.

## 6.2 Verwendete Wissensquellen

Das Rahmenwerk ermöglicht eine erleichterte Navigation durch die im Wissensmodell repräsentierten Artefakte und deren Relationen. Bei der Erstellung des Wissensmodells wird dokumentiert, auf welcher Ebene des Rahmenwerks das Wissen eingespeist wurde. Jedem der Wissensbasis hinzugefügten Wissensartefakt kann diese Information zugeordnet werden, anhand derer seine Herkunft beschrieben wird. Damit können später die Originalquellen ermittelt werden und das darin enthaltene Wissen zurückverfolgt und gegebenenfalls überprüft werden. In der folgenden Abbildung (Bild 6-7) sind die für die Erstellung und

Befüllung des Wissensmodells genutzten Wissensquellen entsprechend der neun Felder des Rahmenwerks eingeordnet. Das jeweilige Vorgehen zur Erfassung des Wissens und die erzielten Ergebnisse werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels aufgezeigt.

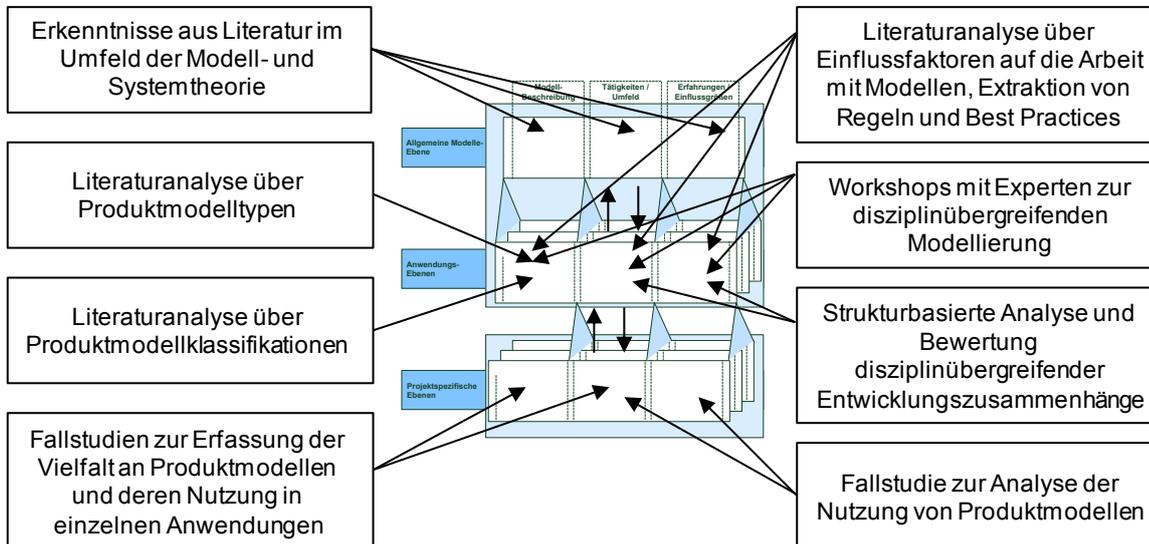


Bild 6-7: Verortung der Wissensquellen in das Rahmenwerk

Die Inhalte der ersten Ebene ergeben sich aus Erkenntnissen aus Literatur im Umfeld der Modell- und Systemtheorie und werden durch die in der Anwendungsebene gewonnenen Erfahrungen ergänzt. Für die Übersicht über die zur Verfügung stehenden Produktmodelltypen werden in einer Literaturanalyse Produktmodelltypen identifiziert und Produktmodellklassifikationen gesammelt. In einer weiteren Literaturanalyse werden Einflussfaktoren auf die Arbeit mit Modellen gesammelt. Es werden Regeln und Best Practices aus unterschiedlichen Anwendungsfeldern zusammengetragen, die in einem nächsten Schritt den einzelnen Tätigkeiten zugeordnet werden können. Ergänzend zu den Literaturanalysen dienen Workshops im Rahmen des Arbeitskreises Modell- und Prozessentwicklung im Sonderforschungsbereich 768 – Zyklenmanagement von Innovationsprozessen zur Ermittlung von Wissen auf der Anwendungsebene. In den Workshops werden aktuelle Ergebnisse mit Modellierungsexperten des Sonderforschungsbereiches aus unterschiedlichen Disziplinen diskutiert. Wie auch zwischen Anwendungs- und allgemeiner Modellebene werden Ergebnisse zwischen der projektspezifischen Ebene und der Anwendungsebene iterativ erweitert. Insgesamt werden vier Fallstudien zur Erfassung der Vielfalt an Produktmodellen und deren Nutzung in einzelnen Anwendungen durchgeführt. Darüber hinaus fließen zusätzliche Erkenntnisse über die Analyse und Bewertung disziplinübergreifender Entwicklungszusammenhänge anhand strukturbasierter Modelle in die projektspezifischen Ebenen mit ein.

Im Folgenden werden die erläuterten und in Bild 6-7 dargestellten Wissensquellen mit jeweiligen Fallstudien und Projekten genauer beschrieben. Aus den Fallstudien und Projekten gewonnene Erkenntnisse über die Arbeit mit Produktmodellen werden ebenfalls aufgezeigt.

### **Fallstudien zur Erfassung der Vielfalt an Produktmodellen und deren Nutzung**

Für die Erfassung der Vielfalt an Produktmodellen und die Analyse deren Nutzung in einzelnen Anwendungen werden in Ergänzung zu den Erfahrungen des Autors vier Fallstudien in der Industrie durchgeführt. Alle vier Fallstudien betrachten die Arbeit mit Produktmodellen aus unterschiedlichen Perspektiven und zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Produktentwicklungsprozess.

In der ersten Fallstudie wird die Verwendung von Techniken der Virtuellen Realität zur Vermittlung absicherungsrelevanter Informationen in der Montageabsicherung von Automobilen untersucht (PRODUKTENTWICKLUNG 2012b, SPÄTH et al. 2012). Insbesondere werden Medienbrüche in der Arbeit mit Produktmodellen analysiert und eine gezielte Vorselektion tatsächlich benötigter Informationen aus Produktmodellen angestrebt. Als Ergebnis dieser Fallstudie zeigt eine zweistufige Informationsbedarfsanalyse anhand von Interviews und Umfragebögen die durchzuführenden Aufgaben, die dazu verwendeten Systeme und die erforderlichen Informationen. Exemplarisch wurden Informationen aus CAD-Modellen, über die Montagereihenfolge, über Toleranzen, Messpunkte, Produkt-Problem-Meldungen, Befestigungselemente und Ansprechpartner als benötigte Informationen genannt. Die Nutzbarkeit dieser meist in Produktmodellen enthaltenen Informationen wird durch das jeweilige Datenformat, den Wertebereich, die Datenqualität und den Speicherort beeinflusst. Zentral abgelegte Informationen können beispielsweise leichter bereitgestellt werden als dezentral gespeicherte Informationen. Anhand dieser Fallstudie konnte ein Einblick in die Unterschiedlichkeit der Nutzung von Produktmodellen und Herausforderungen bei der Extraktion von Informationen aus vorhandenen Produktmodellen gezogen werden.

Die zweite Fallstudie beschäftigt sich mit der Transformation von Informationen zwischen zwei Produktmodelltypen. Ziel dieser zweiten Fallstudie ist die Erstellung einer Methodik zur Transformation von Informationen aus der technischen Zeichnung in 3D-CAD-Modelle unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen sowohl der Modellersteller als auch der Modellnutzer (PRODUKTENTWICKLUNG 2013b). Anhand einer Interviewstudie wurden potentielle Nutzer der technischen Zeichnung ermittelt, ihre Bedarfe erfasst und Möglichkeiten erarbeitet, wie die in technischen Zeichnungen enthaltenen Produktmodellelemente in CAD-Modelle integriert werden können. Als Ergebnis lassen sich Erkenntnisse über die Möglichkeiten und Grenzen der Erweiterbarkeit von Produktmodellen vor der Herausforderungen einer Multi-Nutzer-Landschaft ableiten.

Die dritte Fallstudie beleuchtet den Prozess der Eigenschaftsabsicherung und Eigenschaftsverzielung vor dem Hintergrund der großen Variantenvielfalt und der begrenzten Anzahl von durchführbaren Tests (PRODUKTENTWICKLUNG 2012a, KORTLER et al. 2012). Als Anwendungsfall wird die Bewertung des Energiebedarfs elektrifizierter Komponenten im Antriebsstrang adressiert. Hier stellt sich besonders die Herausforderung der Erfassung von erforderlichen Messdaten, deren Dokumentation in Produktmodellen, die Nutzung vorhandener Informationen, sowie die Weitergabe und Kommunikation generierter Produktmodelle an andere Abteilungen (sowohl Gesamtkonzeptverantwortliche als auch Komponentenverantwortliche). In dieser Fallstudie wird eine detaillierte Prozessbetrachtung der Abteilung durchgeführt. Als Ergebnis entsteht die Aufschlüsselung der Abhängigkeiten

der benötigten und generierten Informationen zu den Prozessschritten, Mitarbeitern, Werkzeugen und Speichermedien. Daran lassen sich Aussagen über die Verfügbarkeit von Informationen für einzelne Mitarbeiter, Möglichkeiten der Informationsnutzung und die Ursprünge von in Produktmodellen enthaltenen Informationen ableiten.

In der vierte Fallstudie wird weder ein Fokus auf eine bestimmte Produktmodellart noch eine bestimmte Visualisierungsform gelegt und der Betrachtungsraum auf die Gesamtheit der im Produktentwicklungsprozess genutzten Produktmodelle erweitert (KOHN et al. 2013a; PRODUKTENTWICKLUNG 2013a). In einem Produktentwicklungsprojekt werden in dieser Fallstudie durch den Produktentwickler all diejenigen Situationen und Tätigkeiten dokumentiert und reflektiert, in denen er mit Produktmodellen in Berührung kommt. Als Anschauungsbeispiel dient die Entwicklung einer elektrischen Rückfahrlilfe im Motorrad (siehe Evaluationskapitel 7.3.1). In der Fallstudie konnten die unterschiedlichen Facetten der Verwendung von Produktmodellen, die Vielfalt an genutzten Produktmodellen sowie positive und negative Aspekte der Arbeit mit Produktmodellen aufgezeigt werden. Um den Umgang mit Produktmodellen im Entwicklungsvorgang besser zu verstehen und Handlungsbedarfe abzuleiten, wurden durch den Entwickler die Erfahrungen im Umgang mit Produktmodellen während des Projektverlaufs dokumentiert. Als Orientierung dient ein Reflexionsbogen in dem zu den folgenden Aspekten Stellung bezogen wurde:

- Beteiligte Personen und ihre Rollen und Interaktion der Personen
- Durchgeführte Teilschritte im Umgang mit den Produktmodellen
- Verfügbare bzw. verwendete Mittel (Werkzeuge, etc.) und Rahmenbedingungen
- Genutzten Ressourcen zur Informationsbeschaffung
- Beurteilung des Ergebnisses

Eine Umfrage unter sieben Mitarbeitern innerhalb der Entwicklungsabteilung (zwischen 1 und 15 Jahren Abteilungszugehörigkeit) dient in Ergänzung zur Reflexion während des Entwicklungsprozesses der Kontrolle und Bestätigung der Ergebnisse. Die Befragung wurde im Rahmen einzelner Experteninterviews auf qualitativer Basis durchgeführt. In den Interviews wurden ergänzend zu den Reflexionsbögen konkrete Probleme im Umgang mit Produktmodellen abgefragt, die sich auf die Informationsbeschaffung und Informationsweitergabe in Produktentwicklungsprojekten auswirken.

### **Projekte zur allgemeinen Untersuchung der Arbeit mit Modellen**

Neben diesen Fallstudien in der Industrie, die einen detaillierten Einblick in die aktuelle industrielle Nutzung von Produktmodellen geben, dienen zwei im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 768 angesiedelte Projekte zur Akquise von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen. Der Sonderforschungsbereich 768 erforscht Methoden und Ansätze des Zyklusmanagements von Innovationsprozessen am Beispiel der verzahnten Entwicklung von Leistungsbündeln auf Basis technischer Produkte (siehe HEPERLE et al. 2011 oder [www.sfb768.de](http://www.sfb768.de) für weitere Informationen).

Das erste Projekt beschäftigt sich mit der strukturbasierten Modellierung und Analyse disziplinübergreifender Entwicklungszusammenhänge. Das Projekt verfolgt die Zielsetzung, komplexe Systeme anhand Informationen über deren Struktur zu analysieren. Im Rahmen

dieses Projektes wird die Erstellung und Nutzung von strukturbasierten Modellen detailliert untersucht und es werden Methodiken entwickelt, wie strukturbasierte Modelle nachvollziehbar erstellt und die zu Grunde liegende Systeme effizient analysiert werden können. Strukturbasierte Modelle können beispielsweise als Teil des strukturellen Komplexitätsmanagements als Multiple-Domain-Matrix aufgebaut werden (LINDEMANN et al. 2009). Anhand der Beobachtung von laufenden bzw. der Reflexion von bereits abgeschlossenen Struktur-Modellierungsprojekten werden Verbesserungsbedarfe abgeleitet. Als erstes Ergebnis entsteht eine Methodik zur Kompensierung von Unsicherheiten bei der Erstellung von Strukturmodellen (KASPEREK et al. 2013) und eine Checkliste und Dokumentationsvorlage zur Erhöhung der Nachvollziehbarkeit von erstellten Modellen.

Ebenfalls als Teil des Sonderforschungsbereichs 768 verfolgt der Arbeitskreis Modell- und Prozessentwicklung das Ziel, die innerhalb des Sonderforschungsbereiches durchgeführten Modellierungsaktivitäten der einzelnen Teilprojekte zu koordinieren und zu konsolidieren. Die unterschiedlichen Betrachtungsgegenstände der einzelnen Modelle und die Vielfalt an beteiligten Disziplinen mit daraus resultierenden Abstimmungsschwierigkeiten sind zentrale Herausforderungen. Zur verbesserten Abstimmung der Kommunikation und zur Förderung des gegenseitigen Verständnisses dienen Modell-Steckbriefe, die in knapper Form die essentiellen Bestandteile eines Modells erfassen. Darüber hinaus ermöglichen Lasten- und Pflichtenhefte der Modellierung anhand der Vorgabe relevanter, vor dem Hintergrund der interdisziplinären Zusammenarbeit zu berücksichtigender Aspekte die Überwindung der genannten Herausforderungen (KOHN et al. 2013c).

### **Literaturanalyse über die Arbeit mit Modellen**

In Ergänzung zu den durchgeführten Fallstudien und Projekten wird eine Literaturanalyse durchgeführt, welche Beiträge analysiert, die sich mit der Beschreibung von Tätigkeiten im Umgang mit Modellen beschäftigen. Wissenschaftliche Beiträge, Lehrbücher und Anleitungen dienen als Grundlage der Literaturanalyse. Sowohl eine Breitensuche in Google, Google Scholar und SciVerse wurde durchgeführt als auch eine Tiefensuche in Journals im Umfeld der Produktentwicklung. Literaturquellen werden als wertvoll bewertet, wenn darin entweder Informationen über den Ablauf von Handlungen mit Modellen beschrieben werden, Qualitätskriterien für die Arbeit mit Modellen oder Qualitätskriterien für Modelle an sich aufgeführt sind, oder auch Modellklassifikationen vorgeschlagen werden, um eine Arbeit mit Modellen zu unterstützen. Die folgende Abbildung zeigt die einzelnen Aspekte, die aus der Literatur entnommen werden (Bild 6-8). Aus den Literaturquellen wird einerseits prozedurales Wissen über die Tätigkeiten und Abläufe der Arbeit mit Modellen extrahiert. Damit wird die Frage beantwortet: Was wird mit Modellen getan und wann wird etwas getan? Darüber hinaus wird Wissen über prinzipiell verfügbare Modellalternativen und deren Unterscheidungsmöglichkeiten anhand Modellklassifikationen extrahiert. Regeln und Hinweise zur Gestaltung der Abläufe und Qualitätskriterien dienen der Ausdetaillierung der einzelnen Tätigkeiten.

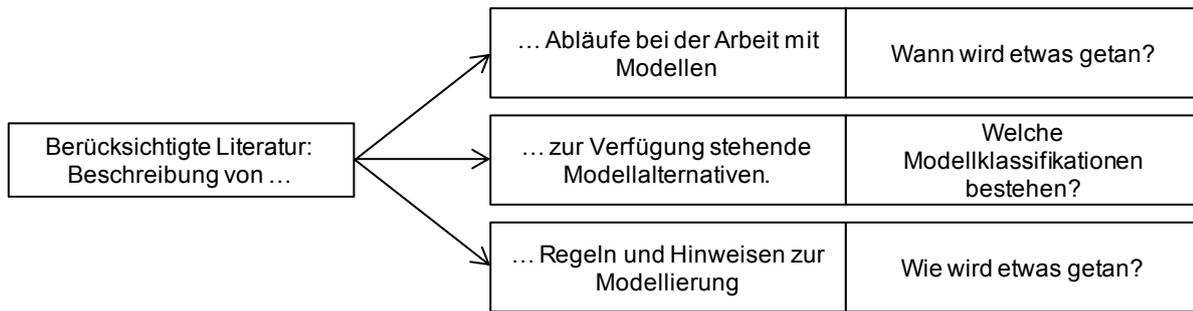


Bild 6-8: Inhalte der für die Wissensakquise berücksichtigten Literaturquellen

Die gefundenen Artikel stellen einen Ausschnitt der verfügbaren Literatur über die Arbeit mit Modellen dar. Die Artikel unterscheiden sich im Entstehungskontext und enthalten unterschiedliche Inhalte über die Arbeit mit Modellen. Die Anwendungsdomänen der Artikel reichen von der Beschreibung der Arbeit mit Simulationsanwendungen, der Erstellung von Wissensmodellen, der Analyse von Prozessmodellen über Modelle in der Softwareentwicklung bis hin zu konkreten Hinweisen zum Umgang mit Produktmodellen. Sie unterscheiden sich stark im Detaillierungsgrad der Betrachtung. Während einige sich auf einen vollständigen Modellierungsprozess beziehen, fokussieren sich andere auf bestimmte Teilaspekte der Modellierung – zum Beispiel die Validierung von Modellen. Unterschiedliche Rahmenbedingungen fließen in die Betrachtung mit ein. Beispielsweise wird bei einigen Literaturstellen gezielt der Einfluss von Gruppenaspekten (Dynamik, verteilte Rollen, Motivation der involvierten Personen) auf den Modellierungsprozess und das Modellierungsergebnis untersucht. Bei anderen Quellen spielt dieser Aspekt dagegen keine Rolle. Auch werden in den einzelnen Quellen unterschiedliche Formulierungen des für die erfolgreiche Arbeit mit Modellen erforderlichen Wissens verwendet. Die folgende Auflistung gibt exemplarisch eine Übersicht über die in der Literatur vorliegenden einzelnen Arten der Vermittlung von Wissen über die Arbeit mit Modellen:

- Gründe, warum Modellierungsprojekte scheitern können (BIRTA & ARBEZ 2007)
- Leistungselemente von Modellen (BROOKS & TOBIAS 1996)
- Faktoren für gute Modelle (DÜRRENBARGER et al. 1999)
- Richtlinien für die Modellierung (KERLEY et al. 2009)
- Probleme mit Modellen (MEISEL & COLLINS 1973)
- Prinzipien der Modellierung (PIDD 1999)
- Faktoren, die die Modellierung beeinflussen (RENGER et al. 2008)
- Empfehlungen für Modellierer (SANCHEZ 2007)
- Faktoren, die die Modellnutzbarkeit beeinflussen (WYNN et al. 2010)
- Eigenschaften zur Messung der Qualität von Modellierungstechniken (HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000)
- Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (BECKER 1998)

Insgesamt wurden 47 Literaturquellen aus unterschiedlichen Anwendungsfeldern berücksichtigt. Tabelle 11 gibt eine Übersicht über die Verteilung der Inhalte auf die

einzelnen Bereiche der Quellen. Von den insgesamt 47 Quellen sind in 12 Quellen Angaben über Modellklassifikationen enthalten, in 24 Quellen sind Modellierungsabläufe angegeben und in 35 Quellen sind Regeln und Hinweise beschrieben.

Tabelle 11: Übersicht der Inhalte der Literaturquellen

Anwendungsfeld	Gesamt	Modellklassifikation	Modellierungsabläufe	Regeln und Hinweise
Datenmodellierung	1	0	1	0
Informatik	4	1	2	1
Kostenmodellierung	1	0	0	1
Produktion	1	0	1	1
Produktmodellierung	6	3	3	4
Prozessmodellierung	7	1	2	7
Simulation	14	2	8	12
Systems Engineering	4	2	2	4
Umweltmodellierung	3	2	0	1
Wissensmodellierung	5	1	5	3
Entscheidungsmodellierung	1	0	0	1
	<b>47</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>35</b>

Eine detaillierte Aufschlüsselung der in dieser Literaturanalyse berücksichtigten Quellen findet sich im Anhang in Kapitel 10.2. Für jede der Quellen ist dort aufgelistet, ob Wissen in Form von konkreten Regeln und Hinweisen bezüglich der Arbeit mit Modellen, Modellklassifikationen oder prozedurales Modellierungsvorgehen enthalten ist. Ebenfalls sind die jeweiligen Anwendungsfelder der Literaturquellen angegeben.

### Produktmodellspezifische Literatur

In Ergänzung zu der allgemeinen Literatur über die Arbeit mit Modellen wird für die Erstellung des Teil-Wissensmodells Produktmodelltypen-Klassifikation Literatur aus dem Bereich der angewandten Produktentwicklungsforschung genutzt. Ziel dieser Literaturanalyse ist die Sammlung und Klassifikation von Produktmodelltypen. Sowohl Lehrbücher, Dissertationen, Journalartikel als auch Konferenzbeiträge finden Berücksichtigung und werden hinsichtlich Identifikation vorhandener Produktmodelltypen analysiert.

Die Erstellung der Klassifikation der Produktmodelltypen baut auf drei miteinander kombinierten Literaturanalysen auf (siehe Bild 6-9). Die bereits in Kapitel 4.3.3 vorgestellte Sammlung an Klassifikationsansätzen von Produktmodellen gibt den Rahmen vor, anhand dessen die Produktmodelltypen klassifiziert werden. Allgemeine Literatur aus dem Bereich der Produktentwicklungsforschung dient als Grundlage für die Identifikation von Produktmodelltypen (PRODUKTENTWICKLUNG 2011a). Zur Kontrolle dient spezifische Literatur aus dem Anwendungsbereich der Elektrofahrzeugentwicklung (PRODUKTENTWICKLUNG 2011b). Darin gefundene Produktmodelle werden zur Überprüfung der Vollständigkeit der Sammlung an Produktmodelltypen genutzt.

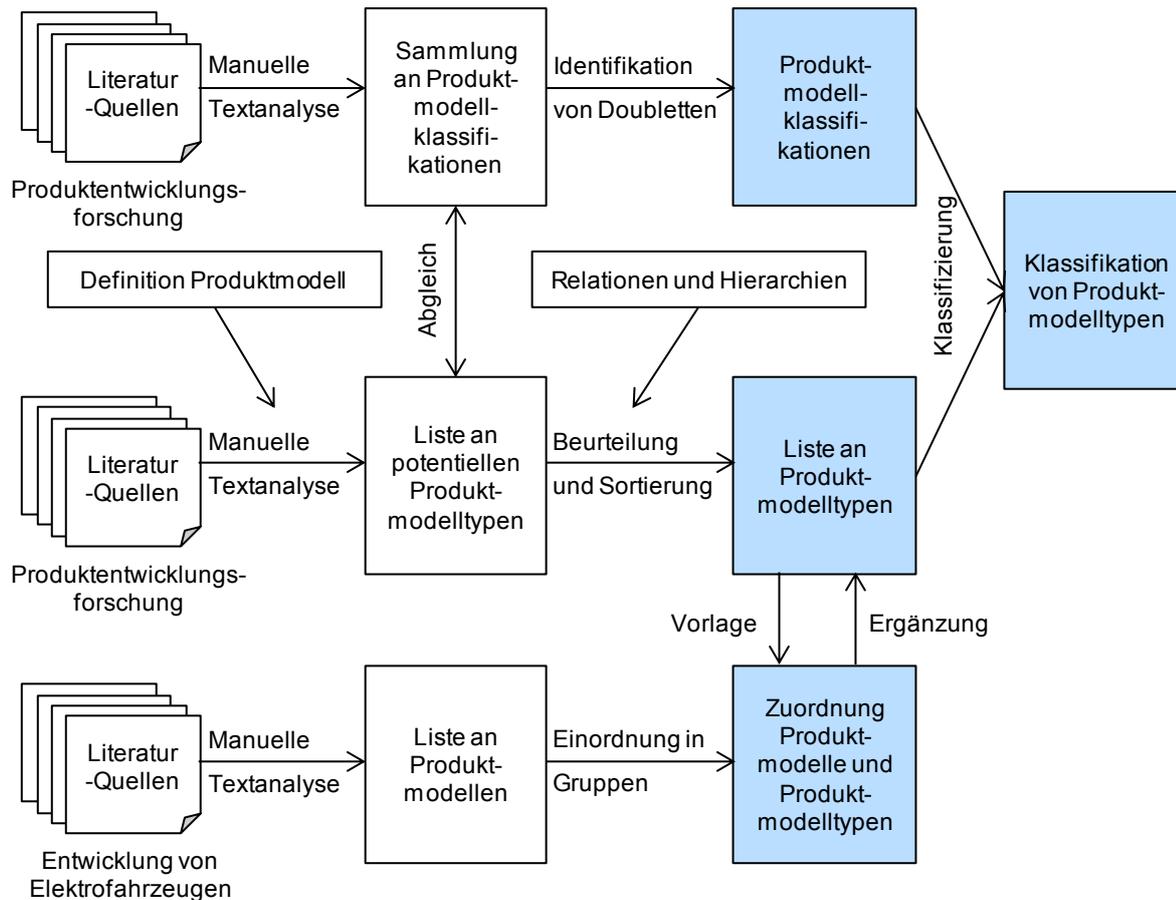


Bild 6-9: Literaturquellen zur Sammlung und Klassifizierung der Produktmodelltypen

Aus der allgemeinen Literatur aus dem Bereich der Produktentwicklungsforschung werden in einem ersten Schritt anhand einer manuellen Textanalyse Bezeichnungen von potentiellen Produktmodelltypen aufgenommen. Insgesamt dienen 49 Veröffentlichungen als Quelle für diese Literaturanalyse (KOHN et al. 2012, PRODUKTENTWICKLUNG 2011a). Ein Element wird als potentieller Produktmodelltyp aufgenommen, wenn es Produktinformationen abbildet. In einem zweiten Schritt werden die Begriffe in der so entstandenen Liste an potentiellen Produktmodelltypen erneut kritisch beurteilt, ob es sich tatsächlich um Produktmodelltypen handelt und Abhängigkeiten zwischen den Begriffen (Hierarchie, Synonyme, etc.) identifiziert. Ebenfalls erfolgt ein Abgleich mit bestehenden instanziierten Klassifikationen von Produktmodelltypen. Synonyme werden zusammengefasst und Hierarchien gebildet. Allgemeine Oberbegriffe (z. B. Berechnungsergebnis, Anforderungsmodell) sind nicht als Produktmodelltypen aufgenommen.

Der Herausforderung der Detailtiefe der Suche wird begegnet, indem lediglich Veröffentlichungen auf einem produktentwicklungsumfassenden Level betrachtet werden. Detaillierte Tiefenanalysen einzelner Produktmodelltypen wie beispielsweise die von EISENBART et al. 2012 und ERDEN et al. 2008 bezüglich Funktionsmodellen (Diskussion siehe Kapitel 6.5) werden nicht in die Betrachtung mit einbezogen. Das darin enthaltene konkrete Wissen kann allerdings bei Bedarf in die Wissensbasis ergänzt werden. Die Unterscheidung

zwischen einzelnen Produktmodelltypen erfolgt auf Basis ihrer Bezeichnungen und in der Literatur angegebenen Beschreibungen.

In Ergänzung zu dieser Breitensuche wird eine Sammlung an konkreten Produktmodellen durchgeführt. Hierfür dient exemplarisch Literatur aus dem Bereich der Elektrofahrzeugentwicklung. Die Extraktion der Produktmodelle erfolgt anhand manueller Textanalyse von insgesamt 41 Veröffentlichungen (KOHN et al. 2012; PRODUKTENTWICKLUNG 2011b). Diese Produktmodelle beschreiben einen bestimmten Teilaspekt des Elektrofahrzeugs. Anhand der Sammlung an konkreten Produktmodellen wird die Sammlung an Produktmodelltypen iterativ überprüft. Lässt sich ein gefundenes Produktmodell keinem Produktmodelltyp zuordnen, so ist die Liste an Produktmodelltypen unvollständig und muss um diesen erweitert werden. Die Ergebnisse dieser Literaturanalyse werden in Kapitel 6.5 im Rahmen des Teil-Wissensmodells Produktmodelltypen-Klassifikation beschrieben.

### 6.3 Ontologie zur Abbildung der Arbeit mit Produktmodellen

In der Wissensbasis wird eine Ontologie zur Repräsentation der für die Arbeit mit Produktmodellen relevanten Betrachtungsgegenstände genutzt. Die Ontologie übernimmt die Rolle des Meta-Modells der Wissensbasis. In ihr werden die relevanten Konzepte und Relationen auf der Produktmodellebene des Rahmenwerks beschrieben. Sie dient der Festlegung der in der Wissensbasis genutzten Konzepte und deren Verbindungen. Dadurch wird eine Verknüpfung der einzelnen Teil-Wissensmodelle ermöglicht. Die Konzepte besitzen Merkmale, anhand derer sie charakterisiert werden können. Wissen kann durch Instanziierung der Ontologie und der Teil-Wissensmodelle in die Wissensbasis eingefügt werden. Dazu werden Instanzen in der Wissensbasis ergänzt, und ihnen entsprechend der verfügbaren Merkmale Eigenschaften zugeordnet. In diesem Kapitel wird zunächst die Struktur der Ontologie anhand ihrer Klassen und Relationen beschrieben und die einzelnen Konzepte definiert. Daraufhin erfolgt die Beschreibung der Merkmale der einzelnen Konzepte.

#### 6.3.1 Struktur der Ontologie

In der folgenden Abbildung (Bild 6-10) ist die Struktur der Ontologie anhand eines Graphen abgebildet. Die Knoten des Graphen repräsentieren die Klassen der Ontologie, und die Kanten ihre Relationen. Unten im Bild beschreibt eine Legende die graphische Bedeutung der Symbole.

Die Ontologie besteht aus Konzepten und sie verbindende Relationen. Die Konzepte und Relationen definieren die für das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen relevanten Aspekte. Zentrales Konzept der Ontologie ist das *Modell*. Es wird durch eine *Tätigkeit* benutzt und gegebenenfalls verändert. Die *Tätigkeit* verfolgt ein bestimmtes *Ziel*, das wiederum ein *Modell* erfordert. Entsprechend der im *Modelltyp* definierten Ausdrucksmächtigkeit und der jeweiligen Ausgestaltung des Modells eignet sich dieses für die Erfüllung des *Ziels*. Das *Modell* bildet, wie in der allgemeinen Modelltheorie beschrieben, ein *Original* ab. Die *Tätigkeiten* bei der Arbeit mit Modellen werden in dieser Dissertation in acht *Tätigkeiten* unterteilt (siehe Kapitel 6.4). Diese *Tätigkeiten* bestehen aus einer Folge von

*Teilschritten.* Die *Tätigkeiten* und *Teilschritte* werden durch situationspezifische *Einflussfaktoren* beeinflusst. *Involvierte Personen, Gruppenaspekte, Rahmenbedingungen* und die vorliegende *Daten- und Informationslage* wirken auf die Abläufe der Arbeit mit *Modellen*. Unterstützungsmaßnahmen bzw. *Hilfsmittel* wie *Werkzeuge*, formulierte *Best Practices* und *Vorgehensbeschreibungen* können unter Berücksichtigung der jeweiligen Situation zur Gestaltung der Teilschritte genutzt werden. Für die Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen ist es erforderlich, das Zusammenspiel dieser einzelnen Konzepte gezielt zu gestalten.

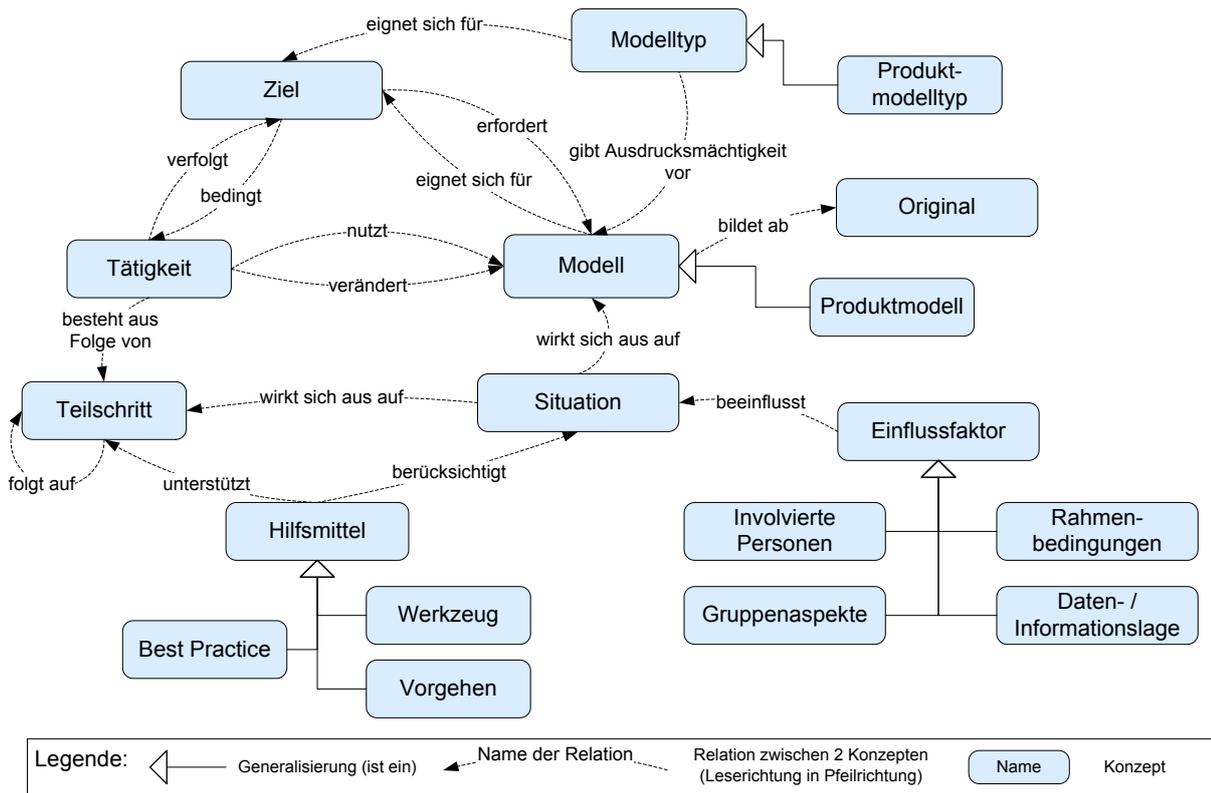


Bild 6-10: Konzepte und Relationen der Ontologie (Meta-Modell der Wissensbasis)

Die Definition der Konzepte der Ontologie erfolgt anhand von Wissensdokumenten. Jedes Konzept besitzt Attribute unterschiedlichen Typs. Das einfachste Attribut des Konzepts *Modell* ist beispielsweise der Name eines Modells. Attribute können darüber hinaus genutzt werden, um den Konzepten Merkmale zuzuordnen. Beispielsweise ist die Größe eines Modells ein Merkmal, das über ein Attribut in dem Wissensdokument repräsentiert ist. Für jedes Konzept der Ontologie wird eine Konzept-Beschreibung in Form eines Wissensdokuments erstellt. Der Aufbau eines Wissensdokuments erfolgt wie in der folgenden Abbildung (Bild 6-11) exemplarisch dargestellt.

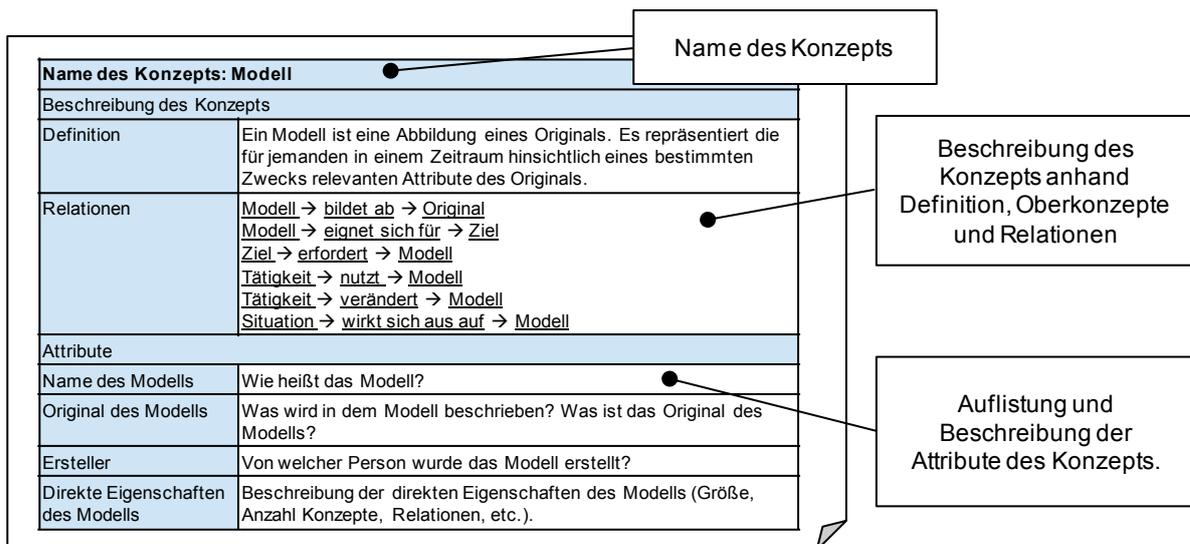


Bild 6-11: Beschreibung der Konzepte der Ontologie anhand einzelner Wissensdokumente

Ein Wissensdokument ist in zwei Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt wird das Konzept anhand dessen Namen, einer Definition, seiner Relationen in der Ontologie, sowie gegebenenfalls vorhandener Oberkonzepte beschrieben. Daraufhin erfolgt eine Detaillierung anhand der Attribute des Konzepts.

Die Konzepte sind in der folgenden Tabelle 12 aufgeführt. Die vollständige Beschreibung der Konzepte inklusive der jeweiligen Attribute anhand der Wissensdokumente findet sich im Anhang in Kapitel 10.2. Die Ontologie ermöglicht anhand der Definition der Konzepte und Relationen die Verbindung der drei Teil-Wissensmodelle der Wissensbasis. In ihr kann das für die Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Wissen strukturiert werden und die Konzepte und Relationen stellen die Verbindung zu den einzelnen Teil-Wissensmodellen dar. Die Teil-Wissensmodelle enthalten darauf aufbauend das explizite Wissen über einzelne Teilaspekte des für die Arbeit mit Produktmodellen relevanten Wissens. Das Teil-Wissensmodell „Tätigkeiten und Teilschritte“ detailliert die Konzepte Tätigkeit und Teilschritt. Die Konzepte Modelltyp, Modell und Ziel werden im Teil-Wissensmodell „Produktmodelltypen-Klassifikation“ abgebildet. Die Sammlung an Produktmodelltypen und deren Klassifikation ermöglicht die Übersicht über die vorhandene Vielfalt an Produktmodellen und ermöglicht so die am Ziel der jeweiligen Handlung orientierte Verwendung einzelner Produktmodelltypen. Die Situation, die wirkenden Einflussfaktoren und die Hilfsmittel werden im dritten Teil-Wissensmodell „Regeln und Hinweise“ detailliert. Das Wissen ist in Form von Regeln und Hinweisen erfasst. Diese können genutzt werden, um Abläufe und Teilschritte gezielt entsprechend den jeweiligen Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen zu steuern.

Tabelle 12: Definition der Konzepte der Ontologie

Konzept	Definition
Modell	Ein Modell ist eine Abbildung eines Originals. Es repräsentiert die für jemanden in einem Zeitraum hinsichtlich eines bestimmten Zwecks relevanten Attribute des Originals.
Produktmodell	Ein Produktmodell ist ein Modell mit folgender Einschränkung: Ein Produktmodell ist die Abbildung eines realen oder gedachten Produktes hinsichtlich eines bestimmten Zwecks im Entwicklungsprozess.
Modelltyp	Ein Modell entsteht durch die Instanziierung eines Modelltyps. Der Modelltyp stellt somit das Meta-Modell des Modells dar. Da allerdings das Meta-Modell oftmals nicht explizit formuliert ist (z. B. bei einem physischen Prototyp), wird der Begriff des Modelltyps hier bevorzugt verwendet.
Produktmodelltyp	Ein Produktmodelltyp ist ein Modelltyp, der die Instanziierung eines Produktmodells ermöglicht.
Original	Das Original wird durch das Modell abgebildet. Das Original kann jedes beliebige reale oder gedachte Objekt sein.
Ziel	Das Ziel einer Tätigkeit bestimmt die Ausrichtung der Tätigkeit und dient der Bewertung des Erfolgs der Tätigkeit.
Tätigkeit	Eine Tätigkeit besteht aus einer Abfolge von Teilschritten und verfolgt ein bestimmtes Ziel hinsichtlich der Veränderung von Artefakten.
Teilschritt	Ein Teilschritt ist eine Abfolge einzelner, nicht weiter zu detaillierender Prozessschritte. Die Abfolge mehrerer Teilschritte ergibt eine Tätigkeit.
Hilfsmittel	Für die Unterstützung der Teilschritte einer Tätigkeit können unterschiedliche Unterstützungsmöglichkeiten (Hilfsmittel) genutzt werden. Regeln, Werkzeuge, Best Practices und Methoden sind exemplarische Hilfsmittel.
Werkzeug	Ein Werkzeug wird eingesetzt, um einen Teilschritt zu unterstützen. Ein Werkzeug kann computerbasiert (z. B. eine Software) oder auch physisch (z. B. eine Checkliste oder ein Formblatt) vorliegen.
Vorgehen	Ein Vorgehen detailliert einen Teilschritt hinsichtlich einzelner Vorgehensschritte aus und legt somit im Sinne einer Handlungsempfehlung die zeitliche Gestaltung eines Teilschrittes fest. Das Vorgehen kann bspw. in Form einer ereignisgesteuerten Prozesskette beschrieben werden.
Best Practice / Erfahrungen	Erfahrungen und Best Practices aus früheren Projekten können zur Unterstützung eines Teilschrittes genutzt werden.
Situation	Die Situation beschreibt die aktuell vorherrschenden Zustände und Rahmenbedingungen die auf eine Handlung wirken (z. B. die Anzahl an beteiligten Personen).
Einflussfaktor	Ein Einflussfaktor wirkt auf eine Situation und beeinflusst somit die Durchführung einer Handlung.
Involvierte Personen	Involvierte Personen sind alle an der Tätigkeit direkt oder indirekt beteiligten Personen (z. B. Modellierer, Experte, Nutzer des Modells, etc.).
Gruppenaspekte	Unter Gruppenaspekten fallen diejenigen beeinflussenden Faktoren, die aus der Interaktion der involvierten Personen entstehen.
Rahmenbedingungen	Rahmenbedingungen beschreiben die Begebenheiten, die eine Situation beeinflussen.
Daten- / Informationslage	Unter Daten-/Informationslage werden alle Faktoren zusammengefasst, die sich auf vorhandene bzw. zu nutzende Daten/Informationen beziehen.

Die Ontologie definiert anhand ihrer Konzepte die in den einzelnen Teil-Wissensmodellen enthaltenen Wissensartefakte und setzt sie zueinander in Beziehung. Anhand der Attribute der Wissensdokumente definierte Merkmale dienen der Beschreibung der einzelnen Konzepte und bestimmen mögliche Eigenschaften der instanziierten Konzepte. Im folgenden Kapitel

werden zunächst die Merkmale der Konzepte hergeleitet. Daraufhin werden die Inhalte der einzelnen Teil-Wissensmodelle detailliert vorgestellt.

### 6.3.2 Merkmale der Konzepte der Ontologie

Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen lässt sich anhand der Instanziierung der Konzepte der Ontologie beschreiben. Die einzelnen Konzepte besitzen Merkmale, anhand derer sie charakterisiert werden können. In Kombination mit einer Ausprägung bildet das Merkmal die Eigenschaft eines Konzeptes. Beispielsweise lässt sich eine Tätigkeit anhand des Merkmals „aufgewendete Zeit“ (Dauer der Tätigkeit) beschreiben und eine Situation kann die Eigenschaft „große Anzahl an beteiligten Personen“ aufweisen. Im genannten Beispiel wäre die Anzahl an Personen, deren Meinung berücksichtigt werden sollte, ein Merkmal der Situation und somit ein Einflussfaktor auf die Tätigkeit. Deshalb ist Wissen über die Merkmale der Situation im Sinne von situationsspezifischen Eigenschaften erforderlich, um die Durchführung der einzelnen Tätigkeiten effizient und effektiv zu gestalten. Ebenfalls ist Wissen über mögliche Unterstützungsmaßnahmen für die Tätigkeiten erforderlich. Beispielsweise wäre die Durchführung von gemeinsamen Workshops mit allen beteiligten Personen eine Maßnahme, um Meinungsverschiedenheiten zu identifizieren und durch geeignete Moderation einen Konsens zu erzielen.

Um die Arbeit mit Produktmodellen gezielt zu unterstützen ist es ebenfalls erforderlich, die Tätigkeit und das Ergebnis hinsichtlich Effizienz und Effektivität bewertbar zu machen. Zur Bewertung einer Tätigkeit lassen sich Qualitätskriterien nutzen, die die Durchführung dieser Tätigkeit näher beschreiben, z. B. Prozesseigenschaften wie Zeit oder Kosten. Die Qualität eines Ergebnisses kann über Eigenschaften des Ergebnisses an sich (z. B. Größe, Inhalt) oder über relationale Eigenschaften im Sinne eines Wirken des Ergebnisses (z. B. Effizienz, Effektivität) oder der Nutzung eines Ergebnisses (z. B. Verständlichkeit) bewertet werden. Diese Qualitätskriterien werden deshalb den Konzepten der Ontologie ebenfalls als Merkmale zugeordnet.

Als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Merkmale der Konzepte dienen die in Kapitel 6.2 vorgestellten Literaturquellen. Zur Identifikation der Merkmale der Konzepte werden einzelne Literaturquellen mittels einer manuellen Textanalyse auf Regeln und Hinweise für die Gestaltung der Arbeit mit Modellen durchsucht. Diese werden extrahiert und tabellarisch gesammelt. Sie dienen ebenfalls als Grundlage für die Befüllung des Teil-Wissensmodells „Regeln und Hinweise“ (siehe Kapitel 6.6). In einem nächsten Schritt werden die in den Textstellen erwähnten Merkmale den Konzepten der Ontologie zugeordnet.

Die folgende Abbildung (Bild 6-12) zeigt diesen Prozess an vier exemplarischen Textstellen. Links dargestellt ist die Textstelle mit hervorgehobenen Aussagen über die jeweiligen Konzepte. Rechts sind die Konzepte mit aus dem Text zugeordneten Merkmalen beschrieben.

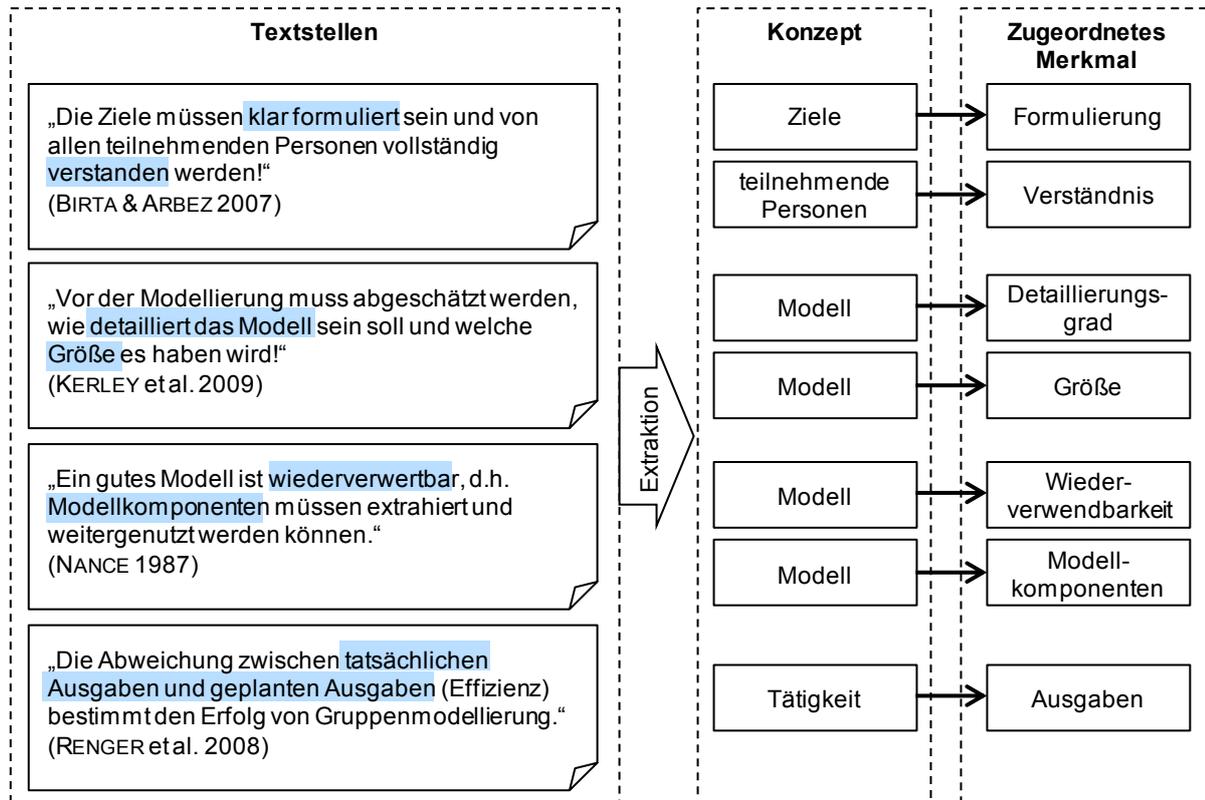


Bild 6-12: Extraktion von Merkmalen der Konzepte

Die folgenden Tabellen (Tabelle 13 und Tabelle 14) listen die anhand der Literaturanalyse identifizierten Merkmale der einzelnen Konzepte auf. Die Abkürzungen (MK X.Y) dienen der späteren Zuordnung der Merkmale zu den Regeln. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden ähnliche Merkmale in Gruppen zusammengefasst (linke Spalte). Beispielsweise sind Merkmale zur Beschreibung der Zielerwartung erforderlich, um die Tätigkeiten entsprechend der Zielerwartung auszurichten und das Ergebnis daran zu bewerten. Als Beispiele hierfür lassen sich Klarheit über die Hintergründe der Modellerstellung, Strukturierung des Problems und die Formulierung des Modellzwecks nennen. Beobachtbarkeit, essenzielle Bestandteile und das Systemverhalten gelten als wichtige Merkmale des Originals. Auf die Tätigkeit wirken situationsspezifische Faktoren resultierend aus involvierten Personen, Gruppenaspekten, Rahmenbedingungen und Daten-/Informationslage. Aspekte des Systemwissens, der Modellierungserfahrung, persönliche Fähigkeiten, Motivation und soziale Aspekte spielen dabei eine Rolle. Gruppen- und Teamaspekte wie Rollen, Verantwortlichkeiten und Teamgrößen müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Darüber hinaus sind Rahmenbedingungen wie verfügbare Zeit, Werkzeuge, Personen, Räumlichkeiten und Budget zu beachten. Bei der Daten- und Informationslage sind die Informationsverfügbarkeit, deren Erfassung, Qualität, Zeitpunkt und Bedeutung wichtig. Die Tätigkeit an sich ist beispielsweise gekennzeichnet durch deren Abläufe, Grad der Parallelisierung, den jeweiligen Modellierungsansatz, den Zeitpunkt und die Hintergründe der Modellerstellung.

Tabelle 13: Konzepte der Ontologie mit zugeordneten Merkmalen – Teil 1

<b>Tätigkeit</b>	
Abläufe und Gestaltung der Tätigkeiten (MK 1.1)	Abläufe der Schritte; Beginn der Modellierung; Kompliziertheit der Tätigkeiten; Problemstrukturierung; Regeln der Modellierung; Sequenz bzw. Struktur der Abläufe; Zyklen der Modellüberarbeitung
Aspekte der Durchführung (MK 1.2)	Anzahl beteiligter Personen; auftretende Probleme bzw. Konflikte; Ausgaben für Ressourcen (Personen, Rechenzeit, etc.); Effektivität der Ergebnisse; Effizienz der Durchführung; Erfolg der Tätigkeit; Informationsbedarf; Informationsflüsse (intern und nach extern); involvierte Personen; Modellzugang; Produktivität der Tätigkeit; Zeitaufwand; Zeitpunkt der Modellerstellung
Eingesetzte Methoden und Hilfsmittel (MK 1.3)	Art der Interviews; Unterstützungsmaßnahmen; Werkzeuge
<b>Modell</b>	
Direkte Eigenschaften des Modells (MK 2.1)	Anzahl an Konzepten; Anzahl an Relationen; Anzahl an Parametern bzw. Attributen; Fehler im Modell; Komplexität des Modells; Kompliziertheit des Modells; Modellgröße; Modellstruktur
Indirekte Eigenschaften des Modells (MK 2.2)	Anwendbarkeit des Modells; Funktionsfähigkeit; Glaubwürdigkeit des Modelloutputs; Grad der Erfüllung der Anforderungen; Interpretierbarkeit der Resultate; Interpretierbarkeit des Ergebnisses; Korrektheit des Modells; Mehrwert des Modells; Modellqualität; Testbarkeit des Modells; Umsetzbarkeit von Vorschlägen; Validierbarkeit des Modells; Verständnis des Modells; Zufriedenheit mit dem Modell
Modellzweck (MK 2.3)	Anforderungen an das Modell; Bedeutung des Modells im Unternehmenskontext; Ersatzfunktion des Modells; Modellzweck; Spezifikation des Modells
Technische Umsetzung (MK 2.4)	Genutzte Werkzeuge; Hardwareanforderungen; Interaktivität; Kalibrierbarkeit; Kennwerte bzw. Analysemetriken des Modells; Konzeptuelles Rahmenwerk; Menge an erforderlichem Modellinput; Modellierungsansatz; Modellierungssprache; Modelltyp; Output des Modells; Theoretische Basis des Modells; Visualisierung
Umfang der Abbildung (MK 2.5)	Abbildung des Systemverhaltens; Abstraktionsgrad des Modells; Annahmen der Modellparameter; Detaillierungsgrad des Modells; Einschränkungen bei der Abbildung; Genauigkeit der Abbildung; genutzte Analogie; Realitätsbezug des Modells; schrittweise hinzugefügte Bestandteile; Toleranzen des Modells; Umfang des Modells
Weitere Verwendung des Modells (MK 2.6)	Anpassbarkeit des Modells; Anzahl Modell-Läufe; Aufwand für Implementierung; Aufwand für Reprogrammierung; Aufwand zur Nutzung; Kombinierbarkeit des Modells; Mehrwert von Ergänzungen; Verbesserung des Modells; Wartbarkeit des Modells
<b>Original</b>	
Merkmale des Originals (MK 3.1)	Beobachtbarkeit; essenzielle Bestandteile; Systemverhalten; unerwartetes Verhalten; Entscheidungsmöglichkeit bzw. Beeinflussbarkeit des Originals
<b>Modelltyp</b>	
Anwendbarkeit (MK 4.1)	Effektivität des Modelltyps für die Anwendung; Effizienz des Modelltyps für die Anwendung; Eignung des Modelltyps für die Anwendung; Grad der Spezifizierung auf einen bestimmten Anwendungsfall
Modellierungssprache (MK 4.2)	Ausdrucksmächtigkeit; formale Grammatik der Modellierungssprache; Mehrdeutigkeit bzw. Freiheitsgrad
Verständlichkeit (MK 4.3)	Stimmigkeit des Modelltyps; Verständlichkeit des Modelltyps; Vollständigkeit des Modelltyps

Tabelle 14: Konzepte der Ontologie mit zugeordneten Merkmalen – Teil 2

<b>Involvierte Personen</b>	
Arbeitsgestaltung (MK 5.1)	Arbeitsbelastung; Fähigkeit zur Veränderung des Modells; kognitive Belastung; Kreativität; Objektivität; Zeitpunkt des Mit-Einbeziehens
Eigene Meinung über Tätigkeit und Ergebnisse (MK 5.2)	Akzeptanz der Ergebnisse; Zufriedenheit mit den Ergebnissen
Persönlicher Hintergrund (MK 5.3)	Beruf bzw. Ausbildung; Disziplin; Einrichtung, an der die Person tätig ist; Grundlegende Fähigkeiten; Modellierungserfahrung; Prägung durch bestimmte Modellierungstechniken; Training; Wissen über Anwendung von Modelltypen
Unternehmenskontext (MK 5.4)	Gründe für die Teilnahme; Position im Unternehmen; Stakeholder bzw. Rolle im Projekt
Teamfähigkeit und Arbeitseifer (MK 5.5)	Beteiligung an Gruppenarbeit; Einbringen eigener Ideen; Motivation bzw. Arbeitseifer
Wissen über das Original (MK 5.6)	Expertise; Fähigkeit, Abweichungen zu erkennen; Systemkenntnis; Wissen über das Original
<b>Gruppenaspekte</b>	
Gestaltung der Zusammenarbeit (MK 6.1)	Dauer der Zusammenarbeit; Gruppengröße; Konstanz der Gruppe; Nachbereitung von Treffen; Sprechzeit; Überlappung der Expertise; Unterstützung der Zusammenarbeit; Vorbereitung von Treffen; Zeit zwischen den Treffen; Zusammensetzung
Einbeziehung der Teilnehmer (MK 6.2)	Diskussionsfreudigkeit; Grad der Zusammenarbeit
Aufgabe der Teilnehmer (MK 6.3)	Aufgabenstruktur; Einsatz eines Moderators; Rollenverteilung
Emerging States (MK 6.4)	Gemeinsames bzw. gegenseitiges Verständnis; Konformismus; Konsens
<b>Rahmenbedingungen</b>	
Ressourcen (MK 7.1)	Bezahlung bzw. erforderliche Kosten für Personal; Räumlichkeiten; verfügbare Zeit; Vorbereitung; vorhandenes Budget; Werkzeuge; Material
Projekt (MK 7.2)	Projekt und Projektart; Schnittstellen zwischen Disziplinen; Unterschiedlichkeit der beteiligten Disziplinen; Umgebung / Kontext
<b>Daten / Informationen</b>	
Eigenschaften von Daten / Informationen (MK 8.1)	Bedeutung; Datum; Qualität der Daten
Informationserfassung (MK 8.2)	Erfassungsart; Misinterpretation von Daten; Informationsverfügbarkeit; Zeitpunkt Informationserfassung; Datenbereitstellung; Informationszugang; Verfügbarkeit von Domänenexperten
<b>Ziel</b>	
Merkmale des Ziels (MK 9.1)	Angedachte Anwendung des Modells; Beabsichtigte Qualität des Ergebnisses; Festlegung der Ziele; Formulierung des Modellzwecks; Hintergründe der Modellerstellung; Potential der Modellanwendung; Strukturierung des Problems; Treiber der Modellerstellung; Übereinstimmung der Modellierungsziele mit Unternehmenszielen; Zeitpunkt des Mehrwerts der Modellierung

Die aus der Literaturanalyse identifizierten Merkmale der Konzepte stellen in dieser Form bereits einen ersten Schritt in Richtung Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen dar. Die tabellarische Auflistung und Gruppierung der Merkmale gibt dem Anwender der Wissensbasis die Möglichkeit, gezielt einzelne Aspekte der Arbeit mit Modellen zu berücksichtigen. Anhand der detaillierten Aufschlüsselung wird das Bewusstsein für die einzelnen Aspekte geschärft und deren Beachtung bei der Arbeit mit Modellen gefördert.

Der nächste Schritt liegt in der Erfassung von Wissen über bestehende Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen. Wird die Ausprägung eines Merkmals verändert, so kann sich dies auf die Ausprägung eines anderen Merkmals auswirken. Wird z. B. die Anzahl der an der Modellierung beteiligten Personen erhöht, so können die Kosten für die Modellierung steigen, das Modell ist allerdings möglicherweise vollständiger. Ist Wissen über diese Abhängigkeiten vorhanden, so können die Ausprägungen der Merkmale gezielt gestaltet werden. Dadurch wird eine höhere Effizienz und Effektivität der Tätigkeiten erreicht. Das Wissen über diese Abhängigkeiten wird im Teil-Wissensmodell „Regeln und Hinweise“ erfasst. Die Regeln und Hinweise werden darin den im Teil-Wissensmodell „Tätigkeiten und Teilschritte“ beschriebenen Tätigkeiten zugeordnet.

In den folgenden Kapiteln erfolgt die Beschreibung der Teil-Wissensmodelle. Zunächst wird das Teil-Wissensmodell „Tätigkeiten und Teilschritte“ beschrieben. Danach wird das Teil-Wissensmodell „Produktmodelltypen-Klassifikation“ beschrieben und daraufhin das Teil-Wissensmodell zur Abbildung der Regeln und Hinweise zur Gestaltung der Merkmale der Konzepte der Ontologie.

## 6.4 Teil-Wissensmodell „Tätigkeiten und Teilschritte“

Zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen muss prozedurales Wissen darüber vorhanden sein, welche Handlungen mit Produktmodellen durchgeführt werden. Diese Handlungen sind im Teil-Wissensmodell „Tätigkeiten und Teilschritte“ detailliert. In dieser Dissertation werden anhand der Literatur und der Fallstudien insgesamt acht Tätigkeiten im Umfeld der Produktentwicklung definiert, bei denen Produktmodelle eine Rolle spielen. Die Tätigkeiten können miteinander kombiniert werden, wodurch sich Tätigkeitssequenzen ergeben. Gemäß der Ontologie werden die Tätigkeiten in einzelne Teilschritte detailliert. Die Teilschritte selbst können weiter detailliert werden in einzelne Prozessschritte. Dadurch ist ein schrittweises Abarbeiten der einzelnen Teilschritte möglich und die gezielte Bereitstellung von in den Teilschritten erforderlichem Wissen wird erleichtert. Das Abstraktionslevel ist so gewählt, dass die einzelnen Tätigkeiten anwendungsunabhängig formuliert sind. Die Beschreibung der Tätigkeit gilt für alle Modellanwendungen und Modellarten.

Die Tätigkeiten wurden auf Basis von in den Fallstudien identifizierten Situationen, in denen Produktmodelle im Entwicklungsprozess eine Rolle spielen, abgeleitet. Die folgende Abbildung (Bild 6-13) zeigt vier Situationen im Alltag einer Entwicklungsabteilung, die den Einsatz von Produktmodellen erfordern.

Die erste Situation tritt ein, wenn ein **Bedarf nach Informationen** über das Produkt besteht. Bereits existierende Produktmodelle stellen eine mögliche Informationsquelle für Informationen über das Produkt dar. Diese Informationen müssen zunächst extrahiert werden. Allerdings können Probleme zu einer verringerten Nutzbarkeit der enthaltenen Informationen führen. Zum Beispiel kann mangelndes Wissen darüber, ob die benötigten Informationen in vorhandenen Produktmodellen enthalten sind, dazu führen, dass nicht nach ihnen gesucht wird. Die Informationen werden dann anderweitig, möglicherweise aufwändiger beschafft. Auch wenn ein Produktmodell mit potentiell relevanten Informationen gefunden wird, so müssen dennoch die enthaltenen Informationen korrekt interpretiert werden. Hierbei können ebenfalls kostspielige Fehler auf Grund von fehlendem Verständnis des Modells auftreten.

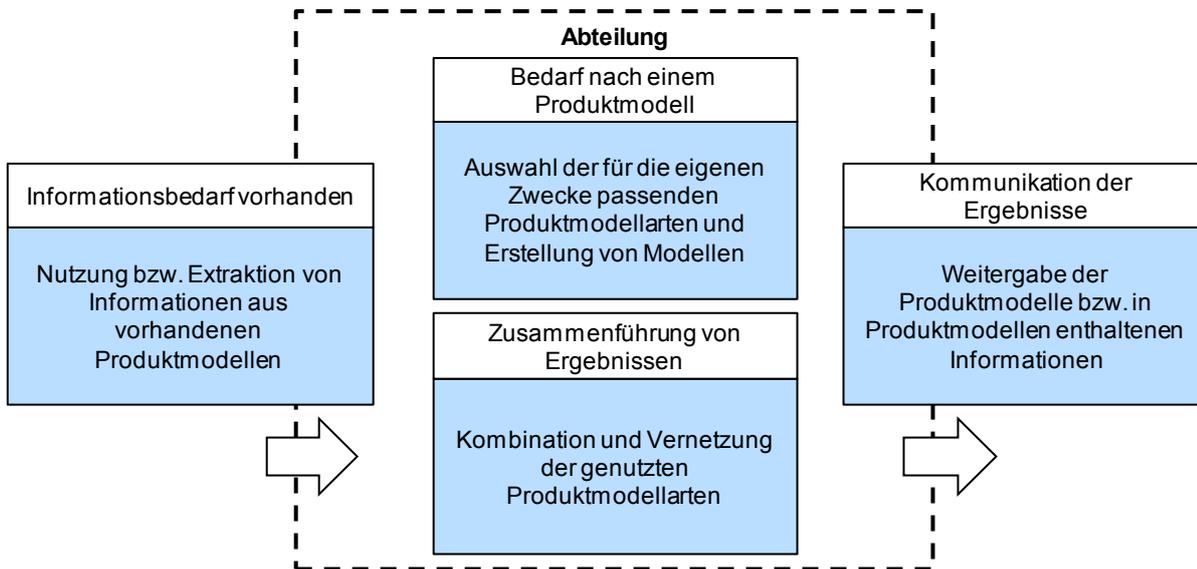


Bild 6-13: Situationen, die einen Einsatz von Produktmodellen erfordern

Die zweite Situation behandelt den konkreten **Bedarf nach der Neuerstellung** eines Produktmodells. Produktmodelle werden wie oben beschrieben für eine Vielfalt an unterschiedlichen Zwecken eingesetzt und die passende Produktmodellart muss entsprechend der Bedarfe ausgewählt werden.

Das **Zusammenführen von einzelnen Ergebnissen** in Form von Produktmodellen bildet die dritte Situation. Auf Grund der Komplexität mechatronischer Produkte werden die Teilergebnisse des Entwicklungsprozesses durch unterschiedliche Personen in unterschiedlichen Abteilungen erarbeitet. Für die erfolgreiche Gesamtintegration ist das Zusammenführen einzelner Teilaspekte des Produktes anhand der Kombination bzw. Vernetzung einzelner Produktmodelle erforderlich.

Zuletzt müssen die erstellten Produktmodelle bzw. die darin enthaltenen Informationen an andere Abteilungen weitergegeben bzw. aus Dokumentationszwecken gesichert werden, um **Ergebnisse zu kommunizieren**. An dieser Stelle können Schwierigkeiten bei der Nachvollziehbarkeit sowohl der Erstellung des Modells als auch der Ergebnisse auftreten. Diese Schwierigkeiten müssen bereits bei der Modellerstellung bzw. spätestens bei der Weitergabe der Produktmodelle kompensiert und ihnen muss durch geeignete Maßnahmen entgegen gewirkt werden.

Die vier Situationen werden in einem weiteren Schritt aufgeschlüsselt in acht Tätigkeiten, die darin erforderlich sind. Die folgende Tabelle 15 listet diese acht identifizierten Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen auf und gibt eine kurze Beschreibung und jeweils ein Beispiel im Umfeld der Arbeit mit Produktmodellen. Die **Modellneuerstellung** beschreibt eine Tätigkeit, bei der ein Modell, das vorher noch nicht existierte, neu erstellt wird. Die **Weiterentwicklung eines Modells** beschäftigt sich mit der Erweiterung oder Verringerung eines bestehenden Modells um bestimmte Modellattribute. Die **Modellnutzung** ist die

Verwendung des Modells entsprechend des ursprünglich angedachten Modellzwecks oder eines neu zugeteilten Modellzwecks. Die **Informationsextraktion** beschäftigt sich mit der Extraktion von Informationen aus einem bestehenden Modell, ohne dass dieses dabei verändert wird. Die **Modelltransformation** wird ebenfalls auf ein bestehendes Modell angewandt, wobei (einige) Attribute des bestehenden Modells in ein anderes Meta-Modell überführt werden. Die **Kopplung von Modellen** beinhaltet das Verbinden von zwei oder mehr bereits bestehenden Modellen, so dass sie miteinander interagieren. Jedes kann dabei nach wie vor für sich bestehen. Die **Integration von Modellen** beschreibt dagegen das Verbinden von zwei oder mehr bestehenden Modellen miteinander, so dass mindestens eines von ihnen integraler Bestandteil des anderen Produktmodells wird. Zuletzt kann ein bestehendes Modell, das nicht mehr benötigt wird im Rahmen des **Löschens eines Modells** gelöscht oder entsorgt werden.

Tabelle 15: Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen

Tätigkeit	Beschreibung	Beispiel im Umfeld der Produktmodelle
Neuerstellung eines Modells	Ein Modell, das vorher noch nicht existierte, wird erstellt.	Aufbau eines CAD-Modells
Weiterentwicklung eines Modells	Ein bestehendes Modell wird um bestimmte Attribute erweitert oder verringert.	Bearbeiten einer vorhandenen Anforderungsliste
Modellnutzung	Ein bestehendes Modell wird entsprechend seines ursprünglichen oder eines neu zugeteilten Modellzweckes genutzt.	Design-Review an ersten physischen Prototypen
Informations-extraktion aus Modell	Aus einem bestehenden Modell werden Informationen extrahiert. Das Modell verändert sich dabei nicht.	Auslesen einer bestimmten Kennlinie aus dem Simulationsmodell eines Motors
Transformation eines Modells	Ein bestehendes Modell wird in ein anderes Metamodell überführt.	Export eines CAD-Modells als STEP-Datei
Integration von Modellen	Zwei oder mehr bestehende Modelle werden derart miteinander verbunden, dass mindestens eines von ihnen integraler Bestandteil eines anderen Produktmodells wird.	Integration eines Motormodells in eine Fahrzeugsimulation
Kopplung von Modellen	Zwei oder mehr bestehende Modelle werden derart miteinander verbunden so dass sie interagieren. Jedes kann aber für sich bestehen.	Input-Output-Kopplung von Simulationsmodellen
Löschen eines Modells	Ein bestehendes Modell wird gelöscht bzw. vernichtet.	Entsorgung von Produktskizzen

Jede Tätigkeit wird anhand der folgenden Attribute des Wissensdokuments der jeweiligen Tätigkeit beschrieben (siehe Bild 6-14). Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Tätigkeiten entsprechend dieser Vorlage findet sich im Anhang in Kapitel 10.4.

Name der Tätigkeit	
Zustand davor	Es wird der Ausgangszustand der beteiligten Modelle beschrieben
Zustand danach	Es wird der Zustand nach der Durchführung dieser Tätigkeit beschrieben
Tätigkeit	Die Tätigkeit wird kurz beschrieben – detaillierte Abläufe können der Darstellung als ereignisgesteuerten Prozesskette entnommen werden.
Beispiel	Ein kurzes Beispiel aus dem Umfeld der Produktmodellierung illustriert exemplarisch die jeweilige Tätigkeit

Bild 6-14: Vorlage zur Beschreibung der Tätigkeiten

Die einzelnen Tätigkeiten existieren nicht unabhängig voneinander. Beispielsweise können zwei Modelle erst dann gekoppelt werden, wenn die jeweiligen Modelle erstellt wurden. Die folgende Abbildung (Bild 6-15) zeigt die Abhängigkeiten zwischen den beschriebenen Tätigkeiten. Die acht Tätigkeiten sind als Prozesspfade in einer ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) dargestellt. Die Legende für EPKs ist im Anhang in Kapitel 10.5 beschrieben.

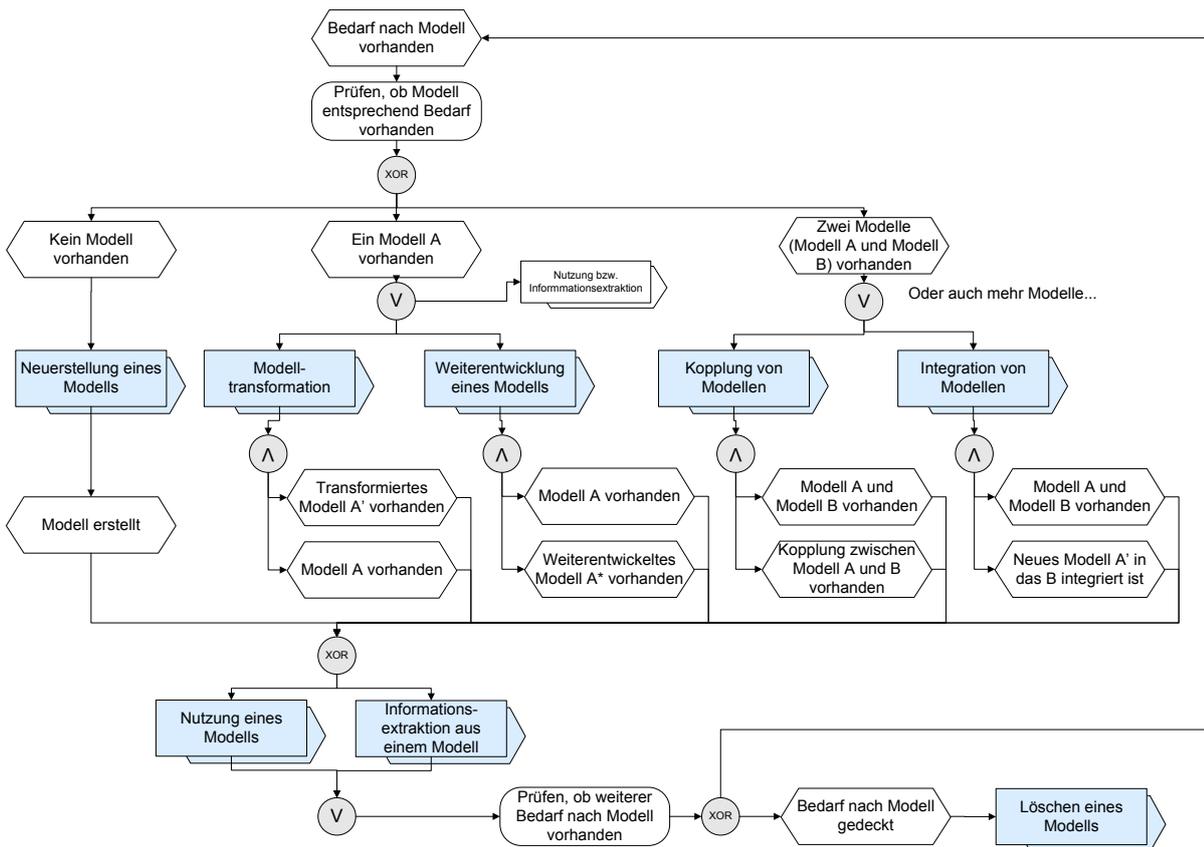


Bild 6-15: Bezug der acht Tätigkeiten bei der Arbeit mit Modellen

Ausgehend von einem Bedarf nach einem Modell wird eine Fallunterscheidung getroffen. Ist kein Modell vorhanden, so muss es neu erstellt werden. Ist ein Modell vorhanden, so kann dieses entweder entsprechend den Bedarfen transformiert oder weiterentwickelt werden. Sind

mehrere Modelle vorhanden, so können diese gekoppelt oder integriert werden. Daraufhin kann das Modell genutzt bzw. Informationen daraus extrahiert werden. Ist der Bedarf nach einem Modell gedeckt, so kann dies gegebenenfalls gelöscht werden.

Die Tätigkeiten werden aufgeschlüsselt anhand der in ihnen durchgeführten Teilschritte bei der Arbeit mit Produktmodellen. Die folgende Abbildung (Bild 6-16) zeigt die jeweiligen Teilschritte in bevorzugter zeitlicher Abfolge jeder Tätigkeit. Über die Tätigkeiten hinweg treten Teilschritte mehrfach auf und Rücksprünge und Iterationen zwischen den einzelnen Teilschritten können sinnvoll sein. Beispielsweise besteht eine Iteration zwischen Modellabsicherung und Modellerstellung. Diese Iterationen und Schleifen sind in der detaillierten Beschreibung der einzelnen Teilschritte (siehe Anhang, Kapitel 10.5) dargestellt.

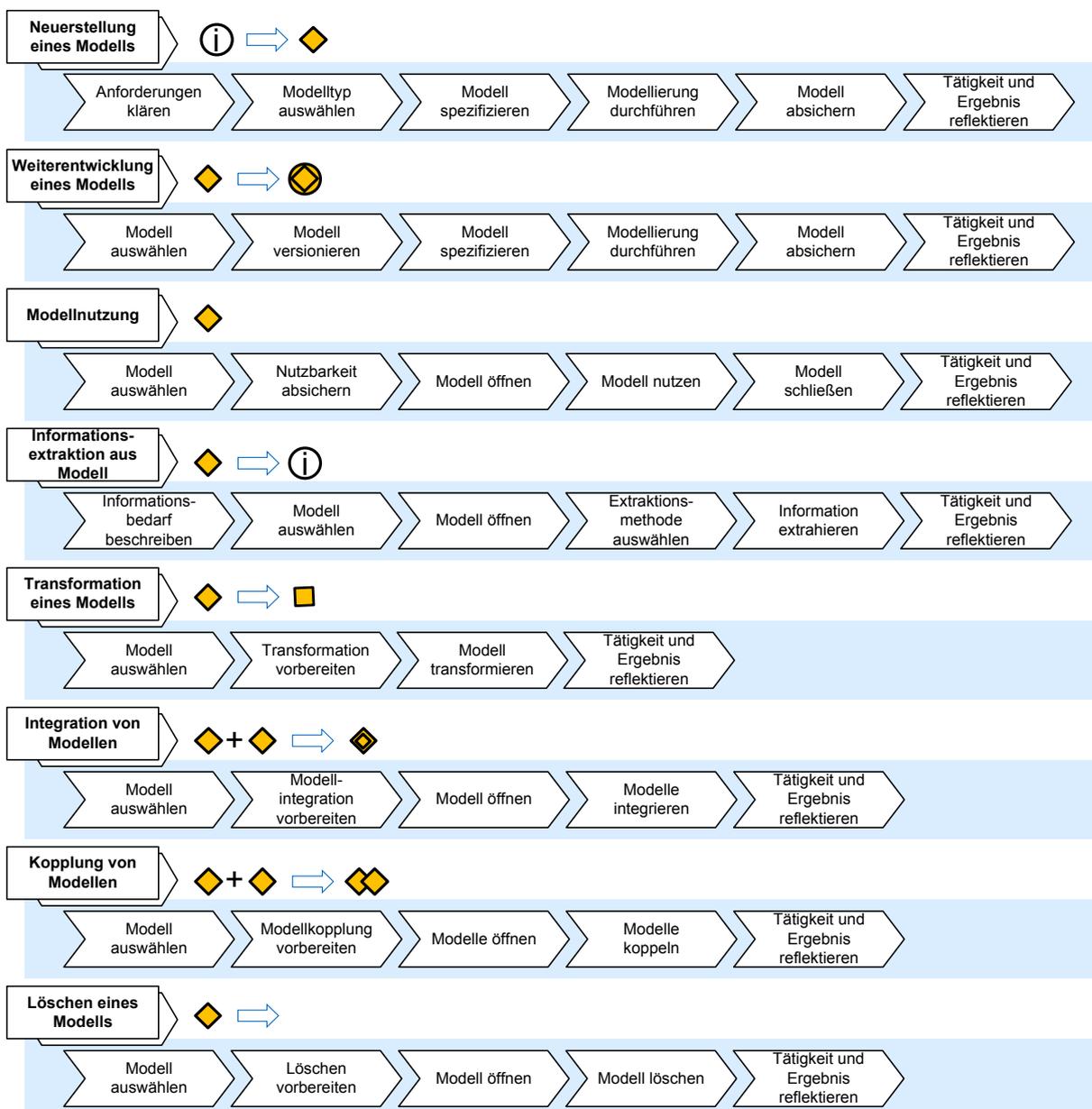


Bild 6-16: Aufschlüsselung der Tätigkeiten in ihre Teilschritte (Iterationen sind hier nicht abgebildet)

Insgesamt werden 23 unterschiedliche Teilschritte in den Tätigkeiten verwendet. Die folgende Tabelle 16 listet diese 23 Teilschritte auf und beschreibt sie kurz. Die vollständige Beschreibung der Teilschritte anhand der Wissensdokumente wird im Anhang 10.5 dargestellt.

Tabelle 16: Teilschritte bei der Arbeit mit Modellen und Beschreibung

Teilschritt	Beschreibung
Anforderungen klären (T1)	Anforderungen an das zu erstellene Produktmodell werden definiert.
Modelltyp auswählen (T2)	Der für den jeweiligen Zweck und die Anforderungen passende Modelltyp wird ausgewählt.
Modell spezifizieren (T3)	Das Modell wird entsprechend des gewählten Modelltyps näher spezifiziert und das Modellierungsvorgehen festgelegt.
Modellierung durchführen (T4)	Das Modell wird erstellt bzw. bearbeitet. Attribute des Originals werden auf Attribute des Modells abgebildet bzw. Attribute des Modells werden verändert. Dabei werden Informationen generiert und in dem Modell repräsentiert.
Modell absichern (T5)	Das Modell wird hinsichtlich Anwendbarkeit, Validierung und Verifikation abgesichert.
Modell auswählen (T6)	Es erfolgt die Auswahl der für die jeweilige Tätigkeit erforderlichen Produktmodelle unter Berücksichtigung der vorliegenden Anforderungen.
Modell versionieren (T7)	Eine neue Modellversion eines Modells wird bei Bedarf für die jeweilige Tätigkeit erstellt. Die alte Version des Modells wird nicht verändert.
Modell öffnen (T8)	Das für die jeweilige Tätigkeit erforderliche Produktmodell wird geöffnet bzw. verfügbar gemacht.
Nutzbarkeit absichern (T9)	Die Nutzbarkeit eines vorhandenen Modells für einen bestimmten Zweck wird abgesichert.
Modell nutzen (T10)	Das Modell wird entsprechend des jeweiligen Zwecks genutzt.
Modell schließen (T11)	Falls es sich bei dem Modell um ein digitales Modell handelt, wird es nach der Arbeit geschlossen.
Informationsbedarf beschreiben (T12)	Der bei der Extraktion von Informationen aus einem Produktmodell vorliegende Bedarf wird beschrieben und in Form von Anforderungen an den Informationsbedarf dokumentiert.
Informationsextraktionsmethode auswählen (T13)	Das Vorgehen und die benötigten Werkzeuge zur Extraktion von Informationen aus einem Modell werden bestimmt.
Information extrahieren (T14)	Die Informationen werden aus einem Modell extrahiert und entsprechend dem Informationsbedarf erfasst bzw. genutzt.
Tätigkeit und Ergebnis reflektieren (T15)	Das Vorgehen in der jeweiligen Tätigkeit sowie das Ergebnis werden reflektiert und die Erkenntnisse dokumentiert.
Transformation vorbereiten (T16)	Die Transformation von einem Modelltyp in einen anderen Modelltyp wird vorbereitet.
Modell transformieren (T17)	Attribute des Modells werden in einen anderen Modelltyp transformiert.
Modellintegration vorbereiten (T18)	Es wird überprüft, ob eine Integration der jeweiligen Modelle möglich ist.
Modelle integrieren (T19)	Die entsprechenden Modelle werden integriert.
Modellkopplung vorbereiten (T20)	Es wird überprüft, ob eine Kopplung der ausgewählten Modelle möglich ist und die Kopplung vorbereitet.
Modell koppeln (T21)	Die entsprechenden Modelle werden gekoppelt.
Löschen vorbereiten (T22)	Es wird überprüft, ob und wie das Modell gelöscht bzw. entsorgt werden kann.
Modell löschen (T23)	Das Modell wird gelöscht bzw. entsorgt.

Zur Unterstützung der Durchführung der jeweiligen Tätigkeit, ist in Ergänzung zu den genannten Teilschritten Wissen über die Ausgestaltung der Tätigkeit im Sinne von „Wie und womit wird etwas durchgeführt“ erforderlich. Dafür existieren unterschiedliche Unterstützungsmöglichkeiten. Regeln helfen den Teilschritt entsprechend der Rahmenbedingungen zu gestalten. Methoden und Werkzeuge werden in den einzelnen Teilschritten eingesetzt. Auch Best Practices als Erkenntnis aus vorigen Projekten können zur Gestaltung eines Teilschrittes genutzt werden. Das prozedurale Wissen kann beispielsweise mittels einzelner Vorgehensschritte einer Methode erfasst werden. Auch Werkzeuge wie abzuarbeitende Checklisten oder auszufüllende Formblätter enthalten prozedurales Wissen über die Teilschritte. Die Bereitstellung von gesammeltem konzeptuellem Wissen wie beispielsweise vorhandene Produktmodelltypen stellt ebenfalls eine Unterstützung in den jeweiligen Teilschritten dar.

Eine detaillierte Beschreibung der Teilschritte und in ihnen bereitgestellte Unterstützungsmaßnahmen erfolgt anhand der Modellierung der einzelnen Teilschritte als ereignisgesteuerte Prozesskette (KOHN et al. 2013a; PRODUKTENTWICKLUNG 2013c). In der folgenden Abbildung (Bild 6-17) ist exemplarisch die EPK für den Teilschritt der Auswahl des Modelltyps aufgeführt. Die EPKs der anderen Teilschritte und jeweiligen Hilfsmittel sind im Detail im Anhang in Kapitel 10.5 aufgelistet. Dort findet sich auch die Legende der verwendeten Symbole zur Darstellung der EPK.

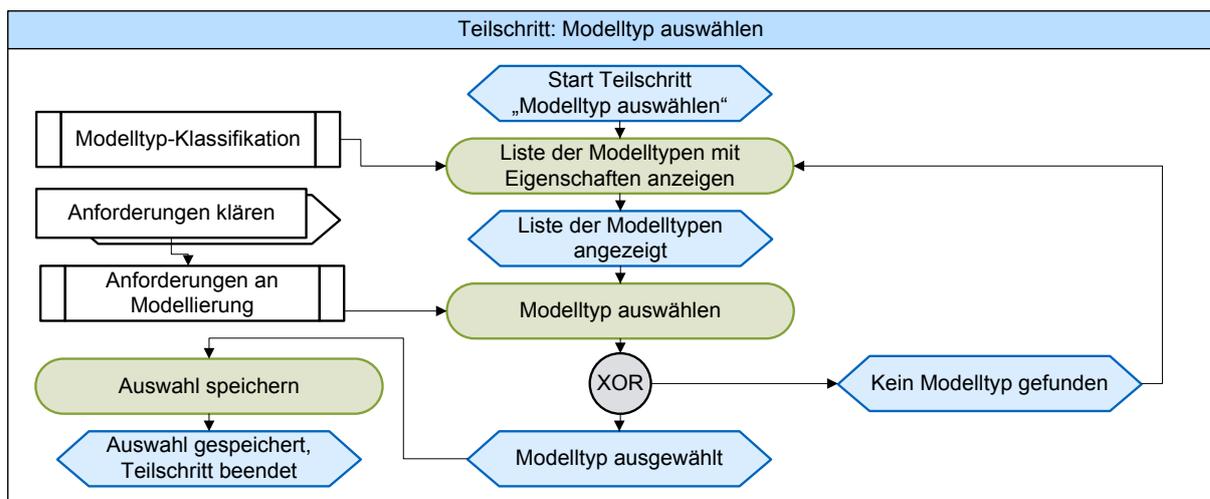


Bild 6-17: Ereignisgesteuerte Prozesskette zum Teilschritt „Modelltyp auswählen“

Unterstützung bei der Auswahl des Modelltyps erfolgt beispielsweise durch die Bereitstellung einer Produktmodell-Klassifikation in der die vorliegenden Modelltypen anhand Ausprägungen und Merkmalen klassifiziert sind. In einer hinterlegten Sammlung kann der passende Modelltyp ausgewählt werden. Das Anforderungsdokument ist das Ergebnis des Teilschrittes „Anforderungen klären“. Zur Unterstützung der Anforderungsformulierung dient eine Checkliste, in der die für die Modellierung relevanten Anforderungen gesammelt und gruppiert sind (siehe Anhang Kapitel 10.5). Durch den Abgleich der Anforderungen aus der Situation mit den vorliegenden Modelltypen kann ein Produktmodelltyp ausgewählt werden. Das Wissen darüber, welche Modelltypen für welche Situation geeignet sind kann über

Regeln und Hinweise in den Auswahlprozess eingebracht werden (siehe hierfür Kapitel 6.5). Als weitere Unterstützungsmaßnahme können Vorlagen für die einzelnen Modelltypen dienen. Diese können im nächsten Schritt bei der Erstellung des Modells gefüllt werden.

## 6.5 Teil-Wissensmodell „Produktmodelltypen-Klassifikation“

Neben dem prozeduralen Wissen ist für die Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen konzeptuelles Sachbereichswissen über das Modell an sich und über Unterschiede zwischen einzelnen Modellen und Modelltypen erforderlich. Für die Bestimmung der Unterschiede zwischen Modelltypen wird in dieser Dissertation ein Ordnungsschema vorgeschlagen, das auf den allgemeinen Beschreibungsmerkmalen eines Modells basiert. Anhand der einzelnen Beschreibungsmerkmale der allgemeinen Modelltheorie können die Modelle auf oberster Ebene unterschieden werden. Beispielsweise unterscheiden sich ein Funktionsmodell und ein CAD-Modell eines Produktes anhand der darin abgebildeten Attribute des Originals (des Produkts). Ein Produktmodell unterscheidet sich von einem Unternehmensmodell anhand des abgebildeten Originals.

Die Klassifikation stellt entsprechend der drei Modellmerkmale der allgemeinen Modelltheorie ein dreidimensionales Ordnungsschema dar. Die folgende Abbildung (Bild 6-18) zeigt einen Ausschnitt des in dieser Dissertation vorgeschlagenen allgemeinen Klassifikationsschemas von Modellen mit jeweils drei exemplarischen Attributen der Merkmale. Die Achsen werden gebildet durch die Merkmale Zweck des Modells, abgebildete Attribute des Originals und Original an sich. In dieses Ordnungsschema können entsprechend der gewählten Unterteilung der Merkmale in Attribute alle Modelle eingetragen werden und es lassen sich Gruppen von Modellen bilden. Beispielsweise sind Produktmodelle all diejenigen Modelle, die als Original ein technisches Produkt besitzen. Funktionsmodelle sind all diejenigen Modelle, die Funktionen eines Originals (Originalattribut) abbilden. Der Mehrwert dieses Ordnungsschemas liegt in der Identifizierung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen einzelnen Modellen und Modellgruppen. Dieses Ordnungsschema ist damit auch die Grundlage für die Übertragung von Erkenntnissen zwischen den Modellgruppen. Auf den Achsen können der Zweck, die Attribute und das Original in unterschiedliche Abstraktionsgraden aufgeteilt werden. Für das Merkmal Zweck können beispielsweise die in Kapitel 3.2 aufgezeigten Modellzwecke als Ausprägungen genutzt werden.

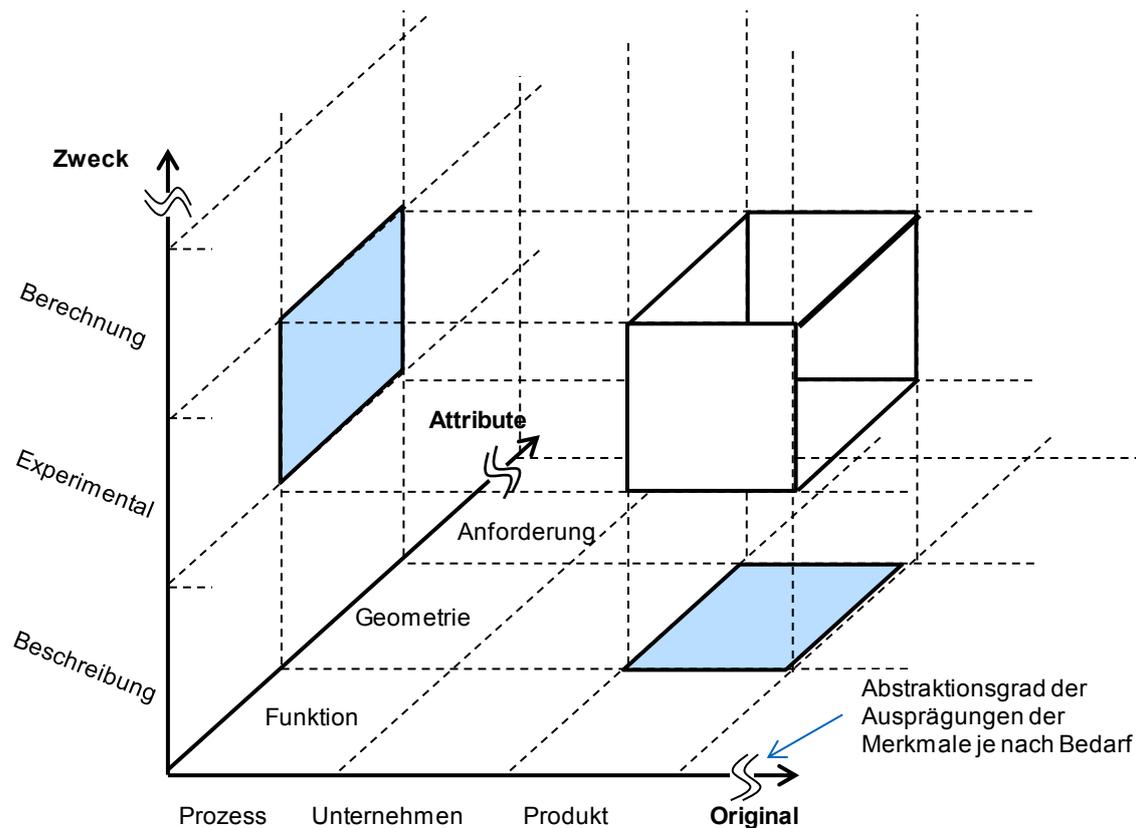


Bild 6-18: Allgemeines Ordnungsschema für Modelle mit exemplarischer Einteilung der Merkmale

Die Modelle lassen sich in dem durch das Ordnungsschema aufgespannten Raum gruppieren und voneinander abgrenzen. Der Würfel in der Mitte der Abbildung stellt bei den gewählten Ausprägungen der Merkmale beispielsweise die Gruppe der Modelle dar, die ein Produkt als Original haben, für Experimente genutzt werden und eine Geometrie abbilden (geometrische Simulations-Produktmodelle). Anhand des Ordnungsschemas können Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Modellen bestimmt werden. Der Abstraktionsgrad der Achsen bestimmt den Detaillierungsgrad der Unterteilung der einzelnen Modellgruppen.

Dieses allgemeine Ordnungsschema wird für die Arbeit mit Produktmodellen um erforderliche Merkmale erweitert. Zur Bereitstellung dieses Wissens über die unterschiedlichen Arten von Produktmodellen wird in der Wissensbasis eine Sammlung an Produktmodelltypen und eine Klassifikation von Produktmodelltypen bereitgestellt. Diese ermöglicht die Beurteilung der Eignung eines bestimmten Produktmodelltyps für eine Problemstellung unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen. Ebenfalls unterstützt die Abgrenzung und Definition von unterschiedlichen Produktmodelltypen die Kommunikation zwischen Personen mit unterschiedlichen Modellierungs-Erfahrungen. Da anhand der Klassifikation bestehende Unterschiede explizit gemacht werden, können Missverständnisse vermieden werden.

Die bereits im Stand der Technik in Kapitel 4.3.3 aufgezeigten Klassifikationen von Produktmodellen dienen als Grundlage für die Klassifizierung der Produktmodelltypen in der

Wissensbasis. Die Sammlung und Klassifikation von Produktmodellen und Produktmodelltypen baut auf der Arbeit von KOHN et al. 2012, PRODUKTENTWICKLUNG 2011a und PRODUKTENTWICKLUNG 2011b auf. Bei der Sammlung an Produktmodellen stellt sich die Herausforderung, dass Bezeichnungen von Produktmodelltypen und Klassifikations-Ansätze in der Literatur sehr uneinheitlich verwendet werden.

Die Herausforderungen, die sich bei der Sammlung von Produktmodelltypen ergeben, werden exemplarisch am Beispiel der Funktionsmodelle gezeigt. Funktionsmodelle sind eine Produktmodellart zu der alle Produktmodelltypen gehören, die Funktionen des Produktes abbilden. Die erste Schwierigkeit ergibt sich an dieser Stelle bereits in der Definition und des Verständnisses des Begriffes „Funktion“. In zwei umfassenden Literaturanalysen bezüglich Funktionsmodellen zeigen sowohl ERDEN et al. 2008 als auch EISENBART et al. 2012 die unterschiedlichen Sichtweisen auf den Funktionsbegriff auf und weisen darauf hin, dass er vielfältig interpretiert wird. Während Erden untersucht, wie Funktionen dargestellt werden können, beschreibt Eisenbart, was mit Funktionsmodellen alles dargestellt werden kann (EISENBART et al. 2012). ERDEN et al. 2008 identifizieren und analysieren 18 verschiedene Funktionsmodelltypen hinsichtlich Bedeutung, Funktionsdefinition, Funktionsrepräsentation, Relationen und Implementierung in Computerprogrammen. Sie berücksichtigen Funktionsmodelle aus der Produktentwicklungsforschung, die direkt Funktionen modellieren und solche, die Funktionen als einen Teilaspekt betrachten. EISENBART et al. 2012 identifizieren dagegen 53 verschiedene Funktionsmodelltypen aus den Bereichen Mechanik, Elektronik, Softwareentwicklung, Produkt-Service-Systeme und Mechatronik. Sie analysieren diese hinsichtlich Modellierungsperspektive und Strukturierung der Repräsentation. Die beiden Literaturanalysen überschneiden sich zum Teil in den genutzten Funktionsmodellen, sind aber nicht vollständig. Damit ergeben sich zwei weitere Schwierigkeit bei der Sammlung von Produktmodellen: der betrachtete Suchraum und die Abgrenzung der Treffer. Der Suchraum im Sinne der berücksichtigten Literatur (z. B. disziplinspezifisch) wirkt sich wesentlich auf die Treffermenge aus. Auch die Abgrenzung der Treffer und die Bildung von Obergruppen stellen Herausforderungen dar, da viele Modelle existieren, die sich nur geringfügig voneinander unterscheiden. Zusätzlich liegen Herausforderungen in der Vielfalt und Ungenauigkeit der Definitionen der Produktmodellarten. Ein Funktionsmodell beispielsweise, das parametrisiert und für Berechnungen (z. B. in Simulationen) genutzt wird, wäre dann ein Simulationsmodell.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Herausforderungen bei der Sammlung von Produktmodelltypen:

- Unschärfe Definition des Modellbegriffs und der Bezeichnungen für die Produktmodellarten / Produktmodelltypen
- Abgrenzung des Suchraums
- Abgrenzung der Treffer und Hierarchiebildung
- Detailtiefe der Suche
- Mehrfachzuordnung von Produktmodelltypen zu Produktmodellarten

Zur Erstellung der Sammlung an Produktmodelltypen wird wie in Kapitel 6.2 beschrieben auf Literatur aus dem Bereich der angewandten Produktentwicklungsforschung zurückgegriffen. Allgemeine Literatur aus dem Bereich der Produktentwicklungsforschung dient wie

beschrieben als Grundlage für die Identifikation von Produktmodelltypen (PRODUKTENTWICKLUNG 2011a). Besonders hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die Arbeiten von FELGEN 2007 und LAUER 2010. In beiden Dissertationen ist eine umfangreiche Sammlung und Klassifikation an Produktmodelltypen durchgeführt worden. Zur Kontrolle der identifizierten Produktmodelltypen dient spezifische Literatur aus dem Anwendungsbereich der Elektrofahrzeugentwicklung (PRODUKTENTWICKLUNG 2011b). Die in der Literatur gefundenen Sammlungen an Klassifikationsmöglichkeiten von Produktmodellen werden bei der Beschreibung und Unterscheidung der einzelnen Produktmodelltypen berücksichtigt. Sie dienen als Input für die Klassifizierung der Produktmodelltypen.

Aus den in der Literaturanalyse identifizierten Klassifizierungsmerkmalen ergibt sich das Wissensdokument zur Beschreibung des Konzepts des Produktmodelltyps in der Ontologie. Die folgende Abbildung (Bild 6-19) zeigt einen Ausschnitt des erstellten Wissensdokuments zur Beschreibung der Produktmodelltypen (vollständig im Anhang in Kapitel 10.2).

<b>Name des Konzepts: Produktmodelltyp</b>	
<b>Beschreibung des Konzepts</b>	
Name	Produktmodelltyp
Definition	Ein Produktmodell entsteht durch die Instanziierung eines Produktmodelltyps. Der Produktmodelltyp stellt somit das Metamodell des Produktmodells dar.
Oberkonzept	<u>Modelltyp</u>
<b>Attribute</b>	
Name	Wie heißt der Produktmodelltyp?
Abstraktionsgrad	Der Abstraktionsgrad beschreibt die Detaillierungstiefe der enthaltenen Produktinformationen auf qualitative Art. Auswahlmöglichkeiten: abstrakte Produktinformationen, Mittelabstrakte Produktinformationen, Konkrete Produktinformationen
Darstellungsform	Die Darstellungsform bestimmt, wie das Modell dargestellt ist bzw. in welcher Existenzform es vorliegt. Auswahlmöglichkeiten: analytisch, graphisch, Tabelle/Matrix, textuell, immateriell, physikalisch
Konkretisierungsgrad	Konkretisierungsgrad der Informationen in dem Produktmodelltyp entsprechend Einteilung nach PONN 2011 (S. 27). Auswahlmöglichkeiten: Anforderungsmodell, Funktionsmodell, Wirkmodell, Baummodell
Vollständigkeit	Die Vollständigkeit beschreibt, wie viele Produktmerkmale auf der jeweiligen Abstraktionsstufe festgelegt sind. Auswahlmöglichkeiten: wenige Produktmerkmale festgelegt, einige/viele Produktmerkmale festgelegt, alle Produktmerkmale festgelegt
Weitere Attribute siehe Anhang	

Bild 6-19: Wissensdokument für das Konzept Produktmodelltyp mit Klassifizierungsmerkmalen

Die Attribute des Produktmodelltyps und die möglichen Ausprägungen bauen auf den in Kapitel 4.3.3 beschriebenen Klassifizierungsmerkmalen für Produktmodelle auf. Die erstellte Sammlung von Produktmodelltypen als Kernergebnis des Teil-Wissensmodells „Produktmodelltypen-Klassifikation“ und deren Beschreibung kann dem Anhang in Kapitel 10.6 entnommen werden. Dort sind alle Produktmodelltypen mit einer kurzen Beschreibung aufgelistet und eine Auswahl an Produktmodelltypen ist exemplarisch den Klassifizierungsmerkmalen zugeordnet. Die folgende Abbildung (Bild 6-20) zeigt einen Ausschnitt der

Produktmodelltypen-Klassifikation anhand vier exemplarischer Produktmodelltypen. Die Zuordnung der Ausprägungen der Klassifizierungsmerkmale zu den Produktmodelltypen basiert auf der Erfahrung des Autors und kann nach Bedarf angepasst werden. Ebenfalls können weitere Produktmodelltypen ergänzt und mittels Zuordnung zu den Ausprägungen der Merkmale klassifiziert werden.

Nr. Produktmodelltyp	Konkretisierungsgrad				Darstellungsform				Zweck				Abstraktionsgrad			Vollständigkeit			Verständlichkeit		
	Anforderungsmodell	Funktionsmodell	Wirkmodell	Baummodell	analytisch	graphisch	Tabelle/Matrix	textuell	Zielmodell	Problemmodell	Entwicklungsmodell	Verifikationsmodell	Abstrakte Produktinformationen	Mittlabstrakte Produktinformationen	Konkrete Produktinformationen	wenige Produktmerkmale festgelegt	viele Produktmerkmale festgelegt	alle Produktmerkmale festgelegt	leicht verständlich	verständlich	schwer verständlich
1	Alternativkonzept		x	x		x					x		x			x					x
2	Anforderungsliste	x						x	x				x					x	x		
3	Baugruppenbeschreibung			x		x		x			x		x			x				x	
4	CAM Modell			x	x									x			x				x
	...																				

Bild 6-20: Ausschnitt aus der Klassifikation von Produktmodelltypen

Wie in Bild 6-20 beschrieben können die einzelnen Produktmodelltypen anhand der identifizierten Klassifizierungsmerkmale unterschieden werden. Dadurch wird die Auswahl des für eine bestimmte Situation passenden Produktmodelltyps unterstützt. Die Vielfalt an Produktmodelltypen wird durch die Klassifikation greifbar und besser verständlich.

### 6.6 Teil-Wissensmodell „Regeln und Hinweise“

In den einzelnen Tätigkeiten ist Wissen über die Ausgestaltung der jeweiligen Teilschritte erforderlich. Bei der Arbeit mit Produktmodellen stellen sich beispielsweise folgende Fragen:

- Wie soll reagiert werden, wenn viele Personen an einem Modellierungsprojekt teilnehmen?
- Was ist bezüglich der Beschreibung von Modellierungsergebnissen zu beachten?
- Wie kann ein Modell hinsichtlich seiner Qualität beurteilt werden?

In der Wissensbasis wird das zur Beantwortung dieser und weiterer Fragen benötigte Wissen im Teil-Wissensmodell „Regeln und Hinweise“ bereitgestellt. Als Ausgangspunkt für die Wissensakquise dienen die in Kapitel 6.2 genannten Literaturquellen über die Arbeit mit Modellen. Die darin beschriebenen Regeln und Hinweise ermöglichen die Gestaltung der einzelnen Tätigkeiten entsprechend den vorliegenden situationspezifischen Einflussfaktoren und der Zielerwartung. Die einzelnen Artikel unterscheiden sich hinsichtlich des Betrachtungsgegenstandes und des Detaillierungsgrades. Einige fokussieren sich auf bestimmte Modelle (z. B. Simulationsmodelle, bzw. noch detaillierter auf ereignisorientierte Simulation von „großen“ Modellen) während andere bestimmte Phasen der Arbeit mit Modellen hervorheben (z. B. Validierung von Modellen). Diese Literaturquellen dienen als Ausgangspunkt für die Textanalyse zur Identifikation der Merkmale der Konzepte.

Für die Identifikation der für die Arbeit mit Modellen relevanten Wissensartefakte in Form von Regeln und Hinweisen wird wie folgt vorgegangen: Zunächst wird in den Wissensartefakten aus der Literatur nach Auswirkungen zwischen den Eigenschaften der Konzepte gesucht. Beispielsweise schreibt RENGER et al. 2008, dass der Erfolg von Gruppenmodellierung durch die Abweichung zwischen tatsächlichen Ausgaben und geplanten Ausgaben (Effizienz) bestimmt wird. Diese Aussage beschreibt die Abhängigkeit zwischen Erfolg der Modellierung und der Abweichung zwischen tatsächlichen und geplanten Ausgaben. Die Abhängigkeit weist eine Richtung und eine Tendenz auf. Wenn in diesem Beispiel die Abweichung zwischen den Ausgaben groß ist, dann ist davon abhängig der Erfolg der Gruppenmodellierung gering. Zur Extraktion dieses Wissens wird die betrachtete Literatur nach diesen und weiteren Abhängigkeiten in Form von Regeln und Hinweisen für die Gestaltung der Arbeit mit Modellen durchsucht.

In den Literaturquellen enthaltene Wissensartefakte zur Arbeit mit Produktmodellen dienen als Ausgangspunkt für die Ermittlung von Wissen über die Arbeit mit Modellen. Insbesondere werden Regeln und Hinweise extrahiert, in denen die Autoren Hinweise auf eine erfolgreiche Arbeit mit Modellen geben. Die folgende Abbildung (Bild 6-21) zeigt exemplarisch einige Regeln und Hinweise zum Umgang mit Modellen, die von verschiedenen Autoren gegeben werden. Die jeweiligen Regeln und Hinweise können als Wissensartefakte aufgefasst werden, in denen Wissen über die Arbeit mit Modellen vermittelt wird.

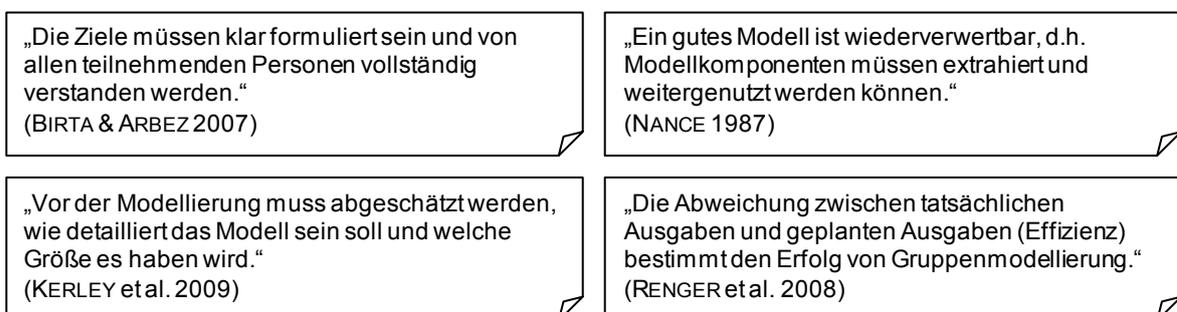


Bild 6-21: Exemplarische Regeln und Hinweise zur Arbeit mit Modellen

Als Resultat der Literaturanalyse entsteht als ein Aspekt des Teil-Wissensmodells „Hinweise und Regeln“ eine Sammlung von Wissensartefakten zum Umgang mit Modellen. Diese sind im Anhang in Kapitel 10.8 aufgelistet. Jedem Wissensartefakt wird sein Ursprung (Autor, Jahr, Forschungsbereich) zugeordnet.

Bei der Analyse der Regeln lassen sich die folgenden Unterschiede hinsichtlich des Informationsgehalts feststellen: einige Autoren beschreiben Qualitätskriterien von Modellen ohne konkrete Anweisungen zu nennen, wie diese Qualitätskriterien erzielt werden können. Beispielsweise nennen BROOKS & TOBIAS 1996 Bewertungskriterien für Modelle (z. B. Fehler in einem Modell, Zeit und Kosten für die Modellerstellung). Sie beschreiben allerdings nicht, wie Handlungen auszusehen haben, damit diese Bewertungskriterien positiv erfüllt werden. Andere Quellen beschreiben konkrete Regeln und liefern zusätzlich Begründungen, warum diese Regeln anzuwenden sind. Beispielsweise schreiben KERLEY et al. 2009: „Zur Evaluation von Prozessmodellen sind Gruppentreffen zu bevorzugen, da nur so der erforderliche Konsens zwischen den unterschiedlichen Stakeholdern gewährleistet werden kann.“ Eine weitere Steigerung des Informationsgehalts liegt in der Angabe der Situation, wann eine Regel eingesetzt wird. Beispielsweise gilt die obige Regel zur „Bevorzugung von Gruppenmodellierungen“ erst ab einer bestimmten Anzahl von beteiligten Stakeholdern.

Die aus der Literatur extrahierten Wissensartefakte weisen ebenfalls unterschiedlich detaillierte Inhalte bezüglich der Begründung einer Regel und der Anwendbarkeit von Hinweisen auf. Die einfachste Bereitstellung des Wissens besteht in der Aufzählung von Eigenschaften, die bei der Modellierung eine Rolle spielen. Mögliche Auswirkungen werden nicht beschrieben und keine Begründung gegeben. Auch abstrakte Formulierungen bezüglich der Auswirkung ohne Angabe einer geeigneten Bewertungsmöglichkeit beschränken die Nutzung des jeweiligen Wissensartefakts. Beispielsweise ist die Aussage „Wenn kein Modellierungsziel vorgegeben ist, kann das Modellierungsprojekt scheitern.“ bezüglich der Konsequenz allgemein und schwer messbar formuliert. Die Ergänzung von Begründungen zu einer Aussage erhöht dagegen den Informationsgehalt. Der folgende Satz gibt ein Beispiel: „Wenn kein Modellierungsziel vorgegeben ist, dann lassen sich die Ergebnisse nicht bewerten und es können falsche Entscheidungen getroffen werden. Dies kann zu höheren Ausgaben führen, die das Projekt eventuell zum Scheitern bringen.“ Im Vergleich zu der ersten Aussage, enthält die zweite Aussage mehr Wissen über die Hintergründe des Scheiterns des Projektes und nennt mögliche Ursachen.

Für die Repräsentation dieses Wissens werden die einzelnen Regeln und Hinweise unter Angabe vorhandener Begründungen und Auswirkungen textuell erfasst. Die Regeln bzw. Hinweise werden auf zwei unterschiedliche Arten in die Wissensbasis eingebracht (siehe Bild 6-22).

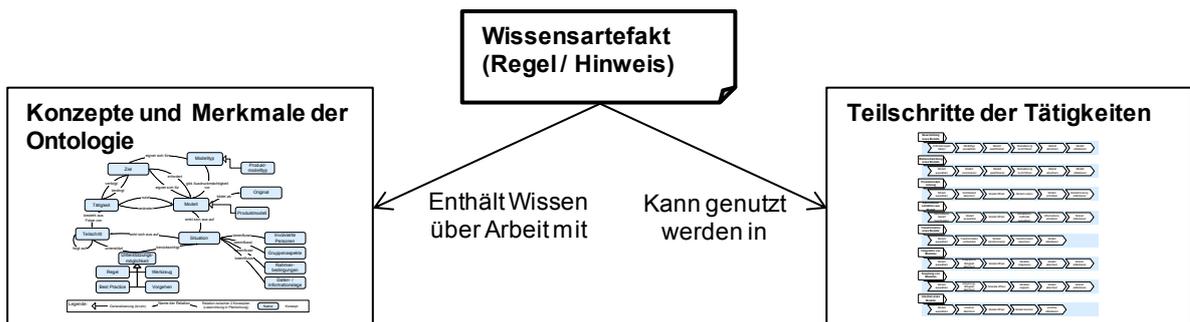


Bild 6-22: Zwei Möglichkeiten der Einbindung der Regeln und Hinweise (Details siehe Bild 6-10 und Bild 6-16)

Einerseits werden die Regeln und Hinweise übergreifend genutzt, um die Arbeit mit den in der Ontologie enthaltenen Konzepten zu beschreiben. Andererseits werden die Regeln spezifisch den einzelnen Teilschritten der Tätigkeiten zugeordnet. Dadurch wird eine direkte Verfügbarkeit der Regeln in den einzelnen Teilschritten ermöglicht. Die folgenden beiden Abschnitte beschreiben die zwei Möglichkeiten im Detail.

### Zuordnung zu den Konzepten der Ontologie

Die in der Literatur identifizierten Regeln und Hinweise geben Aussage darüber, wie mit den in der Ontologie modellierten Konzepten umgegangen werden muss. Die folgende Abbildung (Bild 6-23) zeigt diesen Zusammenhang an zwei Beispielen. Die Regel „Der Zweck des Modells muss bei der Modellbeschreibung angegeben werden.“ (KERLEY et al. 2009) bezieht sich beispielsweise auf das Konzept des Modells und dabei auf das Merkmal der Intention des Modells. Die Regel „Die Modellierungserfahrung beeinflusst die Arbeit in Gruppen zur Erstellung von Modellen.“ (RENGER et al. 2008) bezieht sich auf die involvierten Personen und die Gruppenaspekte. Es ist Wissen über die persönlichen Hintergründe (hier Modellierungserfahrung) und die Gestaltung der Zusammenarbeit in Gruppen enthalten.

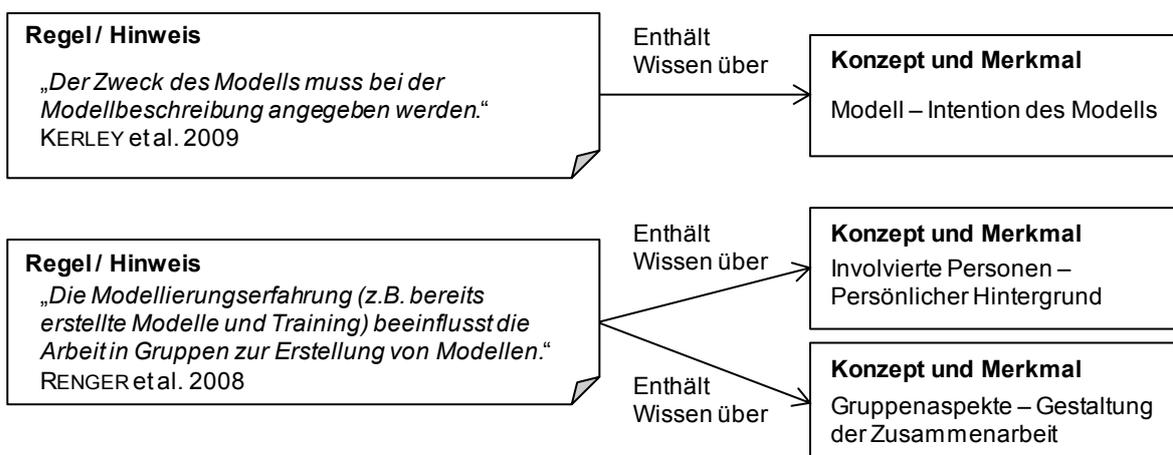


Bild 6-23: Zuordnung von Regeln mit Wissen über die Konzepte der Ontologie

Anhand der Zuordnung der Regeln und Hinweise zu den Konzepten wird Wissen darüber vermittelt, wie mit den jeweiligen Konzepten gearbeitet werden muss. Ist beispielsweise Bedarf nach Wissen über die Bedeutung des Modellzwecks als ein Merkmal des Modells erforderlich, dann können die mit diesem Konzept verbundenen Regeln genutzt werden, um das benötigte Wissen zu vermitteln. Die hierfür erforderliche Verknüpfung der Regeln und Hinweise mit den in der Ontologie enthaltenen Konzepten und deren Merkmalen wird im Teil-Wissensmodell der „Regeln und Hinweise“ anhand einer Verknüpfungsmatrix repräsentiert. Die folgende Abbildung (Bild 6-22) zeigt einen Ausschnitt aus dieser Regel-Konzept-Zuordnungsmatrix. Die identifizierten Regeln werden den einzelnen Merkmalen der Konzepte zugeordnet. Eine Regel kann mehreren Merkmalen zugeordnet sein und ein Merkmal durch mehrere Regeln beschrieben werden.

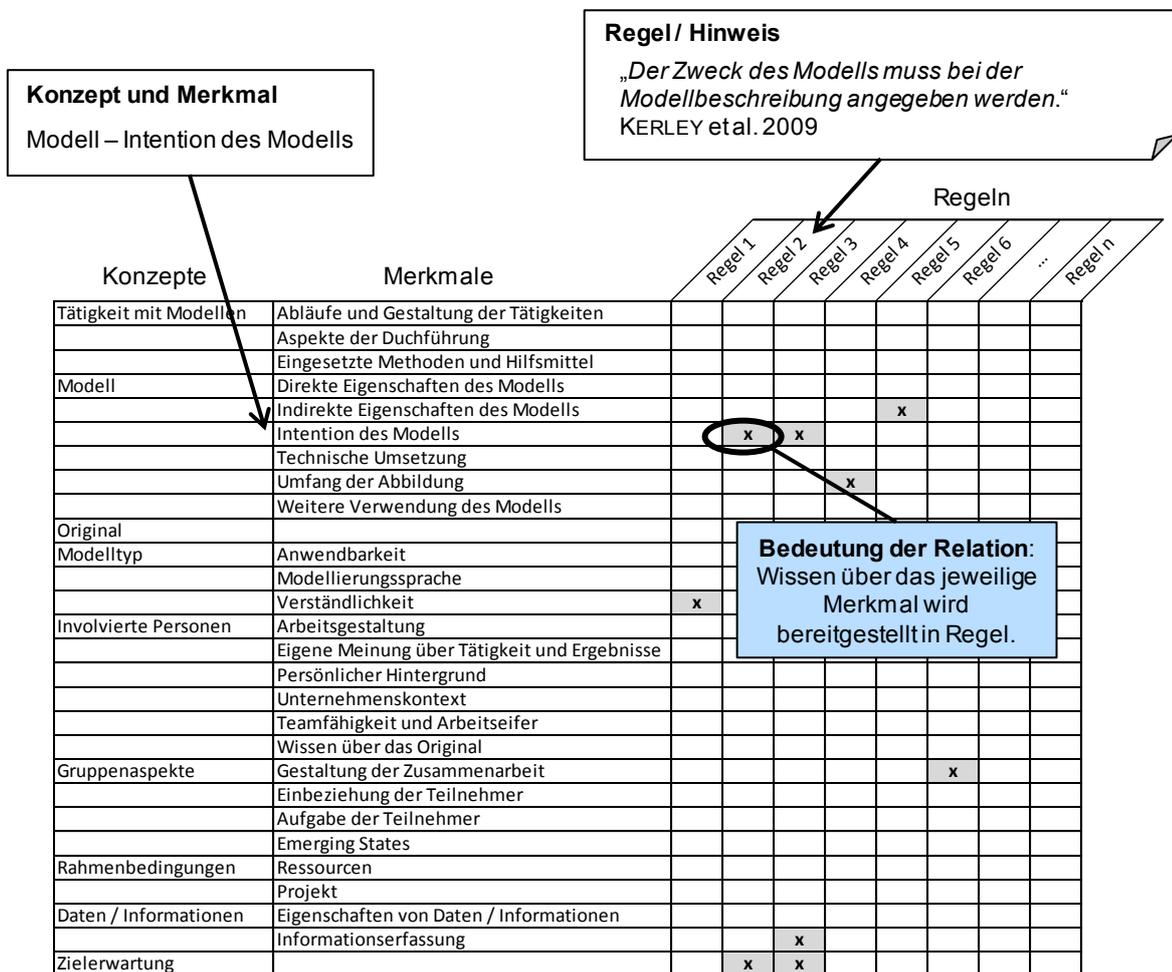


Bild 6-24: Regel-Konzept-Zuordnungsmatrix

Die vollständige Auflistung der Regeln und die Zuordnung zu den einzelnen Konzepten finden sich im Anhang in Kapitel 10.9. Durch diese Zuordnung ist es möglich, auf die vorhandenen Regeln gezielt über die jeweiligen Konzepte und deren Merkmale zuzugreifen (siehe Anwendung der Wissensbasis in Kapitel 7.3).

## Zuordnung zu den Tätigkeiten

Die Verknüpfungsmatrix zwischen Regeln und Konzepten ist eine Möglichkeit auf Wissen aus den Regeln zuzugreifen. Angesichts der Vielzahl an Regeln erscheint auch eine spezifische Zuordnung zu den einzelnen Teilschritten sinnvoll. Damit kann das Wissen zu den Zeitpunkten vermittelt werden, wenn es tatsächlich benötigt wird und die jeweiligen Teilschritte können unter Berücksichtigung dieses Wissens gezielt gestaltet werden. Die folgende Abbildung (Bild 6-25) zeigt vier Hinweise, die den Teilschritten der Tätigkeit „Neuentwicklung eines Modells“ zugeordnet sind. In den einzelnen Teilschritten können diese Hinweise genutzt werden, um die Arbeit entsprechend zu gestalten.

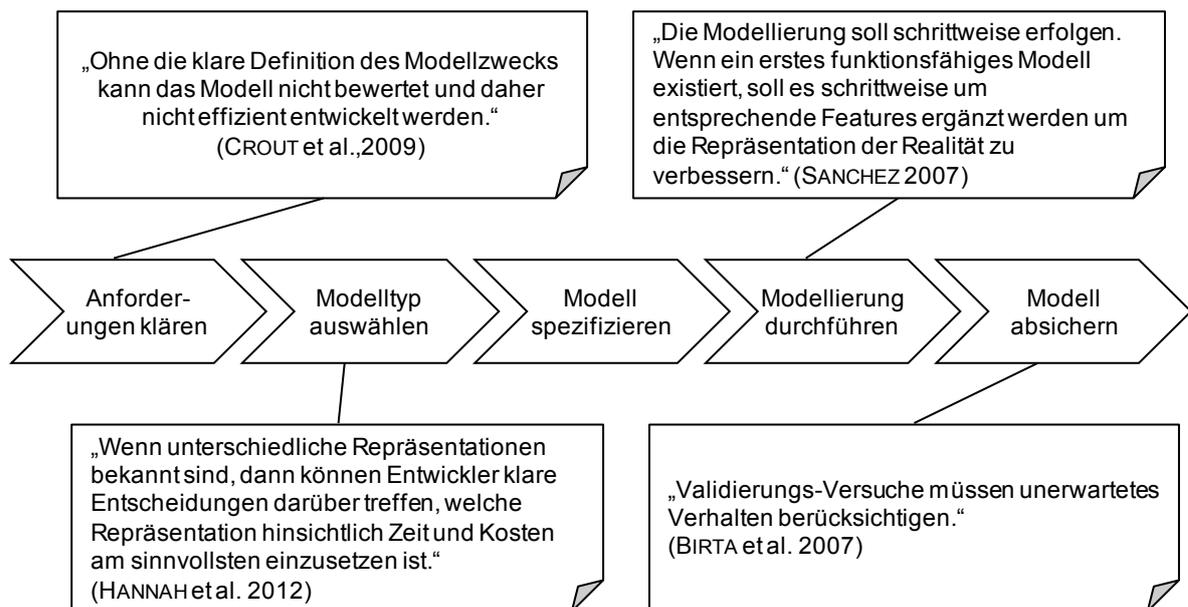


Bild 6-25: Zuordnung Regeln und Hinweisen zu einzelnen Teilschritten

Wie auch bei der Zuordnung der Regeln zu den Konzepten erfolgt die Zuordnung der Regeln zu den Teilschritten anhand einer Zuordnungsmatrix. Diese Regel-Teilschritt-Zuordnungsmatrix ist im Anhang in Kapitel 10.9 aufgeführt.

In der erstellten Wissensbasis werden beide vorgestellten Möglichkeiten der Zuordnung der Wissensartefakte zu den Konzepten und zu den Teilschritten kombiniert angewandt. Die einzelnen Wissensartefakte sind mit den Konzepten und den Teilschritten in der jeweiligen Zuordnungsmatrix verknüpft.

## Alternative Möglichkeit zur Repräsentation der Regeln

Regeln über die Arbeit mit Modellen können als Ergänzung zu der im vorigen Kapitel beschriebenen und in dem vorgestellten Lösungsansatz verwendeten textuellen Beschreibung auch formal in der Wissensbasis anhand des im Folgenden beschriebenen Schemas repräsentiert werden. Eine Regel ist dabei eingebettet in einen Regelsatz. Dieser Regelsatz besteht aus einer Rahmenbedingung, der Regel an sich, und einer Begründung. Die Rahmenbedingung beschreibt die Ausgangssituation in der die Regel angewendet werden soll. Sie wird in Form eines Faktors und einer Ausprägung beschrieben (z. B. „viele Personen“).

Die Regel an sich beschreibt einen Bedingungs- und einen Zielzustand mit einer kausalen Bedingung dazwischen (z. B. wenn „klare Rollenverteilung“, dann „Zeitaufwand gering“). Die Begründung beschreibt weiterführende Erklärungen, warum durch den Zustand das Ziel erreicht werden kann. Sie ist in Form eines Faktors, gegebenenfalls einer Ausprägung und eines Verbs dargestellt (z. B. unnötige Diskussionen vermeiden). In Kombination ergeben Rahmenbedingung, Regel und Begründung den Regelsatz.

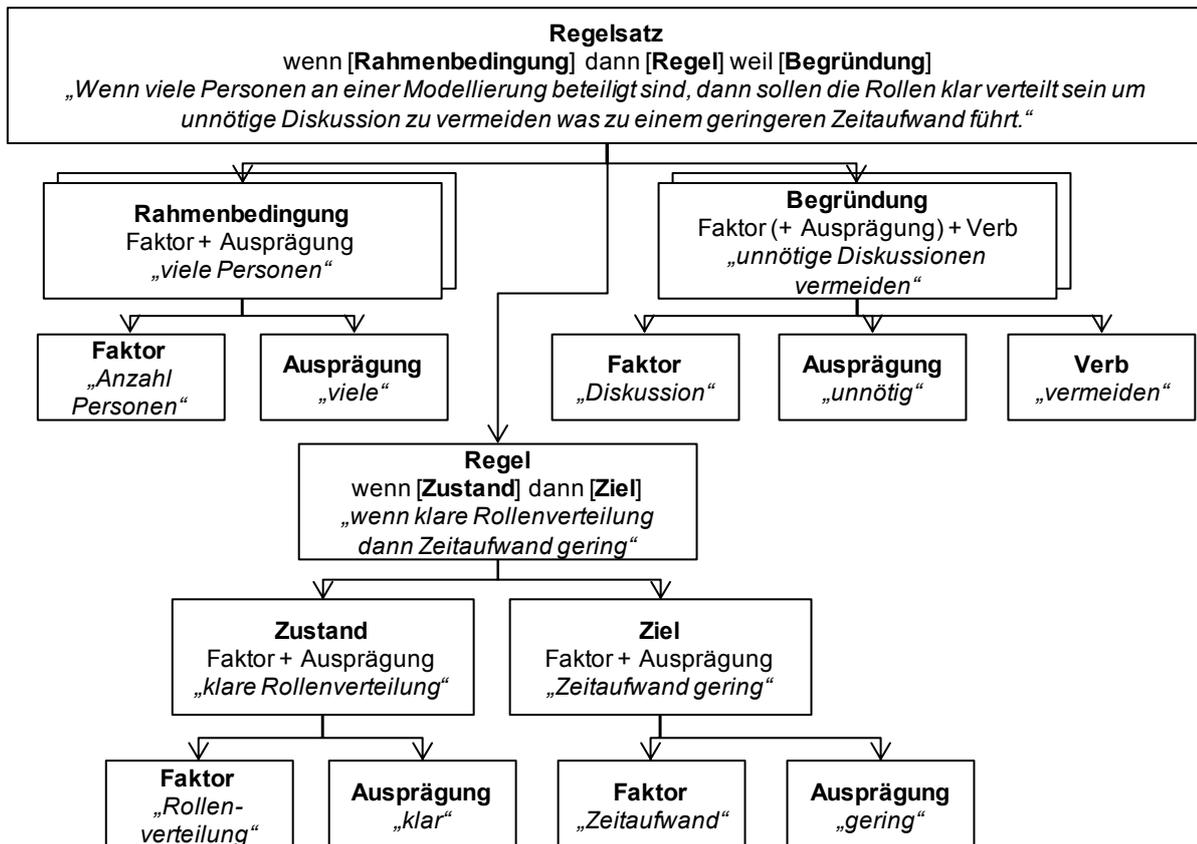


Bild 6-26: Formale Beschreibung eines Regelsatzes mit Beispiel

Diese formale Beschreibung einer Regel macht dann Sinn, wenn vollständiges Wissen sowohl über die Rahmenbedingung, die Regel und die Begründung vorhanden ist. In der für diese Dissertation genutzten Literatur findet sich allerdings selten eine vollständige Beschreibung eines Regelsatzes. Meist wird lediglich nur die Regel angegeben. Eine Begründung der Regel fehlt häufig. Deshalb werden in dieser Dissertation die Regeln nicht formal anhand des aufgezeigten detaillierten Schemas, sondern wie oben beschrieben textuell repräsentiert und den einzelnen Tätigkeiten zugeordnet. Läge das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen auf detaillierterem Level vor, so kann dieses Schema genutzt werden, um das Wissen zu repräsentieren. Das vorgestellte Schema kann demnach als Erweiterungsmöglichkeit gesehen werden, damit bei der Erweiterung der Wissensbasis im Idealfall vollständige Regelsätze in der Wissensbasis repräsentiert sind.

## 6.7 Zusammenfassung des Lösungsansatzes

Die vorausgehenden Kapitel beschreiben das Vorgehen zur Erstellung der Wissensbasis und zeigen das Ergebnis anhand der Ontologie und der drei Teil-Wissensmodelle. Das vorgestellte Rahmenwerk dient der Strukturierung der genutzten Wissensquellen anhand der drei inhaltlichen Gruppen. Mittels der drei Ebenen lässt sich Wissen aus unterschiedlichen Quellen für die Arbeit mit Produktmodellen nutzbar machen und in die Wissensbasis überführen. Diese Kapitel fasst abschließend den aktuellen Stand der entwickelten Wissensbasis zusammen.

Eine Ontologie definiert als Meta-Modell der Wissensbasis die Konzepte und Relationen der Wissensbasis und bildet die Schnittstelle zwischen den drei Teil-Wissensmodellen. Eine Klassifikation von Produktmodelltypen ermöglicht die Unterscheidung von Produktmodelltypen und unterstützt damit die Auswahl des für einen bestimmten Anwendungsfall passenden Produktmodelltyps. Die Identifikation von acht Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen und deren Aufschlüsselung in einzelne Teilschritte und Prozessabfolgen dient der Vermittlung von prozeduralem Wissen über die Abläufe bei der Arbeit mit Produktmodellen. Regeln und Hinweise werden mit diesen Teilschritten verknüpft und ermöglichen so die Berücksichtigung relevanter Aspekte und die Gestaltung der Tätigkeiten. Das in der Wissensbasis enthaltene Wissen wird in den einzelnen Teil-Wissensmodellen repräsentiert. Das Teil-Wissensmodell „Tätigkeiten und Teilschritte“ ist in graphischer Form repräsentiert. Die einzelnen Tätigkeiten sind in eine zeitliche Abfolge gebracht und textuell beschrieben. Die Teilschritte der Tätigkeiten sind formalisiert graphisch als erweiterte Prozessketten repräsentiert. Das Teil-Modell der Produktmodelltypen wird in einer Matrix repräsentiert, in der die einzelnen Produktmodelltypen ihren Merkmalsausprägungen zugeordnet sind. Dadurch wird eine klare Zuordnung der Produktmodelltypen zu einzelnen Klassen und somit eine Unterscheidung ermöglicht. Die Regeln und Hinweise sind wie beschrieben zunächst textuell in einer Tabelle erfasst. Die Zuordnung zu den einzelnen Teilschritten und Konzepten erfolgt in zwei Zuordnungsmatrizen. Diese Repräsentation des Wissens wurde gewählt, da die spätere Implementierung stark von dem jeweiligen Anwendungsfall abhängig ist. Eine Überführung der aktuell erfassten Wissensartefakte in eine konkrete Anwendung zur Bereitstellung des Wissens wird im Rahmen der Anwendung der Wissensbasis im folgenden Kapitel 7 beschrieben.



## 7. Einsatz der Wissensbasis und Evaluation

*In diesem Kapitel wird der Einsatz der Wissensbasis für die Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen aufgezeigt und der Lösungsansatz hinsichtlich der Erfüllung der gestellten Anforderungen diskutiert. Zunächst wird das Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis allgemein beschrieben und hierfür anzuwendende Methoden und Hilfsmittel vorgestellt. Dieses Vorgehen wird daraufhin in einem industriellen Anwendungsbeispiel genutzt, um in der Wissensbasis vorhandenes Wissen entsprechend den Bedarfen bereit zu stellen. Abschließend wird der Lösungsansatz hinsichtlich der in Kapitel 5.6 formulierten Anforderungen evaluiert und übergreifend diskutiert. Aus der Diskussion ergeben sich Verbesserungspotentiale, die anhand der in Kapitel 8 aufgeführten weiteren Schritte detailliert werden.*

### 7.1 Teilaspekte der Evaluation

Generell können nach BLESSING & CHAKRABARTI 2009 (S. 37) drei Arten von Evaluationen unterschieden werden. Die **Unterstützungsevaluation** bewertet eine Lösung hinsichtlich ihrer Funktionalität. Es wird überprüft, ob eine Lösung wie gewünscht funktioniert. Bei der **Anwendbarkeitsevaluation** wird eine Lösung anhand ihrer Anwendbarkeit und ihrer Verwendbarkeit in Relation zu den gewünschten Hauptkriterien bewertet. Es wird ermittelt, wie gut die Lösung vom Nutzer angewendet werden kann. Die **Erfolgsevaluation** beinhaltet die Bewertung einer Lösung anhand ihres Nutzens bzw. konkreten Mehrwerts zur Erfüllung der formulierten Ziele.

Die Evaluation der erstellten Wissensbasis erfolgt anhand ihrer Anwendung zur Entwicklung eines Prototyps für ein Assistentensystem zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen in einem Anwendungsfall der Automobilbranche. Dabei werden entsprechend der Anwendung der Wissensbasis und der bereitgestellten Unterstützung in dem Anwendungsfall zwei wesentliche Teilaspekte der Evaluation berücksichtigt (siehe Bild 7-1).

Der erste Teilaspekt der Evaluation liegt auf der übergreifenden Evaluation des Einsatzes der Wissensbasis in Knowledge Engineering Projekten anhand der definierten Anforderungen. Als Anwender der Wissensbasis fungiert gemäß den in Kapitel 5.6 formulierten Anforderungen der Wissensingenieur. Er wird durch den Einsatz der Wissensbasis dabei unterstützt, Wissensbedarf bei der Arbeit mit Produktmodellen zu identifizieren und für die Implementierung in wissensbasierten Systemen bereitzustellen. Die Anwendung der Wissensbasis wird dazu zunächst in einem allgemeinen fünfstufigen Vorgehen beschrieben. Darin sind die einzelnen Interaktionen zwischen Wissensingenieur, Wissensnutzer und Wissenssystementwickler berücksichtigt. Es wird aufgezeigt, wie die Wissensbasis in den einzelnen Schritten für die Wissensbedarfsidentifikation, das Monitoring der Unterstützung und die Bereitstellung der benötigten Wissensartefakte an den Systementwickler genutzt wird. Das Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis ermöglicht eine Wissensbereitstellung aus der Wissensbasis und bei Bedarf eine Ergänzung von Wissen in die Wissensbasis. Als Anwendungsbeispiel dient ein Entwicklungsprojekt für die Entwicklung einer Rückfahrhilfe eines Motorrades. Das in diesem Entwicklungsprojekt von den Entwicklern benötigte Wissen wird anhand eines Assistentensystems zur Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen

vermittelt. Das Assistentensystem wird durch einen Wissenssystem-Entwickler erstellt, der die benötigten Wissensartefakte vom Wissensingenieur auf Basis der ermittelten Bedarfe erhält.

Der zweite Teilaspekt der Evaluation besteht in der anwendungsspezifischen Bewertung der durch das Assistentensystem bereitgestellten Unterstützung. In Ergänzung zu der übergreifenden Evaluation kann anhand des implementierten Assistentensystems die spezifische Unterstützung der Entwickler durch das bereitgestellte Wissen bewertet werden. Diese Bewertung ermöglicht indirekt eine Beurteilung des in der Wissensbasis enthaltenen Wissens und des Vorgehens zur Nutzung der Wissensbasis.

Die anwendungsspezifische Unterstützung in dem Anwendungsfall wird in Kapitel 7.3.5 als Teil der Nutzung der Wissensbasis beschrieben. Die übergreifende Evaluation des Lösungsansatzes erfolgt als zusammenfassendes Fazit der Nutzung der Wissensbasis in Kapitel 7.4.

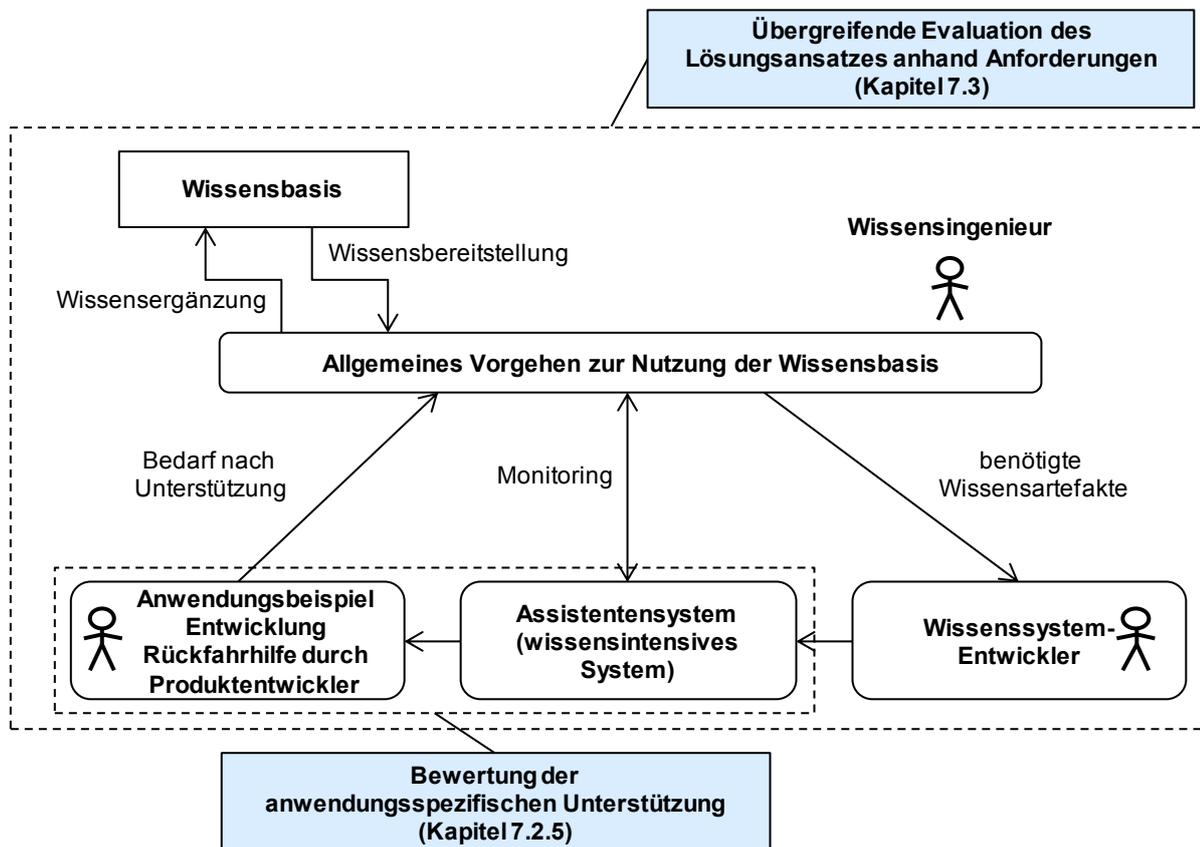


Bild 7-1: Übersicht zur Nutzung und Evaluation der Wissensbasis

Im folgenden Kapitel wird zunächst das allgemeine Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis beschrieben. Darin werden die Schritte zur Nutzung der Wissensbasis und benötigte Hilfsmittel aufgezeigt. Daraufhin erfolgen die Anwendung des Vorgehens und die Evaluation im Anwendungsbeispiel.

## 7.2 Allgemeines Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis

Auf Grundlage der in Kapitel 6 vorgestellten Wissensbasis kann Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen entsprechend des jeweiligen Wissensbedarfs abgeleitet und zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen im Entwicklungsprozess bereitgestellt werden. Dieses Kapitel beschreibt die Nutzung der Wissensbasis anhand eines fünfstufigen allgemeinen Vorgehens. Das Vorgehen greift die drei Interaktionen zwischen Wissensingenieur, Experten bzw. Wissensquellen, Wissensnutzern und Wissenssystementwicklern auf (vgl. Bild 5-8 zur Nutzung der Wissensbasis).

Die folgende Abbildung (Bild 7-2) zeigt das Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis mit den einzelnen Schritten. In jedem Schritt werden Hilfsmittel bzw. methodische Unterstützung genutzt, um die jeweiligen Ergebnisse zu erzielen.

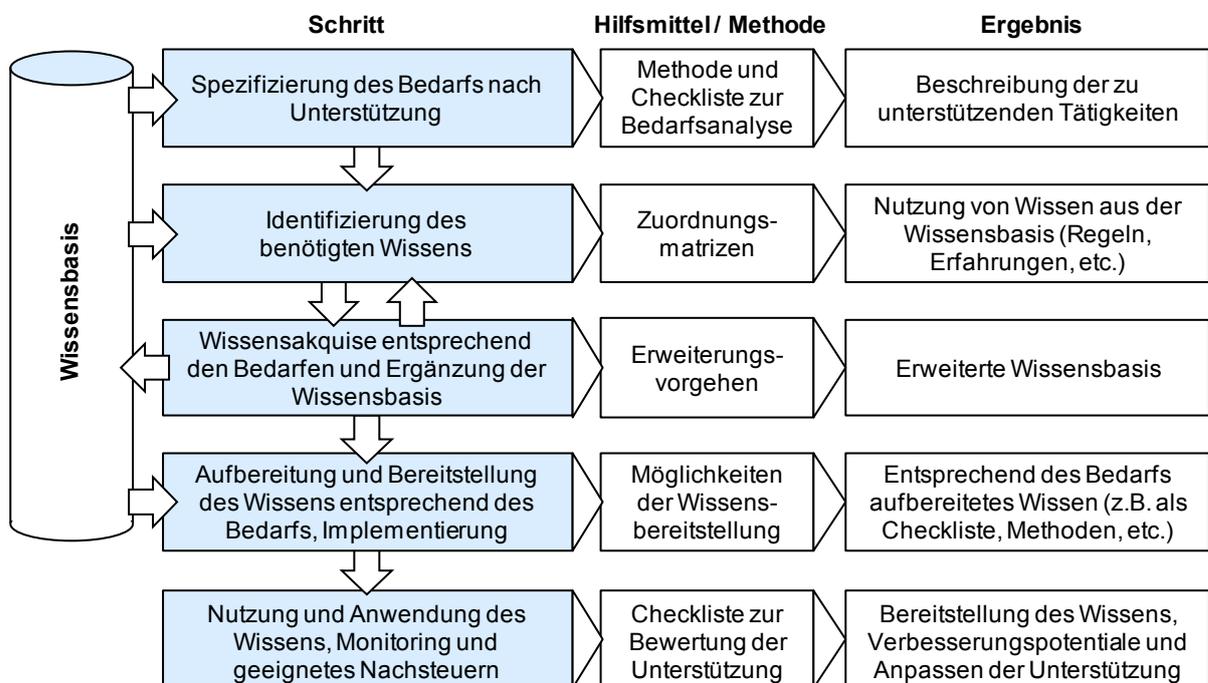


Bild 7-2: Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis

Das Vorgehen umfasst insgesamt fünf Schritte. Als erster Schritt des Vorgehens wird entsprechend des Anwendungsfalls im Entwicklungsprozess der Bedarf nach Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen spezifiziert. Hierfür wird eine, an der Ontologie orientierte, checklistenbasierte Methode zur Wissensbedarfsanalyse genutzt. Als Ergebnis resultiert die Beschreibung der zu unterstützenden Tätigkeiten und des Wissensbedarfs. Im nächsten Schritt wird darauf aufbauend das für die jeweilige Unterstützung in der Wissensbasis vorhandene und nutzbare Wissen identifiziert. Die Zuordnungsmatrizen dienen der Identifikation des erforderlichen Wissens, das in den einzelnen Teilmodellen der Wissensbasis repräsentiert ist. Ist darüber hinaus weiteres, aktuell nicht in der Wissensbasis enthaltenes Wissen, erforderlich, so muss dieses zunächst akquiriert und ergänzt werden. Das für die Tätigkeit erforderliche Wissen wird daraufhin entsprechend des Bedarfes aufbereitet.

Beispielsweise kann das Wissen textuell vermittelt werden oder auch in Form von Checklisten verwendbar gemacht werden. Auch die Integration des Wissens in wissensintensive Systeme (z. B. Assistentensysteme) ist möglich. Durch Anwendung der Methoden und Werkzeuge kann daraufhin das aufbereitete Wissen im Entwicklungsprozess bereitgestellt werden. Der durch Anwendung der Verbesserungsmaßnahme erzielte Effekt muss überwacht und die Bereitstellung des Wissens gegebenenfalls im Sinne eines geeigneten Nachsteuerens angepasst werden. Hierfür dient eine Checkliste zur Bewertung der Unterstützung der jeweiligen Tätigkeiten. Das durch die Beobachtung der Anwendung generierte Wissen kann abschließend in die Wissensbasis zurückgeführt werden, um diese somit sukzessiv zu erweitern. In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Schritte und die darin durchzuführenden Handlungen und Hilfsmittel detailliert beschrieben.

### 7.2.1 Spezifizierung des Bedarfs nach Unterstützung

Der erste Schritt des Vorgehens zur Nutzung der Wissensbasis beinhaltet die Spezifizierung des Bedarfs nach Unterstützung. Das benötigte Wissen zur Arbeit mit Produktmodellen im jeweiligen Anwendungsfall muss darin bestimmt werden, denn das in der Wissensbasis repräsentierte Wissen muss nicht vollständig für jeden Anwendungsfall relevant sein. Vielmehr gilt es, das für einen bestimmten Anwendungsfall benötigte Wissen aus den einzelnen Teil-Wissensmodellen gezielt aufzubereiten und zu nutzen.

Anhand des Teil-Wissensmodells „Tätigkeiten und Teilschritte“ kann der Bedarf nach prozeduralem Wissen über die Durchführung einer spezifischen Tätigkeit bei der Arbeit mit gedeckt werden. Dieses Wissen kann beispielsweise eingesetzt werden, um Tätigkeiten schrittweise zu durchlaufen. Auch ist das Wissen über mögliche alternative Tätigkeiten mit Modellen sinnvoll zu nutzen. Wird beispielsweise bereits bei der Modellerstellung eine mögliche Informationsextraktion aus dem Modell mit berücksichtigt, so kann das Modell dementsprechend gestaltet und dokumentiert werden.

Durch Nutzung des Teil-Wissensmodells „Produktmodelltypen-Klassifikation“ kann Wissen über die unterschiedlichen Produktmodelltypen und Produktmodelle gewonnen werden. Wird beispielsweise lediglich eine Übersicht der prinzipiell vorhandenen Produktmodelltypen benötigt, so reicht das in diesem Teilmodell enthaltene Wissen aus. Die Beschreibung eines Modells anhand seiner Attribute und die Klassifikation von Produktmodelltypen können darüber hinaus genutzt werden, um im Produktentwicklungsprozess entstehende Modelle zu dokumentieren. Sowohl die Wissensdokumente zur Beschreibung von Modellen als auch die Klassifikation von Produktmodelltypen können hierfür genutzt werden.

Der Bedarf nach Wissen über einen bestimmten Teilaspekt der Gestaltung der Arbeit mit Modellen kann aus dem Teil-Wissensmodell „Regeln und Hinweise“ gewonnen werden. Entsprechend den beiden Zuordnungsarten der Regeln zu Teilschritten bzw. zu den Konzepten der Ontologie können die Regeln gezielt genutzt werden. Anhand der Zuordnung zu den Teilschritten können die Regeln explizit für einen einzelnen Teilschritt abgerufen werden. Darüber hinaus können anhand der Zuordnung der Regeln zu den Konzepten der Ontologie Hinweise zur Handhabung der Betrachtungsgegenstände der Arbeit mit Modellen gewonnen werden.

Als Hilfsmittel für die Spezifizierung des benötigten Wissens dient eine an der Ontologie und den darin enthaltenen Konzepten orientierte Methode (siehe folgendes Bild 7-3). Für jedes Konzept wird auf unterschiedlichen Detaillierungsstufen schrittweise abgefragt, ob ein spezifischer Wissensbedarf besteht.

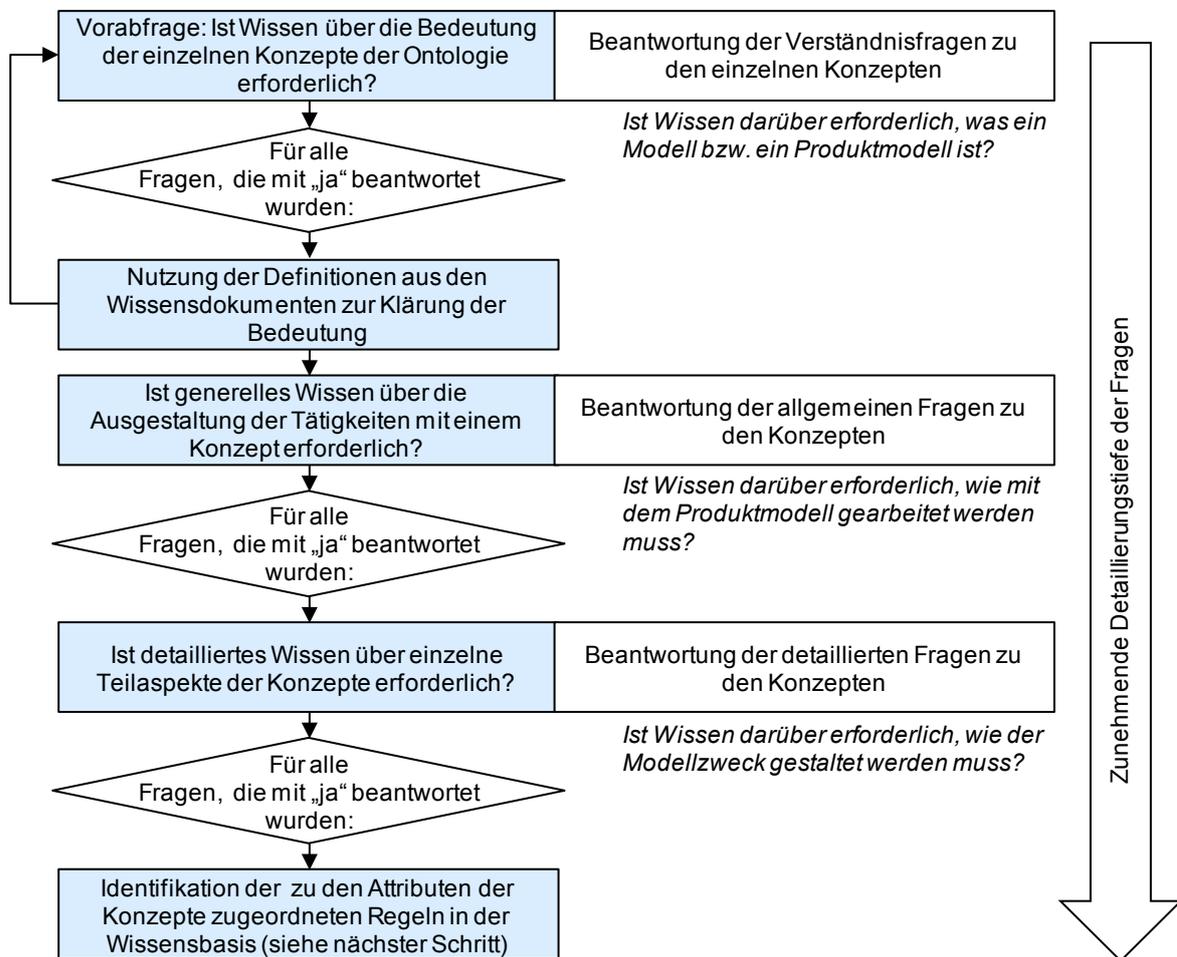


Bild 7-3: Methode zur schrittweisen Bestimmung des Wissensbedarfs

Zu Beginn der Methode wird bestimmt, ob Wissensbedarf bezüglich der Bedeutung der Konzepte der Ontologie vorhanden ist. Dazu dienen Verständnisfragen, die für jedes Konzept gestellt werden. Ist Bedarf für eine Klärung der Bedeutung der einzelnen Konzepte vorhanden, so können die in den Wissensdokumenten der Wissensbasis enthaltenen Definitionen und Beispiele genutzt werden. In zwei weiteren Schritten wird mit zunehmender Detaillierungstiefe der Fragen ermittelt, ob weiteres Wissen über die einzelnen Konzepte erforderlich ist. Beispielsweise wird eingehend gefragt, ob generelles Wissen über das Konzept „Produktmodell“ erforderlich ist. Wird diese Frage mit „ja“ beantwortet, so wird in einem nächsten Schritt nach dem Wissensbedarf bezüglich der Ausgestaltung der einzelnen Merkmale dieses Konzepts (z. B. Bedarf nach Wissen über die Formulierung des Modellzwecks) gefragt. Für alle mit „ja“ beantworteten Fragen können in einem nächsten Schritt die in der Wissensbasis für die Gestaltung der jeweiligen Konzepte vorhandenen

Regeln abgefragt werden. In der folgenden Abbildung (Bild 7-4) ist ein Ausschnitt dieser Fragen dargestellt.

<b>Wissensbedarfsanalyse für die Arbeit mit Produktmodellen</b>	
Dieses Dokument dient als Checkliste für die Bedarfsanalyse des Wissens bei der Arbeit mit Produktmodellen. Anhand der Beantwortung der Fragen kann der Wissensbedarf identifiziert werden.	
<b>Allgemeine Angaben</b>	
Durchführende Person (Name)	
Befragte Personen (Namen)	
Beginn der Bedarfsanalyse (Datum)	
Fertigstellung der Bedarfsanalyse (Datum)	
Frage zur Beurteilung des Wissensbedarfs bezüglich Betrachtungsgegenstand	Beantwortung der Frage ggf. mit Begründung.
<b>1) Übergreifend</b>	
Ist Wissen über die Bedeutung der einzelnen Konzepte bzw. Relationen der Ontologie erforderlich? z.B.: Ist Wissen darüber erforderlich, was ein Modell bzw. ein Produktmodell ist?	
Ist Wissen darüber erforderlich, was ein Modelltyp ist?	
Ist Wissen darüber erforderlich, was eine Tätigkeit ist?	
...	
<b>2) Modell</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Bestandteile in einem Produktmodell sind?	
Ist Wissen darüber erforderlich, was bei der Durchführung der Aufgabe jeweils dokumentiert werden soll?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit den direkten Eigenschaften eines Modells (Anzahl Konzepte, mögliche Fehler, Modellgröße, etc.) umgegangen wird?	
...	
<b>3) Original</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit dem betrachteten Original umgegangen wird?	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Eigenschaften des Originals sich wie auf den Modellierungsprozess auswirken?	
...	
<b>4) Zielerwartung</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie die Ziele bzw. die Absichten der geplanten Tätigkeit beschrieben werden?	
...	

Bild 7-4: Ausschnitt aus der Fragen-Checkliste zur Wissensbedarfsanalyse

Zu den einzelnen Konzepten werden Fragen gestellt, die sich auf den Wissensbedarf beziehen. Die einzelnen Fragen orientieren sich an den Merkmalen der Konzepte und hinterfragen den Wissensbedarf zu den einzelnen Konzepten. Die zu den einzelnen Konzepten zugeordneten Fragen (Verständnisfragen, allgemeine Fragen und detaillierte Fragen) sind im Anhang in Kapitel 10.10 vollständig aufgeführt. Durch die Beantwortung dieser Fragen kann der spezifische Wissensbedarf bestimmt werden. Da sich jede Frage auf ein Konzept bezieht, und diesem in der Wissensbasis Regeln und Hinweise zugeordnet sind, kann darauf aufbauend das in der Wissensbasis für das jeweilige Konzept vorhandene Wissen ermittelt werden. Auf Grund der hohen Anzahl an möglichen Fragen ist es ratsam, sich im jeweiligen Anwendungsfall auf einen bestimmten Teil der Fragen zu beschränken. Beispielsweise kann durch ein iteratives Vorgehen mit wenigen Mitarbeitern geklärt werden, wo besonderer

Verbesserungsbedarf besteht. In einem folgenden Schritt können dann die zu diesem Bereich vorliegenden Fragen gezielt genutzt werden, um den Bedarf zu detaillieren.

## 7.2.2 Identifizierung des benötigten Wissens

Der zweite Schritt beinhaltet das Auffinden des enthaltenen Wissens abhängig von dem zuvor spezifizierten Bedarf. Als Einstiegspunkt für das Auffinden des enthaltenen Wissens dienen die im vorigen Schritt zu jedem Konzept beantworteten Fragen bezüglich des benötigten Wissens. Für alle Konzepte, für die ein Wissensbedarf identifiziert wurde, kann anhand der im Teil-Wissensmodell „Regeln und Hinweise“ definierten Regel-Konzept-Zuordnungsmatrix das aktuell in der Wissensbasis enthaltene Wissen ermittelt werden. Ebenfalls kann vorhandenes Wissen über die Regel-Teilschritt-Zuordnungsmatrix entsprechend des Bedarfs nach Unterstützung in einem bestimmten Teilschritt identifiziert werden.

Die folgende Abbildung (Bild 7-5) stellt dar, wie die Regel-Konzept-Zuordnungsmatrix genutzt wird, um das für den jeweiligen Wissensbedarf in der Wissensbasis enthaltene Wissen zu identifizieren. Ausgehend von dem identifizierten Bedarf nach Wissen über ein bestimmtes Konzept werden die damit verknüpften Regeln identifiziert. Dies erfolgt über die einzelnen Merkmale der Konzepte und die Identifikation der mit ihnen verbundenen Regeln. In einem nächsten Schritt können diese Regeln entsprechend der Nutzbarkeit in dem jeweiligen Anwendungsfall bewertet werden. Hierzu kann die Herkunft der Regel entsprechend des Rahmenwerks zur Erstellung der Wissensbasis genutzt werden. Regeln und Hinweise aus gleichen Anwendungsbereichen oder ähnlichen Projekten können eher anwendbar sein, als Regeln und Hinweise aus anderen Anwendungsbereichen.

Konzept		Merkmal	Regeln							
			Regel 1	Regel 2	Regel 3	Regel 4	Regel 5	Regel 6	... Regel n	
Tätigkeit mit Modellen	Abläufe und Gestaltung der Tätigkeiten									
	Aspekte der Durchführung									
Modell	Eingestetzte Methoden und Hilfsmittel									
	Direkte Eigenschaften des Modells									
	Indirekte Eigenschaften des Modells									
	Intention des Modells									
	Technische Umsetzung									
	Umfang der Abbildung									
	Weitere Verwendung des Modells									
Original										
Modelltyp	Anwendbarkeit									
	Modellierungssprache									
	Verständlichkeit									
Involvierte Personen	Arbeitsgestaltung									
	Eigene Meinung über Tätigke									
	Persönlicher Hintergrund									
	Unternehmenskontext									
	Teamfähigkeit und Arbeitse									
	Wissen über das Original									
Gruppenaspekte	Gestaltung der Zusammenarbeit									
	Einbeziehung der Teilnehmer									
	Aufgabe der Teilnehmer									
	Emerging States									
Rahmenbedingungen	Ressourcen									
	Projekt									
Daten / Informationen	Eigenschaften von Daten / Informationen									
	Informationserfassung									
Zielerwartung										

Bild 7-5: Identifikation vorhandener Regeln anhand der Regel-Konzept-Zuordnungsmatrix

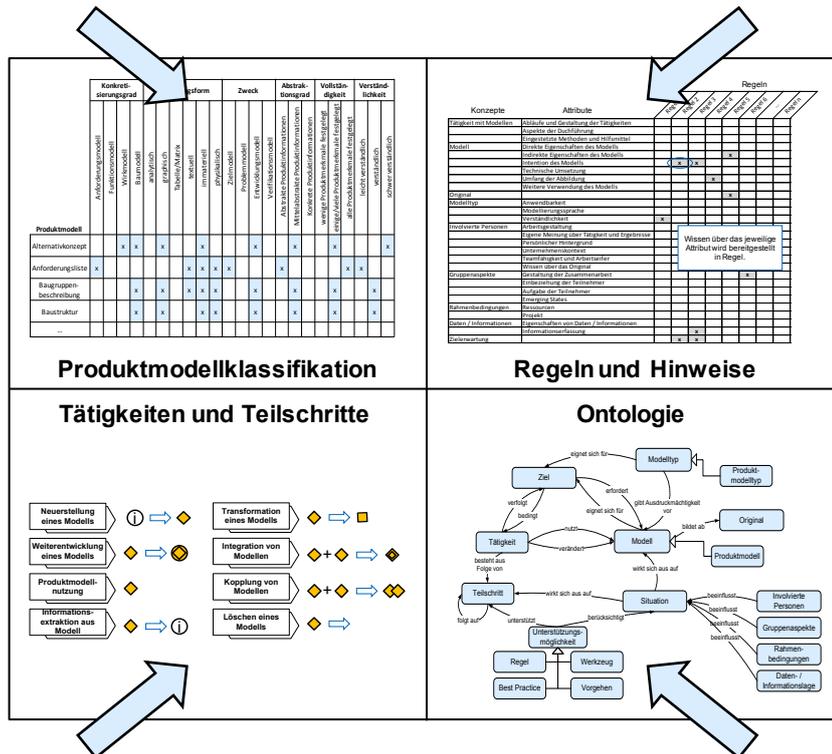
Besteht Bedarf nach konzeptuellem Wissen über die Produktmodelltypen, so kann direkt das Teil-Wissensmodell der Klassifikation von Produktmodelltypen genutzt werden, um dieses Wissen bereitzustellen. Ebenso kann das Teil-Wissensmodell der Tätigkeiten und Teilschritte dazu genutzt werden, den Bedarf nach prozeduralem Wissen über die einzelnen Tätigkeiten zu ermitteln.

### 7.2.3 Wissensakquise und Ergänzung der Wissensbasis

Ist das benötigte Wissen nicht in der Wissensbasis enthalten oder das enthaltene Wissen entsprechend des Abgleichs mit den Bedarfen nicht nutzbar, so müssen Quellen für dieses Wissen gefunden werden und das jeweilige Wissen in der Wissensbasis ergänzt werden. Für die Ergänzung von Wissen in der Wissensbasis und die Erweiterung der Wissensbasis bestehen unterschiedliche Möglichkeiten. Diese hängen davon ab, welcher Teil der Wissensbasis (Produktmodellklassifikation, Regeln und Hinweise, Tätigkeiten und Teilschritte oder Ontologie) ergänzt werden muss. Die folgende Abbildung (Bild 7-6) zeigt die vier Möglichkeiten in Abhängigkeit von dem Ort der Veränderung.

Ergänzung weiterer Produktmodelltypen und Zuordnung zu bestehenden Klassifikationsmerkmalen

Ergänzen weiterer Regeln und Hinweise zur Gestaltung der Arbeit mit Modellen



Detaillierung der Teilschritte bzw. Ergänzung von Tätigkeiten

Veränderungen an den Konzepten, Attributen und Relationen der Ontologie

Bild 7-6: Veränderungen und Erweiterungen der Ontologie

Generell kann unterschieden werden zwischen inhaltlichen Ergänzungen und strukturellen Änderungen. Inhaltliche Ergänzungen können aufwandsärmer durchgeführt werden als strukturelle Ergänzungen. Bei inhaltlichen Ergänzungen handelt es sich beispielsweise um das Hinzufügen eines weiteren Produktmodelltyps und das darauf folgende Zuordnen dieses Produktmodelltyps zu den Klassifizierungsmerkmalen. Eine Ergänzung um weitere Regeln bzw. Hinweise und eine Zuordnung zu bestehenden Konzepten der Ontologie stellt ebenfalls eine inhaltliche Ergänzung dar. Dabei müssen die jeweiligen neuen Regeln hinzugefügt werden und die Einträge in der Verknüpfungsmatrix ergänzt werden. Ebenfalls können bei Bedarf Änderungen an bestehenden Zuordnungen von Produktmodelltypen zu Klassifizierungsmerkmalen bzw. Regeln zu Konzepten durchgeführt werden. Dazu muss die entsprechende Zuordnung entfernt und an neuer Stelle eingefügt werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass jede Regel mindestens einem Konzept bzw. einem Teilschritt zugeordnet ist, da diese Regel sonst in der Nutzung der Wissensbasis nicht auffindbar ist.

Lässt sich eine Regel keinem Konzept bzw. keinem Teilschritt zuordnen, so kann dies auf einen existierenden Ergänzungsbedarf in den Teilschritten oder Konzepten hindeuten. Dies erfordert eine strukturelle Änderung an der Wissensbasis. In diesem Fall muss entweder an den Konzepten, Merkmalen der Konzepten oder Relationen der Ontologie etwas verändert werden oder Teilschritte ergänzt bzw. die Tätigkeiten erweitert werden. Bei der Änderung der Klassifizierungsmerkmale an sich handelt es sich ebenfalls um eine strukturelle Änderung. Diese zieht eine Anpassung der gesamten Produktmodellklassifikation nach sich, da alle bereits klassifizierten Produktmodelltypen neu klassifiziert werden müssen. Diese strukturellen Änderungen können bei Bedarf durchgeführt werden, erfordern allerdings eine Überarbeitung der Wissensdokumente und der Schnittstellen zu den einzelnen Teil-Wissensmodellen.

#### 7.2.4 Aufbereitung und Bereitstellung des Wissens

Das in der Wissensbasis für die jeweiligen Bedarfe nutzbare Wissen muss für die Nutzung geeignet aufbereitet und dem Anwender bereitgestellt werden. Dieser Schritt ist Teil der Aufgabe des Wissenssystem-Entwicklers und wie beschrieben nicht Fokus dieser Dissertation. Die Bereitstellung kann auf unterschiedliche Arten erfolgen, die sich im Aufwand und Ergebnis voneinander unterscheiden. Prinzipiell stehen alle in Kapitel 5.2 genannten Unterstützungsmaßnahmen von wissensintensiven Systemen bis zu einfachen textuellen Beschreibungen in Form von Anleitungen zur Verfügung. Die Art und Weise der Umsetzung wird bestimmt durch den Bedarf, die vorhandenen Ressourcen und den durch die Unterstützungsmaßnahme zu erreichenden Mehrwert. Eine rechnerbasierte Bereitstellung des Wissens erscheint angesichts der Vielzahl an Instanzen in den einzelnen Teil-Wissensmodellen angebracht. Wie die Implementierung erfolgt, hängt von dem jeweiligen Anwendungsfall sowie von unternehmensspezifischen Anforderungen und Randbedingungen ab. Bereits vorhandene IT-Systeme (z. B. PDM-Systeme, Wissensmanagementsysteme oder unternehmensinterne Wikipedia) können beispielsweise um das benötigte Wissen ergänzt werden. Auch eine Neuimplementierung kann gerechtfertigt sein, wenn der Nutzen dem damit verbundenen Aufwand gerecht wird.

Kern der Aufbereitung und Bereitstellung des Wissens ist die Unterstützung einer bestimmten Handlung mit Modellen. Bei dieser Unterstützung sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen. Es muss beispielsweise unterstützt werden, welche Teilschritte wann getätigt werden und welche Entscheidungen während den Tätigkeiten auftreten können. Es muss berücksichtigt werden, was an dem Modell verändert wird, welche Metainformationen generiert werden bzw. welche Informationen dokumentiert werden müssen. Die folgende Abbildung (Bild 7-7) zeigt unterschiedliche Möglichkeiten, wie eine Unterstützung der einzelnen Tätigkeiten konkret aussehen kann. Beispielsweise können Checklisten bzw. Vorlagen dazu dienen, die im jeweiligen Teilschritt erforderlichen Aspekte zu vermitteln. Auswahlfunctionalitäten dienen dazu, Alternativen entsprechend den jeweiligen Bedarfen auszuwählen. Anleitungen beschreiben, wie in einer bestimmten Tätigkeit vorgegangen wird. Sie können Regeln und Hinweise zur Gestaltung spezifischer Aspekte enthalten. Klassifikationen dienen in Ergänzung zu Auswahlfunctionalitäten zur Unterscheidung von Elementen einer Menge. Suchfunctionalitäten können dabei unterstützen, benötigte Elemente zu ermitteln. Die Bereitstellung der Produktmodelltypen-Klassifikation anhand einer Datenbank ist beispielsweise eine Möglichkeit, um das Wissen über die einzelnen Arten von Produktmodellen bereitzustellen. Auch können vorgegebene Abläufe dazu dienen, das prozedurale Wissen zu vermitteln. Durch die gezielte Abfrage von Metainformationen kann darüber hinaus Bewusstsein geschaffen werden, welche Informationen generiert werden müssen. Dadurch können Abläufe ebenfalls koordiniert werden. Wird beispielsweise bei der Planung des Modells der Modellzweck explizit als Metainformation abgefragt, so werden die beteiligten Personen dazu angeregt, diesen zu definieren.

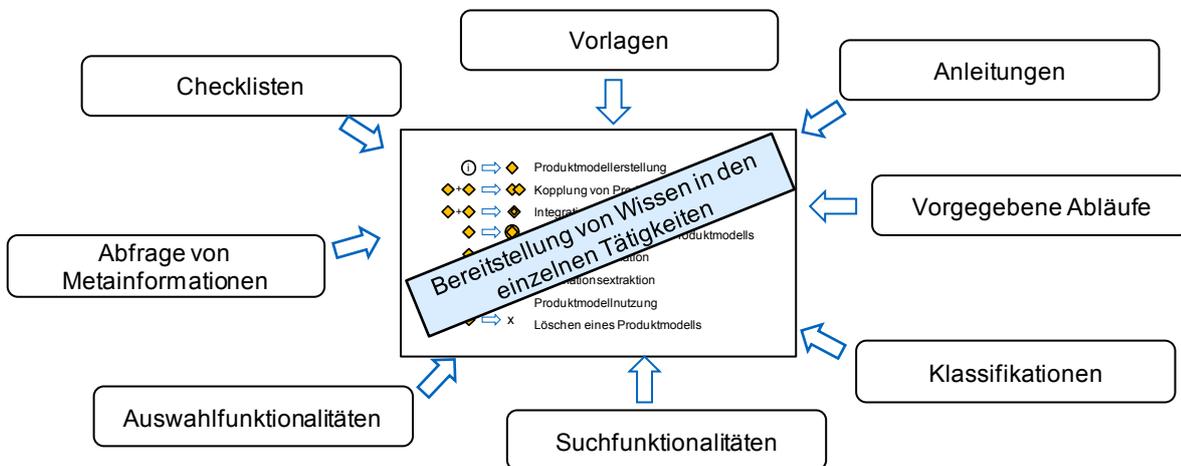


Bild 7-7: Möglichkeiten der Bereitstellung des Wissens

Für die erfolgreiche Nutzung des bereitgestellten Wissens ist abschließend in diesem Schritt eine Anleitung zu erstellen. Darin muss beschrieben sein, wie mit dem entwickelten Werkzeug, bzw. den Methoden gearbeitet wird.

### 7.2.5 Nutzung des Wissens, Monitoring und geeignetes Nachsteuern

Das aufbereitete Wissen wird durch die im vorigen Schritt entwickelten Unterstützungsmaßnahmen für die Anwendung nutzbar gemacht. Da deren Umsetzung stark vom einzelnen Anwendungsfall abhängt, werden an dieser Stelle nur allgemeine Aspekte der Anwendung von Werkzeugen und Methoden zur Nutzung des Wissens diskutiert.

Ein wesentlicher allgemeingültiger Aspekt für die erfolgreiche Anwendung von Werkzeugen und Methoden ist eine geeignete Einführung und Unterweisung. Den Nutzern des Wissens muss entsprechend den von ihnen formulierten Bedarfen eine anwendbare Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen an die Hand gegeben und erklärt werden.

Generelle Aspekte der Nutzung von Wissen müssen ebenso berücksichtigt werden. Handelt es sich bei dem Wissen um „fremdes Wissen“, so muss abgesichert werden, dass es im jeweiligen Anwendungsfall auch tatsächlich Mehrwert bringt und gewinnbringend eingesetzt wird. Die Akzeptanz des Wissens muss überprüft werden und der Mehrwert der Nutzung des Wissens laufend evaluiert werden. Während der Nutzung muss der Effekt der jeweiligen Unterstützungsmaßnahmen und der Bereitstellung des Wissens bewertet werden. Sind Verbesserungspotentiale erkennbar, so muss geeignet nachgesteuert werden. Ebenfalls wird das bereitgestellte Wissen hinsichtlich seiner Nutzbarkeit bewertet. Die Regeln und Hinweise werden reflektiert und gegebenenfalls angepasst (siehe nächster Schritt). Auch die Zuordnung von Regeln und Hinweisen zu den einzelnen Konzepten der Ontologie und den Tätigkeiten kann in diesem Zuge überarbeitet werden.

Als Hilfestellung zur Bewertung der Nutzung des durch die Wissensbasis bereitgestellten Wissens wird eine Fragen-Checkliste bereitgestellt (siehe Bild 7-8). Die Fragen orientieren sich an den in ISO/IEC 9126 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2001) bereitgestellten Faktoren zur Evaluation von Softwareprodukten und berücksichtigen die in Kapitel 5.5 beschriebenen Kriterien zur Erstellung von qualitativ hochwertigen wissensintensiven Systemen. Die einzelnen Fragen sind thematisch gruppiert anhand der Aspekte „Speicherung des Wissens in der Wissensbasis“, „Durchführung des Projektes“, „Bereitstellung des Wissens“, „technische Aspekte“, „nutzerorientierte Aspekte“ und „funktionale Aspekte“. Diese Fragen-Checkliste kann als Ausgangspunkt für die konkrete Bewertung der jeweiligen Unterstützungsmaßnahme bezüglich der Bereitstellung von Wissen genutzt werden. Gegebenenfalls können abhängig von der Art der Umsetzung einzelne Fragen angepasst, erweitert oder weggelassen werden.

Durch die Nutzung der Wissensbasis und die Bewertung der Nutzung können Bedarfe für eine Überarbeitung bzw. Ergänzung der Wissensbasis auftreten. Diese können auch durch sich ändernde Randbedingungen oder Fehler in der Wissensbasis verursacht werden. Ebenfalls können bei der Durchführung von Arbeiten mit Produktmodellen neue Erkenntnisse gewonnen werden, die einen Mehrwert für folgende Projekte bieten. Beide Fälle erfordern eine Überarbeitung bzw. Ergänzung der Wissensbasis entsprechend des in Teilschritt 3 beschriebenen Vorgehens. So kann sichergestellt werden, dass die Wissensbasis aktuell bleibt und für nachfolgende Wissensbedarfe ein aktueller und anwendbarer Wissensfundus zur Verfügung steht.

**Checkliste mit Fragen zur Bewertung des Einsatzes der Wissensbasis und der Unterstützungsmaßnahmen**

<b>Speicherung des Wissens in der Wissensbasis</b>	
Ist der Zweck der Wissensbasis verständlich?	
Ist das Wissen korrekt gespeichert?	
Ist das Wissen für den jeweiligen Anwendungsfall vollständig gespeichert?	
Ist das für den jeweiligen Anwendungsfall relevante Wissen gespeichert?	
Muss die Wissensbasis um zusätzliches Wissen erweitert werden?	
Ist das Wissen strukturiert gespeichert?	
<b>Durchführung des Projektes</b>	
Ist das Projekt zur Bereitstellung des Wissens effizient gestaltet?	
Wurden vorhandene Ressourcen bestmöglich genutzt?	
Beeinflusst das Projekt das Tagesgeschäft übertrieben?	
Wird zu viel Zeit der Experten beansprucht?	
Besitzt der Knowledge Engineer die für das Projekt geeigneten Fähigkeiten und Kompetenzen?	
<b>Bereitstellung des Wissens</b>	
Ist das Wissen bei Bedarf verfügbar?	
Eignen sich die Funktionen für die spezifizierten Aufgaben?	
Liefert die Lösung die richtigen bzw. erwarteten Resultate hinsichtlich benötigtem Wissen?	
<b>Technische Aspekte</b>	
Interoperabilität: Erfolgt eine vorhandene Interaktion mit anderen Systemen problemfrei?	
Ist das Ergebnis skalierbar bzw. das Wissen erweiterbar?	
Wartbarkeit und Änderbarkeit: Welchen Aufwand erfordert die Durchführung von gegebenenfalls erforderlichen Änderungen bzw. Anpassungen an der Lösung?	
Übertragbarkeit: Wie leicht kann die Lösung auf eine andere Umgebung übertragen bzw. in anderen Rahmenbedingungen angewendet werden?	
Kann die Lösung an bestehende Wissensmanagementsysteme / Datenbanken / PDM-Systeme gekoppelt werden?	
<b>Nutzerorientierte Aspekte</b>	
Verständlichkeit: Sind das Konzept der Lösung bzw. der Software und deren Anwendung verständlich?	
Bedienbarkeit: Wie hoch ist der Aufwand für den Benutzer die Anwendung zu bedienen?	
Berücksichtigt die Maßnahme die individuellen Eigenschaften der Nutzer?	
Aufgabenangemessenheit: Unterstützt die Lösung den Nutzer dabei, die Aufgabe mit vertretbarem Aufwand durchzuführen?	
Zuverlässigkeit: Kann die Lösung über einen bestimmten Zeitraum hinweg konstant Unterstützung bieten oder nimmt der Effekt über die Zeit hinweg zu bzw. ab?	
Selbstbeschreibungsfähigkeit: Mit welchem Aufwand ist die Lösung durch den Benutzer auch ohne umfangreiche Schulungsmaßnahmen anzuwenden?	
Konformität: Erfüllt die Software die Erwartungen der Benutzer, die aus anderen, bekannten Anwendungen (z.B. PDM Systeme, Modellierungswerkzeuge, Google, etc.) bekannt sind?	
<b>Funktionale Aspekte</b>	
Bietet das Ergebnis Mehrwert im Vergleich zu bestehenden Möglichkeiten? Wie attraktiv ist die Lösung?	
Ergänzen sich die Teilfunktionen sinnvoll zur Hauptfunktion?	
Treten Fehler bei der Anwendung der Lösung auf?	
Sind überflüssige Funktionen enthalten / umgesetzt?	
Sicherheit: Ist die Lösung gegen unberechtigten Zugriff (sowohl versehentlich als auch vorsätzlich) geschützt?	
Erfüllt die Lösung anwendungsspezifische Normen, Vereinbarungen, gesetzliche Bestimmungen und ähnliche Vorschriften?	

Bild 7-8 Fragen-Checkliste zur Bewertung der Lösung und deren Anwendung

## 7.3 Einsatz der Wissensbasis

Das vorige Kapitel hat das generelle Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis und die nachgelagerten Schritte aufgezeigt. Dieses Kapitel beschreibt die Anwendung der beschriebenen Schritte des Vorgehens für einen Anwendungsfall und diskutiert daran die Einsatzmöglichkeit der Wissensbasis. Die Anwendung der Wissensbasis wird am Beispiel der Bereitstellung eines Assistentensystems zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen aufgezeigt. Als Anwendungsfall dient ein exemplarisches Entwicklungsprojekt im Umfeld der Automobilindustrie. Dieses Beispiel wird gewählt, weil darin viele der in den einzelnen Teil-Wissensmodellen der Wissensbasis enthaltenen Aspekte zur Geltung kommen. Das Assistentensystem nutzt die in der Wissensbasis enthaltenen Tätigkeiten und Teilschritte und macht sie durch geeignete Implementierung in einem Software-Prototypen verfügbar. Das Assistentensystem führt durch die einzelnen Teilschritte und stellt die zugeordneten Wissensartefakte wie beispielsweise Regeln und Hinweise bereit. Die in einem Assistentensystem bereitgestellte Assistenz kann von Unterstützung bei der Zielfindung eines Problems, Hilfe bei der Wahrnehmung eines Problems, Erleichterung der Informationsaufnahme, Unterstützung beim Treffen von Entscheidungen, Ausführung von Handlungen bis hin zur Reflexion von Tätigkeiten reichen (WANDKE 2005). In der vorliegenden Anwendung hilft das Assistentensystem, indem es eine Zugriffsmöglichkeit auf Teilaspekte des in der Wissensbasis enthaltenen Wissens darstellt und bei den einzelnen Teilschritten in der Arbeit mit Produktmodellen unterstützt. In den folgenden Unterkapiteln wird dieses Entwicklungsprojekt zunächst kurz beschrieben und daraufhin die Nutzung der Wissensbasis zur Bereitstellung des für den jeweiligen Anwendungsfall erforderlichen Wissens aufgezeigt und diskutiert.

### 7.3.1 Anwendungsbeispiel

Die Verwendung des Assistentensystems wird anhand dessen Nutzung in einem Anwendungsfall aus der Automobilindustrie veranschaulicht (KOHN et al. 2013a). Als Betrachtungsgegenstand dient eine Entwicklungsabteilung im Bereich der Vorentwicklung bei BMW Motorrad. Die Abteilung weist eine Größe von ca. 15 Personen auf, von denen etwa die Hälfte an Entwicklungsvorgängen direkt beteiligt ist. Als mechatronisches Anwendungsbeispiel dient ein Entwicklungsprojekt für eine Rangierhilfe eines Motorrads. Eine Rückfahrlilfe wird vorrangig bei Motorrädern mit einem Fahrzeugleergewicht von über 300 kg eingesetzt. Ab diesem Gewicht ist das Rangieren des Motorrads rein mit Muskelkraft nicht mehr sicher durchführbar. Vor allem bei abschüssigen Stellplätzen, Hindernissen wie beispielsweise Schwellen oder weichem Untergrund sind Rückfahrliften erforderlich. Die folgende Abbildung (Bild 7-9) zeigt die Ausgangssituation, die adressierte Problemstellung und die in diesem Projekt durchgeführten Teilschritte zur Lösung der Problemstellung.



Bild 7-9: Problemstellung und im Projekt durchgeführte Teilschritte

Die technische Problemstellung des Entwicklungsprojektes ergibt sich aus dem Bedarf der Weiterentwicklung des bestehenden Konzepts der Rückfahrlilfe. Bislang wird der 6. Gang als Rückwärtsgang umfunktioniert. Dies soll in zukünftigen Motorradgenerationen anders realisiert werden und alternative technische Möglichkeiten entwickelt werden. Die im Entwicklungsprojekt durchgeführten Schritte orientieren sich an der Entwicklungsmethodik nach VDI 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993) und dem Prozessmodell nach (MEERKAMM et al. 2009). Ausgehend von der Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung werden Funktionen und deren Struktur ermittelt. Daraufhin erfolgt die Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen. Das Gesamtkonzept wird entwickelt und das System gestaltet. Zuletzt erfolgen der Produktionsanlauf und die Betreuung der Produktion. Als Ergebnis des Entwicklungsprojektes entsteht ein physischer Prototyp, der in einem nächsten Schritt hinsichtlich Funktionserfüllung beurteilt wird. Aus Gründen der Geheimhaltung werden in dieser Dissertation keine technischen Details über das entwickelte Konzept genannt.

Im Folgenden wird das beschriebene Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis an diesem Anwendungsbeispiel beschrieben und das entwickelte Assistentensystem hinsichtlich seiner Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen bewertet.

### 7.3.2 Klärung des Wissensbedarfs

Für die Klärung des Bedarfs nach Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen wird entsprechend der Fragen-Checkliste zur Bedarfsklärung (siehe Bild 7-4 in Kapitel 7.2.1) vorgegangen. Auf Grund der verfügbaren Zeit wurde ein zweistufiges Verfahren angewendet. Zunächst wurde ein Entwickler ein halbes Jahr bei seiner Arbeit begleitet. Hierbei wurden alle Situationen der Modellnutzung reflektiert und hinsichtlich Verbesserungsbedarfs analysiert. Die Reflexion erfolgte anhand einer Reflexionsliste zur Ermittlung der Wissensbedarfe in der die Erkenntnisse schriftlich dokumentiert wurden (siehe Bild 7-10). Im Vergleich zu den im allgemeinen Vorgehen vorformulierten Fragen sind die Fragen in diesem Anwendungsfall derart abgeändert, dass nicht spezifisch nach Wissensbedarf gefragt wurde, sondern allgemein nach Verbesserungsbedarfen bei einzelnen Tätigkeiten. Dieses Vorgehen wurde gewählt, weil neben den konkreten Wissensbedarfen auch weitere Verbesserungsbedarfe identifiziert werden sollten.

### Reflexion einer Modellierungssituation und Ermittlung von Wissensbedarfen

Dieses Dokument dient als Checkliste für die Reflexion einer Modellierungssituation anhand wesentlicher Aspekte der Arbeit mit Modellen. Die Reflexion kann laufend ergänzt werden und soll spätestens nach Beendigung der Modellierungssituation abgeschlossen werden.

<b>Allgemeine Angaben</b>	
Name des Modells	
Ersteller des Modells / der Dokumentation	
Beginn der Modellierung (Datum)	
Fertigstellung Modell (Datum)	
<b>1) Involvierte Personen und Teamaspekte</b>	
Welche Personen waren an der Modellierungssituation beteiligt?	
Wie hat die Zusammenarbeit, persönliche Einstellung, Motivation, Vorurteile, etc. die Modellierungssituation beeinflusst?	
Welche Vorkenntnisse in der spezifischen Modellierungstechnik waren vorhanden?	
Wie viel Wissen hatten die Personen über das zu modellierende System? Gab es hierbei Schwierigkeiten?	
Welche Rollen hatten die Personen bei der Modellierung inne?	
Wie haben sich die Rollen auf die Modellierung ausgewirkt?	
<b>2) Modellierung / Abläufe</b>	
Wie wurde bei der Modellierung vorgegangen? Welche Teilschritte wurden durchlaufen?	
Welche Aspekte sind bei der Dokumentation aufgefallen?	
Ist bei der Formulierung des Modellzwecks etwas unklar geblieben? Gab es hierbei Probleme?	
Welche generellen Aspekte sind bei der Modellierung aufgefallen?	
Welche Aspekte sind bei der Absicherung der Modellqualität aufgefallen?	
Welche Aspekte sind bei der Nutzung des Modells aufgefallen?	
<b>3) Verfügbare Mittel und Rahmenbedingungen</b>	
War für bestimmte Aspekte zu wenig Budget eingeplant?	
Waren die Räumlichkeiten passend bzw. ungenügend (z. B. bei Teammeetings)?	
Welcher Zeitrahmen wurde für die Modellierung vorgesehen?	
Gab es terminliche Probleme bzw. Verzögerungen. Konnte die für die Modellierung vorgesehene Zeit eingehalten werden?	
Welche Werkzeuge / Hilfsmittel wurden für die Modellierung benutzt, gab es hierbei Probleme bzw. positive Erfahrungen?	
<b>4) Informationsfluss</b>	
Wie wurden die für die Modellierung erforderlichen Informationen geschaffen und welche Hilfsmittel wurden dabei genutzt?	
Welches Medium wurde primär für die Informationsbeschaffung genutzt?	
Waren die benötigten Informationen vorhanden? Traten bei der Informationsbeschaffung positive/negative Aspekte auf?	
<b>5) Ergebnis</b>	
War das Modell zu detailliert, zu komplex, passend?	
Würden Sie das Modell zukünftig wieder verwenden?	
<b>6) Sonstiges</b>	
Sind weitere Aspekte aufgefallen, die in den bisherigen Fragen nicht abgedeckt sind?	

Bild 7-10: Reflexionsliste zur Klärung des Bedarfes für Unterstützung bei der Arbeit mit Modellen

Im Projekt wurden in insgesamt sieben Reflexionslisten die Arbeit mit den verwendeten Produktmodellen (Anforderungsliste, morphologischer Kasten, Simulationsmodell Kräfte und Momente, CAD-Modell, Stückliste, technische Zeichnung und Prototypenbauteil) reflektiert und daran Verbesserungsbedarf für die Arbeit mit Produktmodellen in der Abteilung identifiziert. Die Frage-Checkliste zur Bedarfsklärung diente als Grundlage für die Reflexion der Arbeit mit Produktmodellen und zur darauf folgenden Identifikation des benötigten Wissens durch den Produktentwickler.

Die durch diese Beobachtung gewonnenen und anhand der Reflexionslisten dokumentierten Erkenntnisse wurden in einem folgenden Schritt mit den anderen Mitarbeitern der Abteilung diskutiert und gegebenenfalls ergänzt. Insgesamt wurden 7 Mitarbeiter der Abteilung befragt. Dabei handelt es sich um 4 Fahrzeugarchitekturspezialisten, 2 Konstrukteure und einen Teilprojektleiter mit zwischen 3 und 15 Jahren Berufserfahrung. In den Interviews wurde die Bedeutung von Produktmodellen in der Abteilung ermittelt und generelle Probleme bei der Arbeit mit Produktmodellen in Ergänzung zu den anhand der Reflexionsbögen erfassten Verbesserungsbedarfen identifiziert.

Das Ergebnis der zweistufigen Bedarfsanalyse zeigt folgende Abbildung (Bild 7-11). Darin ist der Wissensbedarf aufgeschlüsselt nach den einzelnen Konzepten der Ontologie dargestellt. Die Wissensbedarfsanalyse zeigt, dass einzelne Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen Unterstützungsbedarf aufweisen. In diesem Anwendungsfall betrifft dies die Tätigkeiten Modellerstellung, Modellnutzung und Informationsextraktion. Darüber hinaus ist sowohl bei übergreifenden Aspekten der Arbeit mit Produktmodellen (wie beispielsweise bezüglich der Definition des Produktmodellbegriffs) Wissensbedarf vorhanden. Ebenfalls besteht Unterstützungsbedarf bei der Arbeit mit den Modellen an sich, der Handhabung von unterschiedlichen Produktmodelltypen, Gruppenaspekten und der Daten- und Informationslage. Diese Wissensbedarfe werden im nächsten Schritt durch Bereitstellung von nutzbarem Wissen aus der Wissensbasis gedeckt.

Relevanter Teilaspekt und Frage nach Bedarf	Aktuelles Problem bzw. Einschränkungen	Identifizierter Wissensbedarf
<b>1) Übergreifend</b>		
Ist Wissen über die Bedeutung der einzelnen Konzepte bzw. Relationen der Ontologie erforderlich?	Der Begriff "Produktmodell" ist den Mitarbeitern der Abteilung nicht geläufig. Dieser "abstrakte Begriff" wird im Alltag bislang nicht genutzt.	Es ist Wissen über den Begriff des Produktmodells erforderlich.
<b>2) Modell</b>		
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Bestandteile in einem Produktmodell sind?	Der Aufwand zur Erstellung von Produktmodellen wird aktuell als sehr hoch bewertet.	Es ist Wissen darüber erforderlich, wie die einzelnen Aspekte eines Modells ausdetailliert werden.
Ist Wissen darüber erforderlich, was bei der Durchführung der Aufgabe jeweils dokumentiert werden soll?	Der Aufwand für die Dokumentation von Produktmodellen wird aktuell als sehr hoch bewertet.	Es ist Wissen darüber erforderlich, welche Aspekte dokumentiert werden müssen.
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit den indirekten Eigenschaften eines Modells umgegangen wird?	Die Absicherung der Qualität von Modellen wird als wichtig eingeschätzt.	Es ist Wissen darüber erforderlich, wie die Qualitätssicherung von Modellen gestaltet wird.
Ist Wissen darüber erforderlich, wie detailliert der Umfang der Abbildung sein muss?	Die Modellqualität ist stark abhängig von den verwendeten Parametern und getroffenen Annahmen.	Es ist Wissen über die gezielte Auswahl und Festlegung der Parameter erforderlich.
<b>4) Zielerwartung</b>		
Ist Wissen darüber erforderlich, wie die Ziele bzw. die Absichten der geplanten Tätigkeit beschrieben werden?	Um die Dokumentation von Modellen zu verbessern, soll die Zielformulierung bzw. die Formulierung des Zwecks des Modells klar erfolgen.	Es ist Wissen über die Formulierung des Zwecks eines Modells erforderlich.
<b>5) Produktmodelltyp</b>		
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Produktmodelltypen vorhanden sind?	Es werden in der Abteilung unterschiedliche Produktmodelltypen genutzt.	Es ist Wissen über vorhandene Produktmodelltypen erforderlich.
Ist Wissen darüber erforderlich, wie sich diese Produktmodelltypen unterscheiden?	Die Auswahl von Produktmodelltypen erfolgt meist entsprechend Unternehmensstandards. Allerdings können auch andere Produktmodelltypen sinnvoll genutzt werden.	Es ist Wissen über die Unterschiedlichkeiten von Produktmodelltypen erforderlich und soll bei der Tätigkeit der Modellerstellung bereitgestellt werden.
<b>6) Tätigkeiten</b>		
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Tätigkeiten bei der Arbeit mit Modellen für diese Aufgabe direkt bzw. indirekt relevant sind?	Vorrangig besteht in der Abteilung Wissensbedarf bezüglich der Tätigkeiten "Modellerstellung", "Modellnutzung" und "Informationsextraktion".	Es ist Wissen über die Ausgestaltung der jeweiligen Tätigkeiten inklusive der Teilschritte erforderlich.
Ist Wissen darüber erforderlich, wie die Tätigkeiten gestaltet werden müssen?	Der hohe Aufwand bezüglich Dokumentation bzw. der Erstellung von Produktmodellen wird als Problem genannt.	Es ist Wissen darüber erforderlich, wie die Erstellung und Dokumentation von Produktmodellen durchzuführen ist.
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Aspekte bei der Durchführung der einzelnen Teilschritte berücksichtigt werden müssen?	Es ist nicht immer bekannt, welche Version eines Produktmodells die aktuellste Version ist.	Es ist Wissen darüber erforderlich, wie existierende Produktmodelle besser genutzt werden und wie Produktmodelle so erstellt werden, dass sie später besser genutzt werden können.
<b>9) Situation: Gruppenaspekte</b>		
Ist Wissen über die Einbeziehung der Teilnehmer erforderlich?	Unterschiedliche Personen sind an der Erstellung von Modellen beteiligt.	Es ist Wissen darüber erforderlich, wie die einzelnen Mitarbeiter auf die Arbeit mit dem Modell einwirken.
<b>11) Situation: Daten- / Informationslage</b>		
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit benötigten, vorhandenen und generierten Daten bzw. Informationen umgegangen werden soll?	Die Nutzung von vorhandenen Informationen / Daten ist in der Abteilung wichtig. Aktuell können vorhandenen Informationen / Daten nur mit hohem Zeitaufwand genutzt werden.	Es ist Wissen über die Nutzbarmachung von vorhandenen Informationen erforderlich.

Bild 7-11: Ergebnis der Wissensbedarfsanalyse (nur diejenigen Konzepte, für die Wissensbedarf besteht, sind aufgeführt)

### 7.3.3 Auffinden des enthaltenen Wissens

Entsprechend des formulierten Bedarfs kann das in der Wissensbasis hierfür nutzbare Wissen identifiziert werden. Die Tätigkeiten Neuerstellung eines Produktmodells, Informationsextraktion und Modellnutzung wurden als Ausgangspunkt für die Unterstützung gewählt. Für die Deckung des identifizierten Bedarfs nach Dokumentation des Vorgehens werden die Wissensdokumente der einzelnen Konzepte genutzt. Die in den Wissensdokumenten definierten Attribute der Konzepte werden dabei als Ausgangsbasis für eine Dokumentation der während der Modellierung durchgeführten Schritte verwendet. Eigenschaften wie Modellersteller, Modellzweck, Vorgehen zur Modellerstellung, etc. können somit bei der Erstellung von Modellen dokumentiert werden, um eine Beschreibung und Nachvollziehbarkeit der erstellten Modelle zu ermöglichen.

Das in der Wissensbasis enthaltene Wissen zu den formulierten Bedarfen wird hinsichtlich seines zu erwartenden Nutzens bewertet. Falls das Wissen nicht ausreichend erscheint, so kann es erweitert, angepasst bzw. detailliert werden. In diesem Fall werden die formulierten Teilschritte wie in den Tätigkeiten beschrieben übernommen. In diesem Anwendungsfall wurden keine weiteren Regeln bzw. Hinweise integriert und es wurde mit den vorhandenen Regeln gearbeitet. Als Ergebnis für das identifizierte bereitzustellende Wissen ergibt sich folgender Ausschnitt des in der Wissensbasis enthaltenen Wissens.

Aspekt der Wissensbasis	Benötigtes und bereitgestelltes Wissen
Tätigkeiten und Teilschritte	3 Tätigkeiten mit dazugehörigen Teilschritten Teilschritte der Tätigkeit „Modellneuerstellung“ Teilschritte der Tätigkeit „Informationsextraktion“ Teilschritte der Tätigkeit „Modellnutzung“
Attribute des Konzepts Produktmodell	Nutzung der Attribute des Konzepts „Modell“ um Modelldokumentation zu erleichtern.
Produktmodelltypen	Nutzung der vorhandenen Produktmodelltypen, deren Beschreibung und Klassifikation.

Bild 7-12: Übersicht benötigten Wissens für diesen Anwendungsfall

### 7.3.4 Aufbereitung und Bereitstellung des Wissens

Die Aufbereitung und Bereitstellung des Wissens beinhaltet die Nutzbarmachung des als relevant betrachteten Wissens für die Anwender. Im Anwendungsfall wird von einer Kopplung an bestehende IT-Systeme der Abteilung abgesehen, da der damit verbundene Aufwand zu hoch erscheint. Vielmehr soll zunächst der Mehrwert der Bereitstellung des Wissens an einem aufwandsarm zu realisierenden Software-Prototypen gezeigt werden. Als Ergebnis dieses Schrittes entsteht ein Prototyp für ein Assistentensystem zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen. In diesem Assistentensystem ist das benötigte Wissen derart aufbereitet, dass es durch den Entwickler genutzt werden kann. Das Assistentensystem und dessen Implementierung sind im Detail in KOHN et al. 2013a und PRODUKTENTWICKLUNG 2013c beschrieben. Daran orientiert sich auch die folgende Beschreibung der Ergebnisse.

Bei dem Softwareprototyp handelt es sich um ein Assistentensystem mit workflowbasiertem Ansatz, in dem der Anwender durch die einzelnen Teilschritte der Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen geführt wird. In den Teilschritten wird das für die Bearbeitung erforderliche Wissen aufbereitet und vermittelt. Der Softwareprototyp wird auf Grund der Verfügbarkeit und einfachen Möglichkeit zur Integrierung in bestehende MS Office-Systeme in der Programmiersprache Visual Basic 2010 (VisualBasic.Net) programmiert. Die Software besteht aus einer Datenbasis (relationale Datenbank) welche die in den Teilschritten benötigten und generierten Informationen enthält. In der folgenden Abbildung (Bild 7-13) ist eine Übersicht über den konzeptionellen Aufbau des Software-Prototypen gegeben.

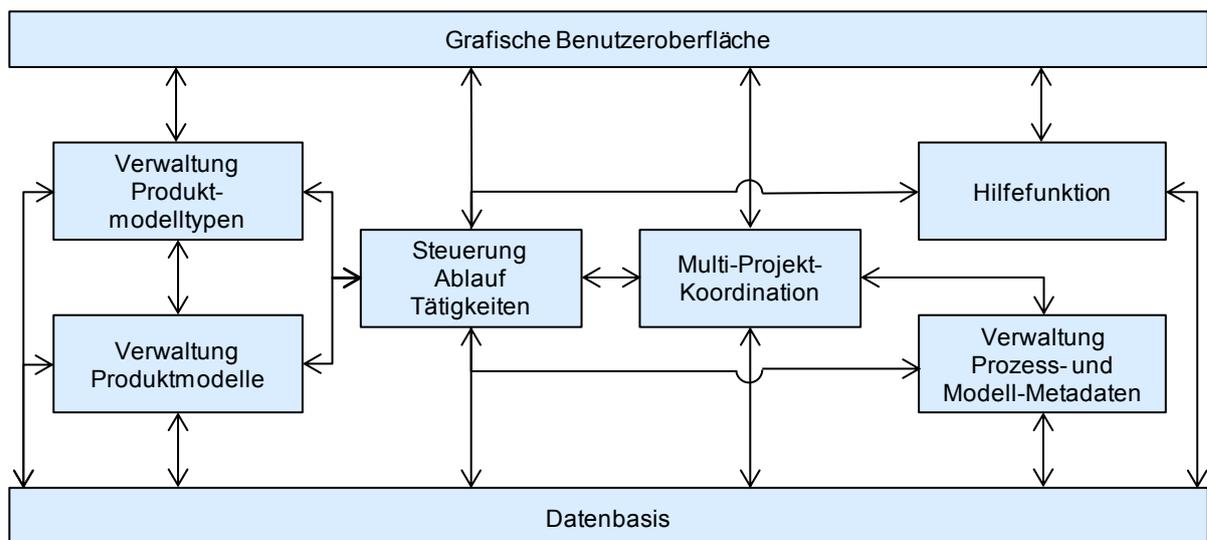


Bild 7-13: Konzeptioneller Aufbau des Software-Prototypen

Der Softwareprototyp besteht aus einzelnen Funktionsmodulen. Eine graphische Benutzeroberfläche dient der Interaktion zwischen Benutzer und System. Eine Datenbasis enthält die einzelnen Wissensbestandteile und ermöglicht das Speichern von entstehenden Informationen. Sechs Funktionsmodule stellen die für die Verbindung von Datenbasis und Nutzer erforderlichen Funktionalitäten zu Verfügung. Eine Verwaltung der Produktmodelltypen ermöglicht die Suche und Auswahl von in der Produktmodelltyp-Klassifikation enthaltenen Produktmodelltypen. In den einzelnen Tätigkeiten entstehende Produktmodelle und zugehörige Informationen werden durch das Modul „Verwaltung Produktmodelle“ verwaltet. Ein zentrales Modul stellt die Steuerung der Abläufe der Tätigkeiten sicher. Die einzelnen Teilschritte der Tätigkeiten werden entsprechend ihres zeitlichen Ablaufs gezielt angesteuert. Die in jedem Schritt zu generierenden Informationen werden abgefragt und Hinweise zur Durchführung gegeben. Mit diesem Software-Prototypen können mehrere Modellierungsprojekte, d. h. Tätigkeiten bei der Arbeit mit Modellen, parallel ausgeführt werden. Dies wird durch das Modul „Multi-Projekt-Koordination“ ermöglicht. Hilfefunktionen stellen die in den einzelnen Schritten vorhandenen Regeln bereit und führen durch die Schritte. Darüber hinaus werden die in den Tätigkeiten generierten Informationen in der Verwaltung der Prozess- und Metadaten gesammelt und können als Tätigkeits-Report zu Dokumentationszwecken extrahiert werden.

Der Prototyp führt durch die einzelnen Tätigkeiten und stellt abhängig von den jeweiligen Teilschritten Unterstützung zur Verfügung. Die folgende Abbildung (Bild 7-14) zeigt das Start-Fenster des Prototyps. Darin können die drei umgesetzten Tätigkeiten ausgewählt werden. Daraufhin führt das Assistentensystem durch die jeweiligen Teilschritte der Tätigkeiten.

**A: Auswahl der zu unterstützenden Tätigkeit**

**B: Bearbeitung der Tätigkeit entsprechend Vorgaben**

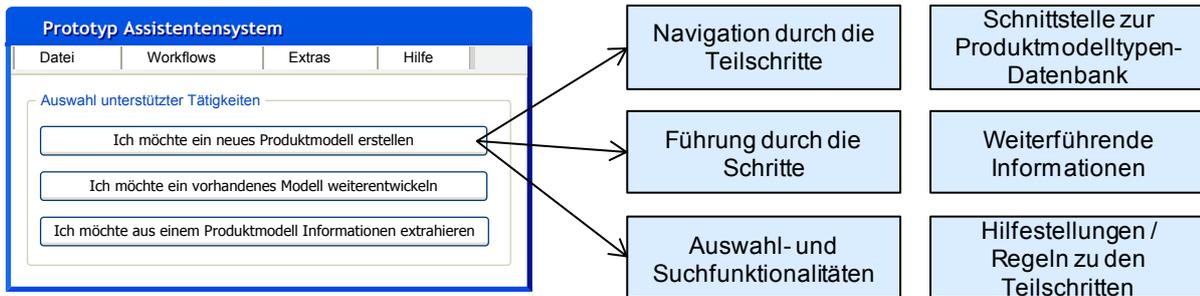


Bild 7-14: Startdialog des Assistentensystems und Funktionalitäten

Zur Veranschaulichung der Umsetzung der Unterstützung zeigt folgende Abbildung (Bild 7-15) einen Screenshot des Prototypen im Teilschritt „Produktmodelltyp auswählen“ der Tätigkeit „Neuerstellung eines Modells“. Darin sind die einzelnen Unterstützungsmaßnahmen auf der Benutzeroberfläche angezeigt.

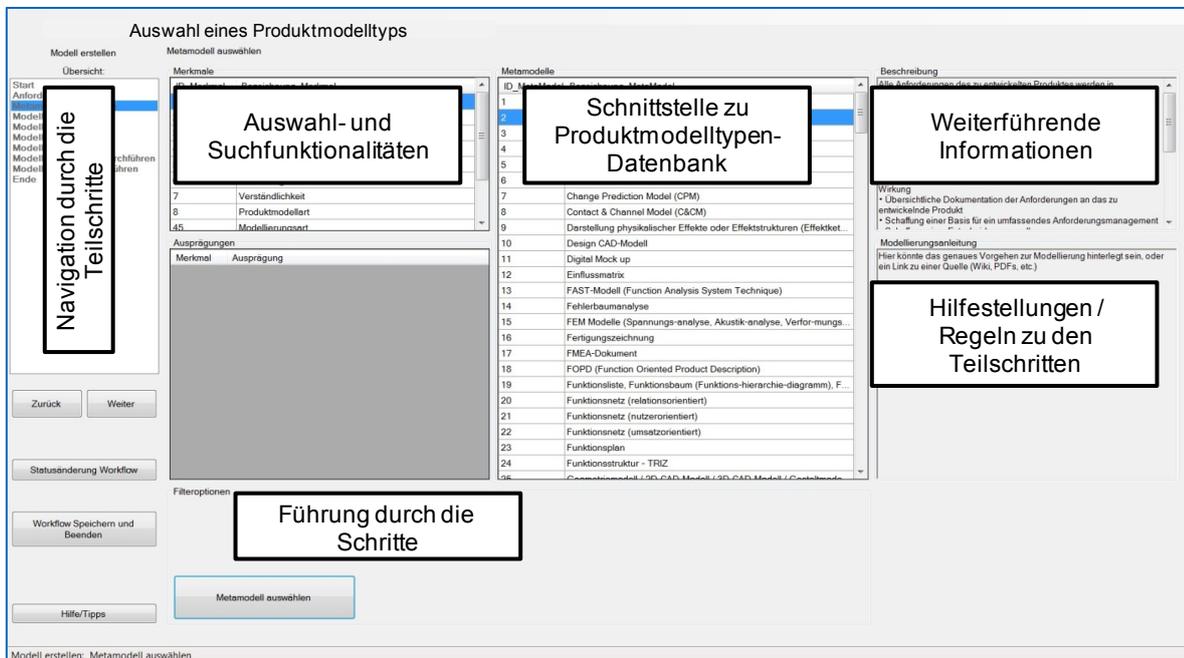


Bild 7-15: Screenshot Assistentensystem zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen

In dem Prototypen erfolgt eine Navigation durch die einzelnen Teilschritte mit Abfrage der in den einzelnen Teilschritten erforderlichen Informationen und Bereitstellung des vorhandenen

Wissens. In dem in Bild 7-15 dargestellten Schritt wird beispielsweise durch die Bereitstellung der Schnittstelle zur Produktmodelltypen-Datenbank eine Auswahl des für den jeweiligen Anwendungsfall passenden Produktmodelltyps ermöglicht. Zu den einzelnen Produktmodellen werden darüber hinaus Hinweise auf weiterführende Informationen gegeben und Hilfestellungen bzw. Regeln können zu den einzelnen Teilschritten vermittelt werden.

### 7.3.5 Anwendung und Bewertung des Assistentensystems

Anhand der in Kapitel 7.2.5 beschriebenen Fragen-Checkliste zur Bewertung der Unterstützungsmaßnahme kann der Prototyp getestet werden. Diese Bewertung fokussiert die anwendungsspezifische Unterstützung durch das entwickelte Assistentensystem in dem Anwendungsbeispiel. Die übergreifende Evaluation des gesamten Lösungsansatzes erfolgt in dem folgenden Kapitel.

Im vorliegenden Anwendungsfall durchläuft der Entwickler die aktuell implementierten Teilschritte der Tätigkeiten und bewertet die jeweiligen Funktionalitäten entsprechend der Fragen-Checkliste. Da das Projekt zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Prototypen bereits weitgehend abgeschlossen war, lag der Fokus der durchgeführten Evaluation auf der Bewertung des zugrunde liegenden Konzepts zur Unterstützung und der bereitgestellten Wissensartefakte. Ebenfalls wird der aktuelle Prototyp auf seine Anwendbarkeit evaluiert und Verbesserungsbedarfe für die folgende Weiterentwicklung abzuleiten.

Nach Einschätzung durch die beteiligten Personen wird die Funktionalität der im Rahmen des Prototypen umsetzbaren Möglichkeiten als positiv bewertet. Hervorgehoben wurde insbesondere der Mehrwert der schrittweisen Unterstützung der Benutzer bei der Erstellung von Modellen. Dadurch wurde das Bewusstsein für die einzelnen Teilschritte geschärft und diese konnten schrittweise abgearbeitet werden. Ebenfalls wurde die zentrale Strukturierung der vorhandenen bzw. bearbeiteten Modelle als positiv hervorgehoben. Da jedes erstellte Modell in dem Assistentensystem hinterlegt und zugreifbar ist, verringert sich die Suchzeit nach den Modellen. Ebenfalls werden durch die Abfrage der erforderlichen Meta-Informationen (z. B. Modellzweck, Nutzer des Modells, etc.) diese bislang lediglich implizit in der Modellierung vorhandenen Aspekte explizit gemacht. Dies erhöht ebenfalls das Bewusstsein über deren Bedeutung für den Umgang mit den Modellen. Die so erzielte Dokumentation von Modellen und von Modellierungsprojekten kann genutzt werden, um bei einer Wieder- bzw. Weiterverwendung des Modells Aufschluss über dessen Entstehung geben. Dadurch kann das Modell einfacher hinsichtlich Nutzbarkeit bewertet werden und gezielt weiterentwickelt bzw. wiederverwendet werden.

Als Verbesserungspotential des Assistentensystems wurde die Oberflächengestaltung und Nutzerinteraktion mit dem Prototypen genannt. Dies beinhaltet zum Beispiel die Formulierung der Benutzerdialoge und Eingabefelder. Die Begrifflichkeiten wurden basierend auf wissenschaftlicher Literatur definiert. Diese sollen in einem nächsten Schritt an unternehmensspezifische Begrifflichkeiten angepasst werden, um die Nutzung des Assistentensystems alltagstauglicher zu gestalten. Als weiterer Nachteil wurde der zeitliche Aufwand für die manuelle Dokumentation der Metainformationen vor allem in zeitkritischen Produktentwicklungsprojekten erkannt. In folgenden Untersuchungen erfolgt daher eine Bewertung der in den einzelnen Teilschritten generierten Metainformationen hinsichtlich

ihrer Wichtigkeit und Wiederverwertbarkeit für nachfolgende Workflows. Weniger benötigte Informationen können niedriger priorisiert werden und müssen beispielsweise in zeitkritischen Situationen nicht unbedingt dokumentiert werden. Ebenso können Informationen, die aus bereits abgeschlossenen Teilschritten der Workflows vorhanden sind, in späteren Teilschritten automatisch wiederverwendet und somit die erforderlichen Eingabefelder vorausgefüllt werden. So müssen Inhalte nur einmalig eingegeben werden und unnötige Doppelarbeit wird vermieden. Ein weiteres Verbesserungspotential liegt in der Integration des Assistentensystems in bestehende Unternehmenssysteme, in denen aktuell die Produktmodelle abgelegt sind. Auf Grund der prototypischen Implementierung war diese Anbindung an PDM/PLM Systeme bzw. Netzwerklauferke bislang nicht direkt möglich. Durch die direkte Anbindung sind weitere Zeitersparnisse möglich, da der Zugriff auf vorhandene Modelle direkt erfolgen kann.

## **7.4 Evaluation und Diskussion des Lösungsansatzes**

Als Abschluss dieses Kapitels wird ein übergreifendes Fazit der Erstellung und Anwendung der Wissensbasis und der durchgeführten Evaluation anhand des Anwendungsfalles gezogen. Es werden die in Kapitel 5.6 formulierten übergreifenden Anforderungen an den Lösungsansatz aufgegriffen und ihre Erfüllung durch die entwickelte Wissensbasis und das Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis diskutiert. Die Anforderungen sind entsprechend der KADS-Methodik in kontextuelle, konzeptionelle und umsetzende (implementierende) Anforderungen unterteilt. Ebenfalls beschreiben die Anforderungen, dass die drei Haupt-Interaktionen eines Wissensingenieurs mit den in Knowledge Engineering Projekten beteiligten Rollen berücksichtigt werden müssen. Diese sind Wissensbedarfserhebung, Wissensbereitstellung und Ableitung von Wissensmodellen als Grundlage der Implementierung.

### **Evaluation bezüglich Anforderungen an den Kontext**

Der Einsatz der Wissensbasis im Anwendungsbeispiel hat gezeigt, dass diese im Rahmen eines Knowledge Engineering Projektes erfolgreich genutzt werden kann, um eine Unterstützung bei der Arbeit mit Produktmodellen zu ermöglichen. Die aus unterschiedlichen Projekten und Fallstudien gewonnenen Erkenntnisse und das aus der manuellen Textanalyse der vorliegenden Literatur gewonnene Wissen konnte anhand des Rahmenwerks zur Erstellung der Wissensbasis strukturiert erfasst werden und für den Anwendungsfall bereitgestellt werden.

Die strukturierte Repräsentation des Wissens in der Ontologie und den Teil-Wissensmodellen wirkt sich positiv auf den sonst meist hohen Zeitaufwand zur Wissensakquise aus. Da anhand der Wissensbedarfsanalyse ermittelt werden kann, welches Wissen anwendungsspezifisch tatsächlich benötigt wird, kann gezielt danach gesucht werden und es muss nur dieses ergänzt werden. Vor allem in Kombination mit der angestrebten Unternehmensunabhängigkeit wirkt sich dies als Vorteil für erforderliche Ergänzungen der Wissensbasis aus. Das bereits jetzt in der Wissensbasis vorhandene allgemeine Wissen kann für den individuellen, unternehmensspezifischen Anwendungsfall auf Nutzbarkeit geprüft werden. Lediglich das

darüber hinaus erforderliche Wissen muss unter Anwendung geeigneter Methoden der Wissensakquise ergänzt werden.

Sowohl die Untersuchungen in der industriellen Anwendung als auch die Literaturanalysen haben gezeigt, dass die identifizierten acht Tätigkeiten ausreichend sind, um die Arbeit mit Produktmodellen auf einem abstrakten Niveau zu beschreiben. Sie ermöglichen eine Zuordnung des relevanten Wissens zu den einzelnen Teilschritten, wodurch eine Bereitstellung des Wissens bedarfsgerecht ermöglicht wird. Ebenfalls wird eine Übersicht über vorhandenes und nicht vorhandenes Wissen generiert.

Der in dieser Arbeit gewählte, auf der allgemeinen Modellebene anwendungsneutrale Weg, ermöglicht eine Überwindung der in der Problemstellung beschriebenen Herausforderungen der Begriffsheterogenität und Modellvielfalt. Disziplinspezifische Modellierungsaktivitäten können den in der Wissensbasis enthaltenen Teilschritten zugeordnet werden. Durch diese Abstraktion auf ein allgemein verständliches Niveau wird das Verständnis für bislang unbekannte Modellierungsabläufe erhöht. Das gewählte Maß an Granularität zur Abbildung der Teilschritte hat die Zuordnung aller in der Literatur identifizierten Regeln ermöglicht. Explizit vorhandenes Wissen konnte genutzt werden, wobei der Aufwand zur Extraktion der Regeln nicht zu vernachlässigen ist. Automatisierte Verfahren (z. B. linguistische Inhaltsanalyse) bzw. geeignete pro-aktive Annotation von Modellierungsanleitungen mit Meta-Informationen könnten in Zukunft Unterstützung bieten um den Zeitaufwand zur manuellen Befüllung der Wissensbasis zu verringern.

Als Handelnde waren in dem Anwendungsfall alle vier Rollen der in Knowledge Engineering Projekten beteiligten Personen im Evaluationsprojekt vertreten. Der Wissensingenieur wurde durch den Autor diese Dissertation repräsentiert. Die Rolle des Experten ist in Form von vorhandener Literatur über die Arbeit mit Modellen in Ergänzung zu den Erfahrungen des Autors ausgefüllt. Der Wissensnutzer ist der Produktentwickler in diesem Projekt. Das bereitgestellte Assistentensystem wurde durch einen Studenten implementiert. Die Erfahrungen aller Rollen sind in die Evaluation eingeflossen. Der Wissensnutzer hat das implementierte System hinsichtlich seiner spezifischen Anforderungen entsprechend des in Kapitel 7.2.5 vorgestellten Fragebogens bewertet. Der Bedarf nach Unterstützung konnte anhand der Reflexionslisten zur Wissensbedarfsanalyse ermittelt werden. Persönliche Rückfragen unterstützten die textuellen Beschreibungen und ermöglichten eine Aufklärung von Unklarheiten. Die aus der Wissensbasis benötigten Wissensartefakte wurden manuell extrahiert und an den Wissenssystementwickler weitergegeben. Hierbei hat sich die aktuell teils graphische, textuelle und tabellarische Repräsentation der Wissensbasis für den Anwendungsfall als pragmatisch erwiesen. Für weitere Anwendungen bietet hier eine Repräsentation des Wissens in professionelle Wissensmanagement-Werkzeuge Verbesserungspotential hinsichtlich Skalierbarkeit und Konsistenz des Wissens.

### **Evaluation bezüglich Anforderungen an das Konzept**

Die übergreifende Anforderung an das Konzept der Wissensbasis liegt in der abstrakten Beschreibung der Arbeit mit Produktmodellen. Diese beinhaltet Sachbereichswissen über die Vielfalt an Produktmodelltypen. Das Teil-Wissensmodell der Produktmodelltypen-Klassifikation ermöglicht eine Übersicht über prinzipiell vorhandene Produktmodelltypen und

kann bei deren Auswahl entsprechend individueller Anforderungen unterstützen. Die Unterscheidung der Produktmodelltypen hat sich angesichts der teilweise unklaren Definition der einzelnen Produktmodelltypen als Herausforderung dargestellt. In der Sammlung von Produktmodelltypen sind Überschneidungen zwischen einzelnen Produktmodelltypen daher nicht auszuschließen. Auch die Interpretation der Begriffe der einzelnen Klassifizierungsmerkmale zur Unterscheidung der Produktmodelltypen ist geprägt durch individuelle Erfahrungen. Daher kann einerseits keine komplette Fehlerfreiheit bei der Zuordnung zu den Klassifizierungsmerkmalen gewährleistet werden. Andererseits können auch Missverständnisse bei der Nutzung der Klassifikationen auf Grund von individuell abweichenden Interpretationen ein negatives Resultat sein. Dennoch wird durch die Auflistung und allgemeine Klassifizierung der Produktmodelltypen ein Mehrwert für den Entwickler bestätigt, da dadurch das Bewusstsein für alternative Modellierungsverfahren und Modelltypen geschärft wird.

Das für die Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Inferenzwissen konnte anhand der identifizierten Regeln und deren Verknüpfung mit den Merkmalen der Konzepte in der Wissensbasis repräsentiert werden. Die umfassende Literaturanalyse bietet einen Einblick in für die Arbeit mit Modellen relevante Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen. Sowohl eine situationsspezifische Ermittlung von Unterstützungsbedarfen als auch eine darauf aufbauende Bereitstellung von passenden Regeln wird mittels der beiden Zuordnungsmatrizen ermöglicht. Auf Grund der Unterschiede des Informationsgehalts der in der Literatur bereitgestellten Hinweise und Regeln wurde in dieser Dissertation eine textuelle Repräsentation gewählt. Allerdings kann – sofern das Wissen hierfür vollständig vorhanden ist – für eine weitere Befüllung der Wissensbasis die in Kapitel 6.6 vorgestellte formale Repräsentation eines vollständigen Regelsatzes genutzt werden.

Die einzelnen Aufgaben werden anhand der Teilschritte und deren Detaillierung in ereignisgesteuerten Prozessketten beschrieben. In der Anwendung der Evaluation wurden die Abläufe anhand der schrittweisen Führung durch die Teilschritte als Sequenz des Software-Prototypen realisiert. In jedem Schritt wurde das erforderliche Wissen mittels Dialogen oder Checklisten bereitgestellt. Der hohe Aufwand für die komplette Bearbeitung der bereitgestellten Dialogfelder und das komplette Ausfüllen der gesamten Textfelder wurde in der industriellen Anwendung als Verbesserungspotential empfunden. Geeignete Maßnahmen müssen identifiziert werden, um nur die tatsächlich notwendigen Schritte auszuwählen oder durch automatische Unterstützung den individuellen Aufwand zu reduzieren.

Aktuell wird das in der Wissensbasis enthaltene Wissen in Microsoft Office Anwendungen repräsentiert (insbesondere Microsoft Word, Microsoft Excel und Microsoft Visio). Die Bereitstellung in einzelnen Anwendungsfällen kann davon ausgehend auf unterschiedliche Möglichkeiten erfolgen. Im entwickelten Prototypen wurden bereits einige davon exemplarisch implementiert (Checklisten, Benutzerdialoge, textuelle Hinweise, graphische Aufbereitung des Wissens, Datenbanken als Informationsspeicher). Darüber hinaus können wie in Kapitel 7.2.4 dargestellt weitere Möglichkeiten zur Kommunikation zwischen Benutzer und System bereitgestellt werden, um eine zukünftige professionelle Nutzung der erzielten Ergebnisse entsprechend den industriellen Bedarfen zu unterstützen.

### **Evaluation bezüglich Anforderungen an das Artefakt (die Software)**

Die Anforderungen zur Bereitstellung der in der Wissensbasis enthaltenen Wissensartefakte in Form von implementierter Software liegen wie in Kapitel 5.6 nicht im Fokus dieser Dissertation. Anhand des entwickelten Assistentensystems konnten die aus den Teil-Wissensmodellen extrahierten Wissensartefakte dem Nutzer bereitgestellt werden. Da es sich allerdings um einen Prototypen handelt, bestehen wie in Kapitel 7.3.5 gezeigt noch Verbesserungsbedarfe in Bezug auf die Implementierung.

Die Wissensbasis kann sowohl inhaltlich als auch strukturell erweitert werden. Allerdings sollte für eine industrielle Anwendung der Wissensbasis zur Unterstützung von Knowledge Engineering Projekten eine Übertragung des aktuell in Microsoft Office Anwendungen repräsentierten Wissens in professionelle Software für Wissensmanagement in Betracht gezogen werden. Dadurch wird sowohl die Ergänzung von Wissen, als auch die Ableitung und Aufbereitung von in der Wissensbasis enthaltenem Wissen erleichtert. Auch die aktuell manuell gepflegte erforderliche Konsistenz zwischen den einzelnen Teil-Wissensmodellen kann dadurch einfacher realisiert werden.

### **Übergreifende Diskussion des Lösungsansatzes**

In Ergänzung zu der Evaluation bezüglich der einzelnen Anforderungen werden hier übergreifend das gewählte Forschungsvorgehen und die erzielten Ergebnisse diskutiert. Es werden positive und negative Aspekte aufgezeigt und mögliche Verbesserungspotentiale abgeleitet.

Zur Erstellung der Produktmodell-Wissensbasis wird auf bestehenden Methodiken des Knowledge Engineerings aufgebaut und diesen entsprechend den identifizierten Bedarfen angepasst. Das so gewählte iterative Vorgehen unter Berücksichtigung von Wissen sowohl aus Literatur als auch aus Fallstudien führte zu einer sowohl an den Bedürfnissen der Praxis als auch der Wissenschaft orientierten Wissensbasis. Anhand des genutzten Rahmenwerks konnten Erfahrungen und Erkenntnisse aus unterschiedlichen Modellierungsansätzen unter Berücksichtigung der allgemeinen Modelltheorie genutzt werden. Bei der Instanziierung der Wissensbasis lag der Fokus auf explizit in der Literatur vorhandenen Wissensartefakten in Form von Regeln und Hinweisen über die Gestaltung der Arbeit mit Modellen. Zukünftiges Verbesserungspotential besteht somit in der Ergänzung dieses Wissens um implizites Expertenwissen und um unternehmensspezifisches Wissen.

Die klare Strukturierung der einzelnen Teilaspekte des benötigten Wissens in die drei Teil-Wissensmodelle wird positiv bewertet. Anhand der verbindenden Ontologie kann die Bedeutung der einzelnen Artefakte geklärt werden und es wird zudem eine Erweiterung der Wissensbasis erleichtert. Das spezifische Wissen kann in den einzelnen Teil-Wissensmodellen ergänzt werden, ohne eine grundlegende Änderung in der gesamten Struktur der Wissensbasis vornehmen zu müssen.

Ein erste Unterstützungs- und Erfolgsevaluation der Wissensbasis konnte am Anwendungsbeispiel mit der Entwicklung und Bewertung des prototypisch implementierten Assistentensystems erfolgreich durchgeführt werden. Anhand der Meinungen der ausführenden Probanden konnten qualitative Aussagen sowohl über die übergreifende

Anwendung der Wissensbasis als auch über die anwendungsspezifische Unterstützung getroffen werden. Eine professionelle Implementierung des Assistentensystems in dem Anwendungsfall oder in anderen Anwendungen steht aktuell allerdings noch aus. Ist diese professionelle Implementierung umgesetzt, kann eine Erfolgs- und Unterstützungsevaluation über einem längeren Betrachtungshorizont mit quantitativen Aussagen über die Anwendung der Wissensbasis und Nutzung der einzelnen Wissensartefakte erfolgen.

## **8. Zusammenfassung und Ausblick**

*Diese Dissertation legt den Grundstein für eine wissensbasierte Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen. Die Bedeutung von Produktmodellen im Entwicklungsprozess und die Herausforderungen bezüglich der Vielfalt an Produktmodelltypen motivieren die Entwicklung einer Wissensbasis zur Erfassung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen. Dieses Kapitel fasst abschließend zunächst die durchgeführten Tätigkeiten und erzielten Ergebnisse zusammen. Daraufhin wird aufbauend auf der Evaluation und Diskussion ein Ausblick auf weitere Schritte gegeben.*

### **8.1 Zusammenfassung**

#### **Ausgangssituation und Merkmale bestehender Ansätze**

Bei der Entwicklung technischer Produkte werden in den einzelnen Arbeitsschritten des Entwicklungsprozesses unterschiedliche Produktmodelle für vielfältige Zwecke eingesetzt. Die Vielfalt an Produktmodelltypen, die modellspezifische Ausbildung der Ingenieure, das interdisziplinäre Arbeitsumfeld und unterschiedliche Definitionen des Produktmodellbegriffs in Wissenschaft und Industrie erschweren allerdings die effiziente und effektive Arbeit mit Produktmodellen.

Wie gezeigt werden konnte, fokussieren sich bestehende Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen disziplinspezifisch entweder auf bestimmte Produktmodelltypen, auf bestimmte Phasen im Entwicklungsprozess oder auf bestimmte Tätigkeiten mit den Modellen. Das Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen liegt aktuell entweder sehr abstrakt – und somit nicht für den konkreten Anwendungsfall zu gebrauchen – oder sehr spezifisch – und somit nicht mehr auf andere Anwendungsfälle übertragbar vor. Die Wissenslandschaft über die Arbeit mit Produktmodellen ist darüber hinaus sehr heterogen und es existiert eine Vielfalt an unterschiedlichen Wissensquellen, in denen das Wissen meist unstrukturiert vorliegt. Allerdings existieren aktuell weder die benötigte übergreifende Unterstützung noch die Möglichkeit zur übergreifenden Erfassung und Bereitstellung des für die Arbeit mit Produktmodellen erforderlichen Wissens im Entwicklungsprozess. Dies kann zu Fehlanwendungen von Produktmodellen, erhöhtem Aufwand bei der Wieder- und Weiterverwendung von Produktmodellen und damit zu negativen Konsequenzen im Entwicklungsprozess führen.

#### **Lösungsansatz und Ergebnisse**

Als Lösungsansatz zur Behebung der Problemstellung wurde eine Wissensbasis entwickelt, die das für die Arbeit mit Produktmodellen erforderliche Wissen strukturiert repräsentiert. Das Vorgehen zur Entwicklung der Wissensbasis baut auf Methoden zur Erstellung von Wissensmodellen aus dem Bereich des Knowledge Engineerings auf. Erkenntnisse der allgemeinen Modelltheorie, Literaturstudien und industrielle Fallstudien bezüglich der Nutzung von Produktmodellen fließen in die Entwicklung der Wissensbasis mit ein. Anhand eines Rahmenwerks zur Verortung bestehender Wissensquellen über die Arbeit mit Modellen,

wird eine effiziente und nachvollziehbare Nutzung bereits vorhandenen Wissens anwendungs- und disziplinübergreifend unterstützt.

Die entwickelte Wissensbasis besteht aus einer Ontologie und drei Teil-Wissensmodellen. Die Ontologie bildet das Meta-Modell der Wissensbasis und definiert die für die Arbeit mit Produktmodellen relevanten Konzepte und deren Relationen. Insgesamt acht Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen wurden identifiziert und in Teilschritte unterteilt. Diesen Teilschritten werden Regeln und Hinweise über die Gestaltung der Arbeit mit Produktmodellen zugeordnet, wodurch ein anwendungs- und kontextspezifischer Zugriff auf das enthaltene Wissen ermöglicht wird. Die entwickelte Klassifikation von Produktmodelltypen bietet eine Übersicht über vorhandene Produktmodelltypen und erleichtert deren Auswahl entsprechend individueller Bedarfe.

Zur Unterstützung der Anwendung der Wissensbasis zur Bereitstellung von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen wurde ein fünfstufiges Vorgehen entwickelt. Dieses Vorgehen ermöglicht im Rahmen von Knowledge Engineering Projekten anhand entsprechender Methoden in Form von Checklisten, Vorlagen und Zuordnungsmatrizen den anwendungsspezifischen Wissensbedarf bei der Arbeit mit Produktmodellen individuell zu bestimmen und zu decken.

### **Evaluation und Mehrwert der entwickelten Wissensbasis**

In einem Entwicklungsprojekt in der Automobilindustrie wurden unter Nutzung der Wissensbasis zunächst Wissensbedarfe ermittelt. Das in der Wissensbasis vorhandene Wissen wurde entsprechend der identifizierten Bedarfe aufbereitet und in einem implementierten Assistentensystem dem Anwender bereitgestellt. Das Assistentensystem führt durch die einzelnen Teilschritte der Tätigkeiten und vermittelt das dafür erforderliche Wissen. Die Anwendbarkeit des Vorgehens zur Nutzung der Wissensbasis und der Mehrwert des bereitgestellten Wissens wurden bestätigt. Dadurch können Fehler bei der Arbeit mit Produktmodellen vermieden werden, Produktmodelle effizienter erstellt und besser wieder- und weiterverwendet werden.

Die entwickelte Wissensbasis überwindet in Kombination mit dem Rahmenwerk die aktuell existierenden Nachteile der heterogenen, meist modelltyp- und anwendungsspezifischen Ansätze zur Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen. Das Rahmenwerk bietet die Möglichkeit, das aktuell vielfältige, teils widersprüchliche Wissen über die Arbeit mit Modellen strukturiert zu erfassen und zusammenzuführen. Die erforderliche Integration der oftmals heterogenen Wissensquellen zur Arbeit mit Modellen in eine kohärente Wissensbasis wird durch die Verwendung dieses Rahmenwerks erreicht. Die Wissensbasis ermöglicht darauf aufbauend die Repräsentation und bedarfsgerechte Bereitstellung des benötigten Wissens. Ebenfalls wird durch das verwendete Wissensmodell und den darin enthaltenen Abstraktionsebenen das benötigte anwendungs- und disziplinübergreifende Verständnis gefördert. Negative Effekte wie z. B. Wissensverlust durch Mitarbeiterwechsel, disziplinübergreifende Missverständnisse und unnötige Doppelarbeit werden somit abgeschwächt. Positive Effekte wie z. B. Wissenstransfer zwischen Abteilungen und Wissensbewahrung werden dagegen unterstützt.

Bislang existierte kein Vorgehen, um bestehende Wissensbedarfe bezüglich der Arbeit mit Produktmodellen systematisch zu identifizieren. Durch das vorgestellte fünfstufige Vorgehen zur Nutzung der Wissensbasis wird dies ermöglicht. Vorhandene Wissenslücken über die Arbeit mit Modellen können identifiziert und unter Nutzung des in der Wissensbasis enthaltenen Wissens oder durch geeignete Wissensakquise geschlossen werden. Anhand der vorgestellten Produktmodelltypen-Klassifikation wird darüber hinaus das für eine erfolgreiche Produktentwicklung erforderliche Bewusstsein über deren Unterschiede gestärkt und die Auswahl des für den jeweiligen Bedarf passenden Produktmodelltyps erleichtert.

Wie gezeigt werden konnte, wird der Modellbegriff in Wissenschaft und Forschung in unterschiedlichen Bedeutungen verwendet. Das Forschungsfeld bezüglich der Arbeit mit Modellen im Allgemeinen und der Arbeit mit Produktmodellen im Speziellen ist gekennzeichnet durch eine starke Heterogenität bezüglich individuellem Verständnis, verwendeten Begrifflichkeiten und anwendungs-spezifischen Herangehensweisen. Anhand der entwickelten Wissensbasis ermöglicht diese Dissertation eine Verortung bestehenden Wissens auf dem Gebiet der Arbeit mit Produktmodellen. Die Ontologie und die Wissensdokumente stellen einen Ordnungsrahmen bereit, mittels dessen diese bislang heterogene Begriffswelt im Bereich der Produktmodellierung erschlossen werden kann. Positive Folgen sind eine Verbesserung der strukturierten Repräsentation von Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen und die Gewährleistung eines vereinfachten Zugriffs auf das benötigte Wissen. Dadurch wird beispielsweise das anwendungs- und disziplinübergreifende Verständnis über unterschiedliche Forschungsansätze bezüglich der Arbeit mit Modellen gefördert. Bislang nicht oder nur schwer vergleichbare Ansätze und Erkenntnisse können somit leichter verglichen werden und weiterer Forschungsbedarf auf diesem Gebiet kann abgeleitet werden.

## 8.2 Ausblick

Aus den in dieser Dissertation erzielten Ergebnissen und der durchgeführten Evaluation lassen sich Handlungsbedarfe bezüglich der Unterstützung der Arbeit mit Produktmodellen im industriellen Umfeld, konkrete Weiterentwicklungsbedarfe der erstellten Wissensbasis und deren Nutzung, sowie ein Bedarf nach weiteren Forschungsaktivitäten in der Wissenschaft ableiten.

Die Wissensbasis enthält aktuell explizit in öffentlichen Literaturquellen enthaltenes Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen. Sowohl die Sammlung an Produktmodelltypen, die Klassifizierungskriterien als auch die Regeln und Hinweise haben ihren Ursprung in einer umfassenden Literaturanalyse in Bereichen der Modellierung und Produktentwicklung. Das enthaltene Wissen deckt damit ein breites Feld an unterschiedlichen Anwendungsfällen von Produktmodellen ab. Dies bietet eine fundierte Grundlage, um im unternehmensspezifischen Anwendungskontext das Wissen entsprechend den individuellen Bedarfen anzupassen. Sowohl implizites Wissen von Experten als auch unternehmensspezifisches Wissen kann für individuelle Anwendungsfälle in den einzelnen Teil-Wissensmodellen gemäß Schritt 3 des Vorgehens zur Nutzung der Wissensbasis ergänzt werden. Beispielsweise können unternehmensspezifische Regeln ergänzt oder auch die Auswahlmöglichkeit an Produktmodelltypen eingeschränkt werden.

Die Bereitstellung des Wissens entsprechend den industriellen Praxisbedarfen ist ebenfalls ein wesentlicher Aspekt folgender Schritte. Die beschriebenen Möglichkeiten zur Bereitstellung des Wissens können für den individuellen Anwendungsfall angepasst werden. Insbesondere der Einsatz geeigneter IT-Technologien und gelebtes Wissensmanagement im Unternehmen gewährleistet so die effiziente und effektive Nutzung des in der Wissensbasis vorhandenen Wissens. Beispielsweise kann das in der Wissensbasis enthaltene Wissen in bestehende PDM- oder PLM-Systeme integriert werden, um es anwendungsspezifisch und praxisnah zu vermitteln. Hierzu zählt auch die Ergänzung von konkreten Unterstützungsmaßnahmen zur Arbeit mit Modellen wie beispielsweise Werkzeuge, die in bestimmten Situationen erforderlich sind und sich in der Praxis bewährt haben. Ebenfalls können in Ergänzung zu den bisher textuellen Regeln die Bereitstellung von zusätzlichen Schulungsunterlagen oder Verweise auf andere externe Wissensquellen die Verständlichkeit und Anwendbarkeit des enthaltenen Wissens erhöhen.

Das in der Dissertation entwickelte Rahmenwerk wurde eingesetzt, um Wissen über die Arbeit mit Produktmodellen strukturiert zu erfassen. Neben dem hier gezeigten Anwendungsfall kann es allerdings ebenso für die Identifikation von Wissen für beliebige andere Modellierungsanwendungen genutzt werden. So wurde es beispielsweise bereits erfolgreich eingesetzt, um im Rahmen der Strukturmodellierung relevante Wissensartefakte zu identifizieren und ein bestehendes Vorgehen zur Erstellung von Strukturmodellen zu erweitern. Auch können die im Vorgehen zur Anwendung der Wissensbasis beschriebenen einzelnen Hilfsmittel und Methoden losgelöst vom Gesamtverfahren genutzt werden. Bedarfe für die Unterstützung der Arbeit mit Modellen können dadurch strukturiert erfasst werden.

Auf Seite der Wissenschaft steht an dieser Stelle neben dem getätigten Ausblick auf weitere Schritte vorrangig ein Appell: Ein Appell für ein gemeinsames Verständnis von Modellen im disziplinübergreifenden Kontext und für eine strukturierte und nachvollziehbare Arbeit mit Modellen. Die aktuelle Vielfalt an unterschiedlichen Bezeichnungen für gleich gemeinte Konzepte führt dazu, dass die an sich gewinnbringenden Erkenntnisse aus allgemeiner Modelltheorie und Wissen über spezifische Modellanwendungen nicht den erforderlichen Weg in die Praxis finden. Einzelne Wissensinseln über die Arbeit mit Modellen und Produktmodellen existieren, jedoch ohne die erforderlichen Brücken dazwischen. Verwirrung bei den Anwendern, fehlende Sicherheit in der Unterstützung durch Unverständlichkeit der Lösungsansätze und Ablehnung auf Grund von Unverständnis sind die negativen Konsequenzen. Die in dieser Dissertation präsentierten Ergebnisse und durchgeführte strukturierte Aufschlüsselung unterschiedlicher Facetten des Wissens über die Arbeit mit Modellen stellen einen weiteren Schritt in Richtung der Behebung dieser Probleme dar. In diesem Sinne muss die Wissenschaft in Zukunft weiteren Mehrwert generieren, indem sie ein disziplin-, praxis- und forschungsübergreifendes Verständnis der Arbeit mit Modellen fördert.

## 9. Literaturverzeichnis

AAMODT & NYGARD 1995

Aamodt, A.; Nygard, M.: Different roles and mutual dependencies of data, information, and knowledge - An AI perspective on their integration. *Data and Knowledge Engineering* 16 (1995) 3, S. 191-222.

ABRAMOVICI & STEKOLSCHIK 2004

Abramovici, M.; Stekolschik, A.: Methodische Ansätze für die Weiterverwendung der digitalen Produktmodelle in der Produktentwicklung. *Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik*. Dresden, 23.-24.09.2004.

AHMED et al. 2005

Ahmed, S.; Kim, S.; Wallace, K. M.: A Methodology for Creating Ontologies for Engineering Design. *17th International Conference on Design, Theory and Methodology (DTM)*. Long Beach, USA, 24.-28.09.2005.

ANDERL et al. 2011

Anderl, R.; Birkhofer, H.; Schüle, A.: Produktentstehung der Zukunft. *Forschen - das Wissenschaftsmagazin* 7 (2011) 1, S. 8-13.

ANDREASEN 1994

Andreasen, M. M.: Modelling - The Language of the Designer. *Journal of Engineering Design* 5 (1994) 2, S. 103-115.

ANGELE et al. 1998

Angele, J.; Fensel, D.; Landes, D.; Studer, R.: Developing knowledge-based systems with MIKE. *Journal of Automated Software Engineering* 5 (1998) 4, S. 389 – 418.

AWISZUS 2000

Awiszus, B.: *Integrierte Produkt- und Prozeßmodellierung umformtechnischer Planungsprozesse*. Aachen: Shaker 2000.

BAKALEM & HABCHI 1994

Bakalem, M.; Habchi, G.: PPS: an integrated object oriented approach for modelling and simulation of manufacturing systems. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics: Humans, Information and Technology*. San Antonio, Texas, USA, 02.-05.10.1994.

BANDOW & HOLZMÜLLER 2010

Bandow, G.; Holzmüller, H. H.: „Das ist gar kein Modell!“ - Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. Berlin: Springer 2010.

BAUERT 1991

Bauert, F.: *Methodische Produktmodellierung für den rechnerunterstützten Entwurf*. Technische Universität Berlin, Berlin (1991).

BECK 1991

Beck, M. B.: Principles of Modelling. *Water Science and Technology* 24 (1991) 6, S. 1-8.

## BECKER 1998

Becker, J.: Die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung und ihre Einbettung in ein Vorgehensmodell zur Erstellung betrieblicher Informationsmodelle. Fachtagung Modellierung betrieblicher Informationssysteme. Koblenz, 15.-16.10.1998.

## BEIBEL 2011

Beißel, S.: Ontologiegestütztes Case-Based Reasoning. Wiesbaden: Gabler 2011.

## BIGGS &amp; BÜCHLER 2007

Biggs, M. A. R.; Büchler, D.: Rigor and Practice-based Research. Design Issues 22 (2007) 3, S. 62-69.

## BIRKHOFFER 2011

Birkhofer, H. (Hrsg.): The future of Design Methodology. London: Springer 2011.

## BIRTA &amp; ARBEZ 2007

Birta, L. G.; Arbez, G. (Hrsg.): Modelling and Simulation - Exploring Dynamic System Behaviour. London: Springer 2007.

## BLESSING &amp; CHAKRABARTI 2009

Blessing, L. T. M.; Chakrabarti, A.: DRM, a Design Research Methodology. London: Springer 2009.

## BLUMBERG &amp; ATRE 2003

Blumberg, R.; Atre, S.: The Problem with Unstructured Data. DM Review 13 (2003) 2, S. 42-46.

## BOARDMAN &amp; SAUSER 2008

Boardman, J.; Sauser, B.: Systems thinking - Coping with 21st Century Problems. Boca Raton, Florida: CRC Press - Taylor and Francis Group 2008.

## BRACEWELL et al. 2008

Bracewell, R.; Wallace, K.; Moss, M.; Knott, D.: Capturing design rationale. Computer-Aided Design 41 (2008) 3, S. 173-186.

## BRACHMAN &amp; LEVESQUE 2004

Brachman, R. J.; Levesque, H. J.: Knowledge Representation and Reasoning. San Francisco, USA: Morgan Kaufmann 2004.

## BROOKS &amp; TOBIAS 1996

Brooks, R. J.; Tobias, A. M.: Choosing the Best Model: Level of Detail, Complexity, and Model Performance. Mathematical and Computer Modelling 24 (1996) 4, S. 1-14.

## BUBENKO &amp; ROLLAND 1994

Bubenko, J.; Rolland, C.: Facilitating "Fuzzy to Formal" Requirements Modelling. Requirements Engineering, 1994. Colorado Springs, Colorado, 18.-22.04.1994.

## BUEDE 2000

Buede, D. M.: The engineering design of systems - models and methods. New York: John Wiley & Sons 2000.

## BUSBY 1999

Busby, J. S.: The problem with design reuse: an investigation into outcomes and antecedents. Journal of Engineering Design 10 (1999) 3, S. 277-296.

## BUSKERMOLEN &amp; TERKEN 2012

Buskermolen, D. Ö.; Terken, J. M. B.: The use of design representations for design communication: Insights from practice. 12th International Design Conference. Dubrovnik, Kroatien, 21.-24.05.2012.

## BUUR &amp; ANDREASEN 1989

Buur, J.; Andreasen, M. M.: Design Models in Mechatronic Product Development. Design Studies 10 (1989) 3, S. 155–162.

## CAREY et al. 2012

Carey, E.; Culley, S. J.; McAlpine, H.; Weber, F.; Xie, Y.: Key Issues in the take-up of knowledge management interventions in engineering design. 12th International Design Conference. Dubrovnik, Kroatien, 21.-24.05.2012.

## CHAN 1994

Chan, C. W.: A Technique for Knowledge Modelling. Expert Systems for Development, 1994. Bangkok, Thailand, 28.-31.03.1994.

## CHANDRASEGARAN et al. 2013

Chandrasegaran, S. K.; Ramani, K.; Sriram, R. D.; Horváth, I.; Bernard, A.; Harik, R. F.; Gao, W.: The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. Computer-Aided Design 45 (2013) 2, S. 204-228.

## CHECKLAND 1981

Checkland, P.: Systems Thinking, Systems Practice. Chichester: John Wiley & Sons, Inc. 1981.

## CONWAY &amp; ION 2013

Conway, A. P.; Ion, W. J.: Enhancing the design dialogue: an architecture to document engineering design activities. Journal of Engineering Design 24 (2013) 2, S. 140-164.

## CORCHO et al. 2003

Corcho, O.; Fernández-López, M.; Gómez-Pérez, A.: Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? Data & Knowledge Engineering 46 (2003) 1, S. 41-64.

## COURT et al. 1998

Court, A. W.; Ullmann, D. G.; Culley, S. J.: A Comparison Between the Provision of Information to Engineering Designers in the UK and the USA. International Journal of Information Management 18 (1998) 6, S. 409-425.

## CROSS 2007

Cross, N.: Forty years of design research. Design Studies 28 (2007) 1, S. 1-4.

## CULLEY &amp; MCMAHON 2005

Culley, S. J.; McMahon, C. A.: Engineering Design. In: MacLeod, R. A. et al. (Hrsg.): Information Sources in Engineering. München, K.G. Saur 2005.

## DETTMERING 2005

Dettmering, H.: PDM und Engineering-Informationssysteme. Technische Universität München, München (2005).

## DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1994

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 19226: Leittechnik - Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Berlin: Beuth 1994.

## DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 69901: Projektmanagement - Projektmanagementsysteme. Berlin: Beuth 2009.

## DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2011a

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 2330: Begriffe und Benennungen - Allgemeine Grundsätze. Berlin: Beuth 2011a.

## DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2011b

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 2342: Begriffe der Terminologielehre. Berlin: Beuth 2011b.

## DICK 2009

Dick, B.: Untersuchung und Modell zur Beschreibung des Einsatzes bildlicher Produktmodelle durch Entwicklerteams in der Lösungssuche. Dissertation, Technische Universität München, München (2009). (München: Dr. Hut 2009 (Produktentwicklung))

## DIETER 2000

Dieter, G. E.: Engineering Design - A Materials and Processing Approach. Singapore: McGraw-Hill 2000.

## DUDEN 2013a

Duden: Artikel "Dokument" - Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Synonyme, Herkunft. <<http://www.duden.de/node/660720/revisions/1093006/view>> - 23.09.2013

## DUDEN 2013b

Duden: Artikel "Modell" - Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Synonyme, Herkunft. <<http://www.duden.de/node/658605/revisions/1146764/view>> - 23.09.2013

## DÜRRENBERGER et al. 1999

Dürrenberger, G.; Kastenholz, H.; Behringer, J.: Integrated assessment focus groups: Bridging the gap between science and policy? Science and Public Policy 26 (1999) 5, S. 341-349.

## DYLLA 1990

Dylla, N.: Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. Technische Universität München, München (1990). (München: Hanser 1991 (Konstruktionstechnik München, Band 5))

## EDER &amp; HOSNEDL 2008

Eder, W. E.; Hosnedl, S.: Design engineering: a manual for enhanced creativity. Boca Raton, Florida: CRC Press 2008.

## EHRENSPIEL 2009

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung - Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. München Wien: Hanser 2009.

## EIGNER &amp; STELZER 2009

Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management - ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Berlin Heidelberg: Springer 2009.

EISENBART et al. 2012

Eisenbart, B.; Blessing, L.; Gericke, K.: Functional modelling perspectives across disciplines: a literature review. 12th International Design Conference. Dubrovnik, Kroatien, 21.-24.05.2012.

EPPINGER 2001

Eppinger, S. D.: Innovation at the speed of information. Harvard Business Review 79 (2001) 1, S. 149-160.

ERDEN et al. 2008

Erden, M.; Komoto, H.; Van Beek, T.; d'Amelio, V.; Echavarria, E.; Tomiyama, T.: A review of function modeling: Approaches and applications. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AI EDAM) 22 (2008) 02, S. 147-169.

ESTEFAN 2007

Estefan, J. A. (Hrsg.): Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies. INCOSE MBSE Focus Group, Pasadena, Kalifornien (2007).

FALKENBERG et al. 1998

Falkenberg, E. D.; Hesse, W.; Lindgreen, P.; Nilsson, B. E.; Han Oe, J. L.; Rolland, C.; Stamper, R. K.; Van Assche, F. J. M.; Verrijn-Stuart, A. A.; Voss, K.: A framework of information system concepts: The FRISCO report (Web edition). USA: International Federartion for Information Processing 1998.

FELGEN 2007

Felgen, L.: Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte. Dissertation, Technische Universität München, München (2007). (München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung))

FENVES 2002

Fenves, S. J.: A core product model for representing design information. Gaithersburg, USA: National institute of standards and technology 2002.

FENVES et al. 2005

Fenves, S. J.; Foufou, S.; Bock, C.; Sriram, R. D.: CPM: A Core Model for Product Data. Journal of Computing and Information Science in Engineering (2005)

FERNANDEZ et al. 1997

Fernandez, M.; Gomez-Perez, A.; Juristo, N.: Methontology: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. AAAI Spring Symposium. Stanford University, Kalifornien, 24.-26.03.1997.

FRIEDENTHAL et al. 2011

Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R.: A practical guide to SysML: the systems modeling language. Waltham, USA: Morgan Kaufmann 2011.

FUCHS 2006

Fuchs, D. K.: Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung. Technische Universität München, München (2006).

GAAG 2010

Gaag, A.: Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung. Technische Universität München, München (2010). (München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung))

GAO et al. 2004

Gao, P.; Lin, L.-F.; Cai, M.; Dong, J.-X.: Study of Integrated Product Modeling in Cooperative Development Environment. 8th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. Xiamen, China, 26.-28.05.2004.

GASS 1973

Gass, S. I. (Hrsg.): Computer Model Documentation: A review and an Approach. Reports on Computer Science and Technology, National Bureau of Standards Special Publication, United States (1973).

GAUSEMEIER et al. 2006

Gausemeier, J.; Hahn, A.; Kespohl, H. D.; Seifert, L.: Vernetzte Produktentwicklung. München Wien: Cals Hanser 2006.

GAUSEMEIER et al. 2012

Gausemeier, J.; Lanza, G.; Lindemann, U. (Hrsg.): Produkte und Produktionssysteme integrativ konzipieren - Modellbildung und Analyse in der frühen Phase der Produktentstehung. München: Carl Hanser 2012.

GEITNER 2010

Geitner, G.-H.: The Bond Graph – an excellent modelling tool to study abstraction level and structure comparison. IEEE conference on Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). Lille, Frankreich, 01.-03.09.2010.

GERICKE & BLESSING 2012

Gericke, K.; Blessing, L.: An analysis of design process models across disciplines. 12th International Design Conference. Dubrovnik, Kroatien, 21.-24.05.2012.

GERO 1990

Gero, J. S.: Design prototypes: a knowledge representation schema for design. AI Magazine 11 (1990) 4, S. 26-36.

GIUNCHIGLIA et al. 2010

Giunchiglia, F.; Farazi, F.; Tanca, L.; de Virgilio, R.: The SemanticWeb Languages. In: De Virgilio, R. et al. (Hrsg.): Semantic Web Information Management. Berlin, Springer 2010.

GÖTTING 2010

Götting, R. M.: Informationssystem für den architektonischen Planungsprozess auf Produktmodellbasis. Technische Universität München, München (2010).

GRABOWSKI et al. 1993

Grabowski, H.; Anderl, R.; Polly, A.: Integriertes Produktmodell. Berlin: Beuth 1993.

GRONAU 2009

Gronau, N. (Hrsg.): Anwendungen und Systeme für das Wissensmanagement - ein aktueller Überblick. Berlin: Gito 2009.

GROBE AUSTING 2012

Große Austing, S.: Komplexitätsmessung von Produktmodellen. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg (2012).

GRUBER 1992

Gruber, T. R.: Model Formulation as a Problem Solving Task: Computer-assisted Engineering Modeling. International Journal of Intelligent Systems (1992) S. 1-25.

HABERFELLNER et al. 2012

Haberfellner, R.; De Weck, O.; Fricke, E.; Vössner, S.: Systems Engineering - Grundlagen und Anwendung. Zürich: Orell Füssli 2012.

HALFON 1983

Halfon, E.: Is there a best model structure? Comparing the model structures of different fate models. *Ecological Modelling* (1983) 20, S. 153-163.

HANNAH et al. 2012

Hannah, R.; Joshi, S.; Summers, J. D.: A user study of interpretability of engineering design representations. *Journal of Engineering Design* 23 (2012) 6, S. 443–468.

HANSEN et al. 1999

Hansen, M. T.; Nohria, N.; Tierney, T.: »What's Your Strategy for Managing Knowledge? *Harvard Business Review* 77 (1999) 2, S. 106-116.

HASKINS 2011

Haskins, C.: Systems Engineering Handbook - A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. International Council on Systems Engineering (INCOSE) 2011.

HELLENBRAND 2013

Hellenbrand, D.: Transdisziplinäre Planung und Synchronisation mechatronischer Produktentwicklungsprozesse. Dissertation, Technische Universität München, München (2013). (München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung))

HELMS 2012

Helms, B.: Object-Oriented Graph Grammars for Computational Design Synthesis. Dissertation, Technische Universität München, München (2012).

HENDERSON 1999

Henderson, K.: On line and on paper - visual representations, visual culture, and computer graphics in design engineering. Cambridge, Massachusetts; London, England: MIT Press 1999.

HEPPERLE 2013

Hepperle, C.: Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel. Dissertation, Technische Universität München, München (2013). (München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung))

HEPPERLE et al. 2011

Hepperle, C.; Orawski, R.; Langer, S.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Temporal aspects in lifecycle-oriented planning of product-service-systems. International Conference on Research into Design. Bangalore, Indien, 10.-12.01.2011.

HERBERG et al. 2010

Herberg, A.; Langer, S.; Lindemann, U.: Ontogeny and transformation of product models - analysis based on development project documentation. 11th International Design Conference DESIGN 2010. Dubrovnik, Kroatien, 17.-20.05.2010.

HESSE & MAYR 2008

Hesse, W.; Mayr, C. H.: Modellierung in der Softwaretechnik: eine Bestandsaufnahme. *Informatik-Spektrum* 31 (2008) 5, S. 377-393.

HICKMAN et al. 1998

Hickman, F.; Killin, J.; Land, L.; Mulhall, T.; Porter, D.; Taylor, R.: Analysis for knowledge-based systems - a practical guide to the KADS methodology. Chichester: Ellis Horwood Limited 1998.

HICKS et al. 2002

Hicks, B. J.; Culley, S. J.; Allen, R. D.; Mullineux, G.: A framework for the requirements of capturing, storing and reusing information and knowledge in engineering design. International Journal of Information Management 22 (2002) S. 263-280.

HOFFMANN 2013

Hoffmann, D. W.: Softwarequalität. Berlin Heidelberg: Springer 2013.

HOISL 2012

Hoisl, F.: Visual, Interactive 3D Spatial Grammars in CAD for Computational Design Synthesis. Dissertation, Technische Universität München, München (2012).

HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000

Hommel, B.-J.; van Reijswoud, V.: Assessing the Quality of Business Process Modelling Techniques. 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. Grand Wailea, Maui, Hawaii, 04.-07.01.2000.

HORVATH & RUDAS 2008

Horvath, L.; Rudas, I. J.: Communication and Knowledge in Product Model Supported Engineering Processes. IEEE International Conference on Computational Cybernetics. Singapore, 27.-29.11.2008.

HUBKA & EDER 1988

Hubka, V.; Eder, E.: Theory of Technical Systems - A Total Concept Theory for Engineering Design. Berlin Heidelberg: Springer 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2001

International Organization for Standardization (Hrsg.): ISO/IEC 9126: Information technology - Software Product Evaluation - Quality characteristics and guidelines for their use. Berlin: Beuth 2001.

IRLINGER 1998

Irlinger, R.: Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität München, München (1998). (Aachen: Shaker 1999 (Konstruktionstechnik München, Band 31))

ISERMANN 2007

Isermann, R.: Mechatronische Systeme - Grundlagen. Berlin Heidelberg: Springer 2007.

JOKISCH & ROSENDAHL 2010

Jokisch, M.; Rosendahl, J.: Klassifikation von Modellen. In: Bandow, G. et al. (Hrsg.): „Das ist gar kein Modell!“ - Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften. Berlin, Springer 2010, S. 23-54.

KASPEREK et al. 2013

Kasperek, D.; Kohn, A.; Maurer, M.: Identifying uncertainties within structural complexity management. 19th International Conference on Engineering Design. Seoul, Korea, 19.-22.08.2013.

KERLEY et al. 2009

Kerley, W.; Wynn, D. C.; Moss, M.; Coventry, G.; Clarkson, P. J.: Towards empirically-derived Guidelines for Process Modelling Interventions in Engineering Design. 17th International Conference on Engineering Design. Stanford, Kalifornien, 24.-27.08.2009.

KLIEME 2004

Klieme, E.: Was sind Kompetenzen und wie lassen sie sich messen? Zeitschrift für Pädagogik 56 (2004) 6, S. 10-13.

KLIEME et al. 2001

Klieme, E.; Funke, J.; Leutner, D.; Reimann, P.; Wirth, J.: Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz. Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. Zeitschrift für Pädagogik 47 (2001) 2, S. 179-200.

KOBLER 2010

Kobler, M.: Qualität von Prozessmodellen. Berlin: Logos 2010.

KOHN et al. 2013a

Kohn, A.; Hollauer, C.; Huber, M.; Lindemann, U.: Assistentensystem zur Unterstützung der projektspezifischen Arbeit mit Produktmodellen. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung. Stuttgart, 20.07.2013.

KOHN & LINDEMANN 2009

Kohn, A.; Lindemann, U.: Combination of algorithms and visualization techniques considering user requirements - a case study. 11th International DSM Conference. Greenville, USA, 12.-13.10.2009.

KOHN & LINDEMANN 2010

Kohn, A.; Lindemann, U.: Approach towards a more flexible handling of domains in complex systems. 12th International DSM Conference. Cambridge, England, 22.-23.07.2010.

KOHN & LINDEMANN 2011

Kohn, A.; Lindemann, U.: Search for similar technical solutions by object abstraction using an ontology. 18th International Conference on Engineering Design. Kopenhagen, Dänemark, 15.-18.08.2011.

KOHN et al. 2013b

Kohn, A.; Lindemann, U.; Maurer, M.: Knowledge base for supporting the handling of product models in engineering design. 19th International Conference on Engineering Design. Seoul, Korea, 19.-22.08.2013.

KOHN et al. 2012

Kohn, A.; Lutter-Günther, M.; Hagg, M.; Maurer, M.: Handling product information - towards an improved use of product models in engineering design. 12th International Design Conference. Dubrovnik, Kroatien, 21.-24.05.2012.

KOHN et al. 2011a

Kohn, A.; Maurer, M.; Schmidt, H. X.; Lindemann, U.: Use of existing ontologies as input for Structural Complexity Management - Reducing the effort for analysing and improving engineering systems. International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development. Paris, Frankreich, 25.-30.10.2011.

KOHN et al. 2010

Kohn, A.; Peter, G.; Lindemann, U.: The Challenge of automatically annotating solution documents. International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development. Valencia, Spanien, 25.-28.10.2010.

KOHN et al. 2013c

Kohn, A.; Reif, J.; Wolfenstetter, T.; Kernschmidt, K.; Goswami, S.; Krcmar, H.; Brodbeck, F.; Vogel-Heuser, B.; Lindemann, U.; Maurer, M.: Improving common model understanding within collaborative engineering design research projects. International Conference on Research into Design. Chennai, Indien, 07.-09.01.2013.

KOHN et al. 2011b

Kohn, A.; Schmidt, H. X.; Lindemann, U.: Erfolgreicher Umgang mit Wissensmodellen in Unternehmen - Handhabung semantischer Modelle zur Erschließung und Nutzung von Wissen über technische Lösungen. KnowTech 2011: Unternehmenswissen als Erfolgsfaktor mobilisieren. Bad Homburg, 28.-29.09.2011.

KÖNIGS 2013

Königs, S. F.: Konzeption und Realisierung einer Methode zur templategestützten Systementwicklung. Technischen Universität Berlin, Berlin (2013).

KORTLER et al. 2012

Kortler, S.; Kohn, A.; Lindemann, U.: Validation of product properties considering a high variety of complex products. 12th International Design Conference. Dubrovnik, Kroatien, 21.-24.05.2012.

KOTHARI 2012

Kothari, C. R.: Research Methodology: Methods and Techniques New Delhi, Indien: New Age International 2012.

KRCMAR 2010

Krcmar, H.: Informationsmanagement. Berlin Heidelberg: Springer 2010.

KÜHNE 2006

Kühne, T.: Matters of (Meta-) Modeling. Journal on Software and Systems Modeling 5 (2006) 4, S. 369-385.

KUNZ 2004

Kunz, A.: Interaktion mit dem digitalen Produktmodell im virtuellen Raum. Eidgenössische technische Hochschule Zürich, Zürich (2004).

LAUER 2010

Lauer, W. M.: Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen. Dissertation, Technische Universität München, München (2010). (München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung))

LEE et al. 2010

Lee, J. H.; Fenves, S. J.; Bock, C.; Suh, H. W.; Rachuri, S.; Fiorentini, X.; Sriram, R.: A Semantic Product Modeling Framework and Language for Behavior Evaluation. 6th Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering. Toronto, 21.-24.08.2010.

LEHNER 2009

Lehner, F.: Wissensmanagement - Grundlagen, Methoden, technische Unterstützung. München: Carl Hanser 2009.

LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Berlin Heidelberg: Springer 2009.

LINDEMANN et al. 2009

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: Structural Complexity Management. Berlin Heidelberg: Springer 2009.

LINDEMANN et al. 2012

Lindemann, U.; Meiwald, T.; Petermann, M.; Schenkl, S.: Know-how-Schutz im Wettbewerb - gegen Produktpiraterie und unerwünschten Know-how-Transfer. Berlin Heidelberg: Springer 2012.

LIPPARDT 2000

Lippardt, S.: Gezielte Förderung der Kreativität durch bildliche Produktmodelle. Düsseldorf: VDI-Verlag 2000.

LUGER 2005

Luger, G. F.: Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. Harlow, England: Addison Wesley 2005.

LYTRAS & POULOU DI 2006

Lytras, M. D.; Pouloudi, A.: Towards the development of a novel taxonomy of knowledge management systems from a learning perspective: an integrated approach to learning and knowledge infrastructures. Journal of Knowledge Management 10 (2006) 6, S. 64-80.

MACGREGOR 2003

MacGregor, S. P. (Hrsg.): Design research methods and methodology: a mini review and possible future directions. Center for Design Research, Stanford University, (2003).

MACLEOD & CORLETT 2005

MacLeod, R. A.; Corlett, J. (Hrsg.): Information Sources in Engineering. München: K.G. Saur 2005.

MASCLE 2009

Masclé, C.: Product Modelling and Decision Support System for Product EOL. IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing. Suwon, Korea, 17.-20.11.2009.

MAURER 2011

Maurer, M.: Systematic Knowledge Transfer based on Knowledge Correlations. International Conference on Research into Design. Bangalore, Indien, 10.-12.01.2011.

MCALPINE et al. 2011

McAlpine, H.; Hicks, B.; Tiryakioglu, C.: The digital divide: investigating the personal information management practices of engineers. 18th International Conference on Engineering Design. Kopenhagen, Dänemark, 15.-18.08.2011.

MCMAHON et al. 2004

McMahon, C.; Lowe, A.; Culley, S.: Knowledge management in engineering design: personalization and codification. *Journal of Engineering Design* 15 (2004) 4, S. 307-325.

MEERKAMM et al. 2009

Meerkamm, H.; Henrich, A.; Jablonski, S.; Krcmar, H.; Lindemann, U.; Rieg, F. (Hrsg.): *Flexible Prozessunterstützung in der Produktentwicklung: Prozesse - Daten - Navigation*. Aachen: Shaker 2009.

MEISEL & COLLINS 1973

Meisel, W. S.; Collins, D. C.: *Repro-Modeling: An Approach to Efficient Model Utilization and Interpretation*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 3 (1973) 4, S. 349-358

MILES & HUBERMAN 1994

Miles, M. B.; Huberman, M. A.: *Qualitative Data Analysis - An expanded Sourcebook*. London: Sage Publications 1994.

MILTON 2007

Milton, N. R.: *Knowledge Acquisition - A Step-by-step Guide*. London: Springer 2007.

MOELLER 1991

Moeller, J. (Hrsg.): *The domain of description: a systemic, action oriented approach to modelling*. Behavior memo, Fraunhofer Institute IITB Karlsruhe, Karlsruhe (1991).

MOSTASHARI 2011

Mostashari, A.: *Collaborative Modelling and Decision-Making for Complex Energy Systems*. Singapore: World Scientific 2011.

NANCE 1987

Nance, R. E.: *The Conical Methodology: A Framework for Simulation Model Development*. Conference on Simulation Methodology and Validation. Orlando, USA, 06.-09.04.1987.

NONAKA & TAKEUCHI 1995

Nonaka, I.; Takeuchi, H.: *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford: Oxford University Press 1995.

NOWAK & ROUCOULES 2002

Nowak, P.; Roucoules, L.: *Product Meta-Modelling: an approach for linking product models*. *Systems, Man and Cybernetics*. Hammamet, Tunesien, 06.-09.10.2002.

OEI et al. 1992

Oei, J. L. H.; van Hemmen, L. J. G. T.; Falkenberg, E. D.; Brinkkemper, S. (Hrsg.): *The meta model hierarchy: a framework for information systems concepts and techniques*. Technical Report No. 92-17, Department of Information Systems, University of Nijmegen, Nijmegen, Niederlande (1992).

PAHL et al. 2004

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Berlin Heidelberg: Springer 2004.

PAHL et al. 2007

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Engineering Design - A Systematic Approach. London: Springer 2007.

PETERMANN 2011

Petermann, M.: Schutz von Technologiewissen in der Investitionsgüterindustrie. Technische Universität München, München (2011). (München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung))

PIDD 1999

Pidd, M.: Just modeling through: A rough guide to modeling. Interfaces 29 (1999) 2, S. 118-132.

PONN 2007

Ponn, J.: Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte. Dissertation, Technische Universität München, München (2007). (München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung))

PONN & LINDEMANN 2011

Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. 2. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer 2011.

POTINECKE 2009

Potinecke, T. W.: Methode zur Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAX-Technologien. Universität Stuttgart, Stuttgart (2009).

PRATT 1995

Pratt, M. J.: Virtual Prototypes and Product Models in Mechanical Engineering. In: J. Rix, S. H., J. Teixeira (Hrsg.): Virtual Prototyping: Virtual environments and the product design process (IFIP Advances in Information and Communication Technology) First Edition Auflage. London, Springer 1995, S. 15

PROBST et al. 2010

Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. Wiesbaden: Gabler 2010.

PRODUKTENTWICKLUNG 2009

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Andreas Schwalmberger (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Verbesserung des Tutorrichtlinien-Konzepts für das CAD-Praktikum durch gezielte Aufbereitung und Präsentation des vorhandenen CATIA-Anwendungswissen. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2009.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Felix Bergander (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Evaluation des Einsatzes semantischer Technologien zum Management von Lösungswissen. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010.

## PRODUKTENTWICKLUNG 2011a

Produktentwicklung (Hrsg.): Bachelorarbeit Manuel Hagg (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011a.

## PRODUKTENTWICKLUNG 2011b

Produktentwicklung (Hrsg.): Bachelorarbeit Max Lutter-Günther (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Übertragung von Informationen zwischen Produktmodellen bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011b.

## PRODUKTENTWICKLUNG 2012a

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Eva-Maria Meindl (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Prozessverbesserung in der Entwicklung variantenreicher Produkte. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2012a.

## PRODUKTENTWICKLUNG 2012b

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Rainer Späth (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Visualisierung von Informationen in der Fahrzeugabsicherung. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2012b.

## PRODUKTENTWICKLUNG 2013a

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Michael Huber (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Entwicklung einer elektrischen Rangierhilfe für Motorräder und Analyse der Produktmodellnutzung. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2013a.

## PRODUKTENTWICKLUNG 2013b

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Lianna Kroll (nicht veröffentlichte Studienarbeit): 3D Visualisierung fertigungsrelevanter Informationen in der Antriebsentwicklung. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2013b.

## PRODUKTENTWICKLUNG 2013c

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Christoph Hollauer (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Entwicklung eines Assistentensystems zur Unterstützung der projektspezifischen Arbeit mit Produktmodellen. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2013c.

## PUERTA et al. 1992

Puerta, A.; Egar, J.; Tu, S.; Musen, M.: A multiple-method knowledge acquisition shell for the automatic generation of knowledge acquisition tools. Knowledge Acquisition 4 (1992) 2, S. 171-196.

## PULM 2004

Pulm, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Dissertation, Technischen Universität München, München (2004).

## QUIROGA 2011

Quiroga, J. J. H.: Documentation: Recalling the forgotten important. International Conference of the System Dynamics Society. Washington, D.C., 24.-28.07.2011.

RACHURI et al. 2008

Rachuri, S.; Subrahmanian, E.; Bouras, A.; Fenves, S. J.; Fofou, S.; Sriram, R. D.: Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management: Role of standards. *Computer-Aided Design* 40 (2008) 7, S. 789-800.

RAJAN & WHALEN 2007

Rajan, A.; Whalen, M. W.: Model Validation using Automatically Generated Requirements-Based Tests. 10th IEEE High Assurance Systems Engineering Symposium. Plano, Texas, 14.-16.11.2007.

REICHENBERGER 2010

Reichenberger, K.: *Kompodium semantische Netze* Berlin: Springer 2010.

RENGER et al. 2008

Renger, M.; Kolfshoten, G. L.; De Vreede, G.-J.: Challenges in collaborative modelling: a literature review and research agenda. *International Journal of Simulation and Process Modelling* 4 (2008) 3, S. 248-263.

RODENACKER 1991

Rodenacker, W. G.: *Methodisches Konstruieren - Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele*. Berlin Heidelberg: Springer 1991.

ROELOFSEN 2011

Roelofsen, J.: *Situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen*. Dissertation, Technische Universität München, München (2011). (München: Dr. Hut 2011 (Produktentwicklung))

ROELOFSEN et al. 2007

Roelofsen, J.; Lauer, W.; Lindemann, U.: Product Model Driven Development. 14th European Concurrent Engineering Conference. Delft, Niederlande, 25.-27.04.2007.

ROPOHL 1999

Ropohl, G.: *Allgemeine Technologie - eine Systemtheorie der Technik*. 2 Auflage. München: Carl Hanser Verlag 1999.

RUDE 1998

Rude, S.: *Wissensbasiertes Konstruieren*. Aachen: Shaker 1998.

RUMBAUGH et al. 1994

Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; Eddy, F.; Lorenzen, W.: *Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen*. München: Hanser 1994.

SANCHEZ 2007

Sanchez, P. J.: Fundamentals of Simulation Modeling. Winter Simulation Conference. Washington, D.C., 09.-12.12.2007.

SARGENT 1988

Sargent, R. E.: A tutorial on validation and verification of simulation models. Winter Simulation Conference. San Diego, Kalifornien, 12.-14.12.1988.

SARGENT 1986

Sargent, R. G.: The Use Of Graphical Models In Model Validation. Winter Simulation Conference. Washington, D.C., 08.-10.12.1986.

## SARGENT 1998

Sargent, R. G.: Verification and Validation of Simulation Models. Winter Simulation Conference. Washington, D.C., 13.-16.12.1998.

## SAVOIE &amp; FREY 2011

Savoie, T. B.; Frey, D. D.: Detecting mistakes in engineering models: the effects of experimental design. Research in Engineering Design 23 (2011) 2, S. 155-175.

## SCHOONMAKER 2003

Schoonmaker, S. J.: The CAD Guidebook - A Basic Manual for Understanding and Improving Computer-Aided Design. New York, USA: Marcel Dekker 2003.

## SCHREIBER et al. 1999

Schreiber, G.; Akkermans, H.; Anjewierden, A.; Hoog, R.; Shadbolt, N.; Van de Velde, W.; Wielinga, B.: Knowledge engineering and management. The CommonKADS Methodology. Massachusetts: MIT press 1999.

## SCHULZ 2008

Schulz, I.: Multimethodische Arbeitsumgebung für die Produktentwicklung. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen (2008).

## SCHUMANN &amp; MÜLLER 2000

Schumann, H.; Müller, W.: Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden. Berlin: Springer 2000.

## SCHWANKL 2002

Schwankl, L.: Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität München, München (2002). (München: Dr. Hut 2002 (Produktentwicklung München, Band 49))

## SEEGMÜLLER 2006

Seegmüller, K.: Die Qual der Wahl: Das geeignete Wissensmanagement-System finden. Wissensmanagement (2006)

## SENDLER 2009

Sendler, U.: Das PLM-Kompodium: Referenzbuch des Produkt-Lebenszyklus-Managements. Berlin Heidelberg: Springer 2009.

## SHADBOLT 2005

Shadbolt, N. R.: Eliciting Expertise. In: Wilson, J. R. et al. (Hrsg.): Evaluation of Human Work. Boca Raton, Florida, Taylor & Francis Ltd 2005.

## SHANNON 1975

Shannon, R. E.: Systems simulation: the art and science. Englewood: Prentice-Hall 1975.

## SIDDALL 1990

Siddall, J. N.: Expert Systems for Engineers. New York: Marcel Dekker 1990.

## SMITH &amp; NIELSON 2011

Smith, M. J. A.; Nielson, F.: Controlling Modelling Artifacts. 2011 Eighth International Conference on Quantitative Evaluation of SysTems. Aachen, Deutschland, 05.-08.09.2011.

SMITH & MORROW 1999

Smith, R. P.; Morrow, J. A.: Product development process modeling. *Design Studies* (1999) 20, S. 237-261.

SPÄTH et al. 2012

Späth, R.; Hesse, M.; Kohn, A.: Möglichkeiten der Informationsvisualisierung in der Montageabsicherung. *DfX-Symposium 2012*. Bamberg, 04.-05.10.2012.

STACHOWIAK 1973

Stachowiak, H.: *Allgemeine Modelltheorie*. Wien, New York: Springer 1973.

STACHOWIAK 1983

Stachowiak, H.: *Modelle, Konstruktion der Wirklichkeit*. München: W. Fink 1983.

STERMAN 2002

Sterman, J. D.: All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review* 18 (2002) 4, S. 501-531.

STOCK & STOCK 2008

Stock, W. G.; Stock, M.: *Wissensrepräsentation - Informationen auswerten und bereitstellen*. München: Oldenbourg 2008.

STOKES 2001

Stokes, M.: *Managing engineering knowledge - MOKA: methodology for knowledge based engineering applications*. London: Professional Engineering Publishing 2001.

STRONG et al. 1997

Strong, D.; Lee, Y.; Wang, R.: Data Quality In Context. *Communications of the ACM* 40 (1997) 5, S. 103-110.

STUCKENSCHMIDT 2009

Stuckenschmidt, H.: *Ontologien - Konzepte, Technologien und Anwendungen*. Berlin: Springer 2009.

STUDER et al. 1998

Studer, R.; Benjamins, V. R.; Fensel, D.: Knowledge engineering: principles and methods. *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering* 25 (1998) 1-2, S. 161-197.

SUMMERS et al. 2013

Summers, J.; Eckert, C.; Goel, A.: Function in Engineerings: Benchmarking Representations and Models. 19th International Conference on Engineering Design. Seoul, Korea, 19.-22.08.2013.

SUMMERS & ROSEN 2013

Summers, J.; Rosen, D.: Mechanical Engineering Modelling Language (MEML): Requirements for conceptual design. 19th International Conference on Engineering Design. Seoul, Korea, 19.-22.08.2013.

SUMMERS & SHAH 2004

Summers, J.; Shah, J.: Representation in engineering design: a framework for classification. ASME 2004 international design engineering technical conferences and computers and information in engineering conference. Salt Lake City, Utah, 28.09.-02.10.2004.

SURE et al. 2004

Sure, Y.; Staab, S.; Studer, R.: On-To-Knowledge Methodology (OTKM). In: Staab, S. et al. (Hrsg.): Handbook on Ontologies. Berlin, Springer 2004, S. 117-132.

SWEENEY & MEADOWS 2010

Sweeney, L. B.; Meadows, D.: The systems thinking playbook. White River Junction: Chelsea 2010.

SZYKMAN et al. 2001

Szykman, S.; Sriram, R. D.; Regli, W. C.: The Role of Knowledge in Next-Generation Product Development Systems. ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering 1 (2001) 1, S. 3-11.

TAKO 2011

Tako, A. A.: Model development in discrete-event simulation: Insights from six expert modelers. Winter Simulation Conference. Phoenix, USA, 11.-14.12.2011.

THALHEIM 2010

Thalheim, B.: Towards a Theory of Conceptual Modelling. Journal of Universal Computer Science 16 (2010) 20, S. 3102-3137.

THOMAS 2002

Thomas, M.: Informatische Modellbildung. Universität Potsdam, Potsdam (2002).

TILLER 2001

Tiller, M. M.: Introduction to Physical Modeling with Modelica. Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers 2001.

TONSHOFF & WINKLER 1994

Tonshoff, H. K.; Winkler, M.: Product Modelling for Holonic Manufacturing Systems. Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology, 1994. Troy, New York, 10.-12.10.1994.

TREVELYAN 2008

Trevelyan, J. P.: A Framework for Understanding Engineering Practice. ASEE Annual Conference. Pittsburgh, USA, 22.-25.06.2008.

TURBAN & VOLONINO 2012

Turban, E.; Volonino, L.: Information Technology for Management. Asia: John Wiley and Sons, Inc. 2012.

ULGEN & THOMASMA 1991

Ulgen, O. M.; Thomsma, T.: Reusable Models: Making your models more user-friendly. Winter Simulation Conference. Phoenix, USA, 08.-11.12.1991.

ULLMANN 2002

Ullmann, D.: The Mechanical Design Process. New York: McGraw-Hill Science 2002.

VAJNA 2005

Vajna, S.: Workflow for Design. In: Clarkson, P. J. et al. (Hrsg.): Design Process Improvement. London, Springer 2005, S. 366-385.

VAJNA et al. 2009

Vajna, S.; Weber, C.; Bley, H.; Zeman, K.; Hehenberger, P.: CAx für Ingenieure. Berlin Heidelberg: Springer 2009.

VARGA 2002

Varga, M.: Conceptual Modelling Styles. 24th International Conference on Information Technology Interfaces. Cavtat, Koratien, 24.-27.06.2002.

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE 2006

Verband der Automobilindustrie (Hrsg.): VDA-Empfehlung 4955: Umfang und Qualität von CAD/CAM-Daten. Frankfurt: Verband der Automobilindustrie 2006.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2221: Systematic approach to the development and design of technical systems and products. Berlin: Beuth 1993.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2002

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung: Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen. Berlin: Beuth 2002.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2003

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2249: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung CAD-Benutzungsfunktionen. Berlin: Beuth 2003.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2004

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Berlin: Beuth 2004.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Berlin: Beuth 2009.

VON PRAUN 1998

von Praun, C.: A Framework for Modelling and Simulating Data Flow in Distributed Computing Systems. IEEE Transactions on Nuclear Science 45 (1998) 4, S. 1951-1957.

VOSKUI 2012

Voskui, J. (Hrsg.): The Taxonomy Revolution, Part I: Knowledge Models. Taxonic B.V., Rijswijk, Niederlande (2012).

VOß 2007

Voß, J.: Tagging, Folksonomy & Co – Renaissance of Manual Indexing? 10th International Symposium for Information Science. Köln, 30.05.-01.06.2007.

WAGHMODE & SAHASRABUDHE 2008

Waghmode, L. Y.; Sahasrabudhe, A. D.: Product Life Cycle Cost Modelling – A Suggested Framework. First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology. Nagpur, Indien, 16.-18.07.2008.

WANDKE 2005

Wandke, H.: Assistance in human-machine interaction: a conceptual framework and a proposal for a taxonomy. Theoretical Issues in Ergonomics Science 6 (2005) 2, S. 129-155.

## WANG &amp; BROOKS 2007a

Wang, W.; Brooks, R. J.: Empirical Investigations of Conceptual Modeling and the Modeling Process. Winter Simulation Conference. Washington, D.C., 09.-12.12.2007.

## WANG &amp; BROOKS 2007b

Wang, W.; Brooks, R. J.: Improving the understanding of conceptual modelling. Journal of Simulation (2007b) 1, S. 153- 158.

## WEDEKIND 2001

Wedekind, H.: Thesaurus. In: Mertens, P. et al. (Hrsg.): Lexikon der Wirtschaftsinformatik. Berlin Heidelberg, Springer 2001.

## WELLNIAK 1995

Wellniak, R.: Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz. München: Carl Hanser 1995.

## WICKEL et al. 2013

Wickel, M.; Schenkl, S. A.; Schmidt, D. M.; Hense, J.; Mandl, H.; Maurer, M.: Knowledge structure maps based on Multiple Domain Matrices. InImpact: The Journal of Innovation Impact 5 (2013) S. 5 - 16.

## WILSON 2001

Wilson, B.: Soft systems methodology Conceptual model building and its contribution. Chichester: John Wiley & Sons 2001.

## WIRTZ 2001

Wirtz, J.: Ein Referenzmodell zur integrationsgerechten Konzeption von Produktdatenmanagement. Technische Universität München, München (2001).

## WYNN et al. 2010

Wynn, D. C.; Maier, A. M.; Clarkson, P. J.: How can PD process modelling be made more useful? An exploration of factors which influence modelling utility. International Design Conference. Dubrovnik, Kroatien, 17.- 20.03.2010.

## YANG &amp; MIAO 2006

Yang, Q. Z.; Miao, C. Y.: Ontology Modelling and Engineering for Product Development Process Description and Integration. Industrial Informatics, 2006. Singapore, 16.-18.08.2006.

## YINGKUI &amp; KAIQI 2011

Yingkui, G.; Kaiqi, H.: Digital Modelling of Product Development Process Supporting Entire Life Cycle. 3rd International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Shanghai, 05.-07.01.2011.

## YU 1997

Yu, E. S. K.: Towards Modelling and Reasoning Support for Early-Phase Requirements Engineering. 3rd IEEE International Symposium on Requirements Engineering. Annapolis, Maryland, 06.-10.01.1997.

## ZEIGLER et al. 2000

Zeigler, B. P.; Praehofer, H.; Kim, T. G.: Theory of Modeling and Simulation - Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems. San Diego, Kalifornien: Academic Press, Elsevier 2000.

ZHU et al. 2004

Zhu, J.; Yassine, A. A.; Sreenivas, R. S.: Information Incorporation Policies in Product Development. International Design Engineering Technical Conferences. Salt Lake City, Utah, 28.09- 02.10.2004.



## 10. Anhang

Im Anhang sind Informationen und Unterlagen zur Ergänzung der einzelnen Kapitel enthalten. In den Kapiteln wurde bereits auf diese ergänzenden Informationen verwiesen. Die folgende Tabelle 17 gibt eine Übersicht über die im Anhang enthaltenen Inhalte und verweist auf die jeweilige Stelle im Hauptteil dieser Dissertation.

*Tabelle 17: Bezug der Inhalte des Anhangs zu den einzelnen Kapiteln*

Inhalt	Bezug zu Kapitel
Definitionen Produktmodelle	Kapitel 4.3.1
Zur Erstellung der Wissensbasis genutzte Literaturquellen	Kapitel 6.2
Wissensdokumente für Konzepte der Ontologie	Kapitel 6.3
Beschreibungen der Tätigkeiten	Kapitel 6.4
EPKs der Teilschritte	Kapitel 6.4
Sammlung Produktmodelltypen	Kapitel 6.5
Produktmodelltypen-Klassifikation	Kapitel 6.5
Regeln / Hinweise zur Gestaltung der Arbeit mit Modellen	Kapitel 6.6
Zuordnung der Regel und Hinweise zu Teilschritten und Konzepten	Kapitel 6.6
Fragencheckliste zur Spezifizierung des Wissensbedarfs	Kapitel 7.2.1

## 10.1 Definitionen von Produktmodellen

Die folgende Tabelle 18 listet eine Auswahl an Produktmodell-Definitionen auf.

Tabelle 18: Definitionen Produktmodell

Definition	Quelle
„Ein Produktmodell ist das Modell, das alle relevanten Informationen, die für die Produkterstellung, -nutzung und -entsorgung nötig sind, in hinreichender Vollständigkeit enthält. Zudem beinhaltet ein Produktmodell alle geordneten Informationen, die zur Auftragsabwicklung für ein Produkt notwendig sind. Das Produktmodell bezieht sich nicht auf ein spezielles Produkt, sondern gibt an, welche Produktdaten zu einer ganzheitlichen Produktbeschreibung gehören.“	(POTINECKE 2009, S. 51)
„Ein Produktmodell ist ein Modell, das alle für die Produkterstellung, -nutzung und -entsorgung relevanten Informationen in hinreichender Vollständigkeit enthält. Praxisdefinition: sämtliche geordneten Informationen, die zur Auftragsabwicklung für ein Produkt nötig sind.“	(EHRENSPIEL 2009, S.695)
„Die formale Beschreibung aller Informationen zu einem Produkt über alle Phasen des Produktlebenszyklusses hinweg in einem Modell.“	(VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2002, S.88)
„Unter dem Digitalen Produkt versteht man (...) die Gesamtheit aller Daten, die während des Produktentwicklungsprozesses erzeugt werden. Diese werden konsistent verwaltet und dienen für weitere Prozesse als Arbeitsbasis und Ausgangslage. Sie werden durch die Nutzung von Hilfsmitteln der Informationstechnologie weiter verwendet.“	(KUNZ 2004, S. 13)
„Ein Produktmodell besteht aus den Komponenten: Produktstammsatz (selbständig aussagefähig) und Produktstruktur (Zuordnungsdaten – stellen Beziehungen zwischen Ausprägungen der Stammdaten her) sowie Dokumente und Dokumentenstrukturen.“	(EIGNER & STELZER 2009, S. 28)
„Produktmodelle sind erforderlich, um schrittweise Strukturen und Datenkomplexe zur Beschreibung und Darstellung des zu entwickelnden Produktes aufzubauen (Produktdarstellende Modelle und produktdefinierende Daten, Produktbeschreibende Modelle). Sie enthalten die das Produkt oder Teile des Produkts kennzeichnenden Daten mit ihren Verknüpfungen, jeweils mit dem Konkretisierungs- und Vollständigkeitsgrad des jeweiligen Arbeitsabschnitts (auch Partialmodelle genannt).“	(VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993, S. 13)
„Die Spezifikation von Produktinformationen wird auch Produktmodell genannt. es bezeichnet damit ein formales Abbild realer Produkteigenschaften. Gefordert wird eine Spezifikation von Produktinformationen in einer strukturierten, rechnerverarbeitbaren Darstellung.“	(GRABOWSKI et al. 1993, S. 4 f.)
„Die Summe der Produktdaten bildet das Produktmodell, die rechnerinterne Repräsentation des zu entwickelnden Produktes. Produktmodelle haben die Zielsetzung, Produkte mit ihren für den gesamten Lebenszyklus relevanten Informationen digital abzubilden. Das Produktdatenmodell ist das konzeptionelle und informationstechnische Modell des Produktmodells.“	(GAUSEMEIER et al. 2006, S. 225)
„Alle Eigenschaften eines Produktes sowie die zu ihrer Entwicklung, Herstellung, Vertrieb, Wartung und Entsorgung notwendigen Informationen werden als Produktdaten beschrieben. Die Gesamtheit aller Produktdaten stellt somit eine Art virtuelle Beschreibung des Produktes dar und wird als Produktmodell bezeichnet.“	(AWISZUS 2000, S. 69)
„Spezielle Datenformate erlauben es, auch verknüpfte Informationen für Bauteile abzuspeichern - und zwar so, dass in der Gesamtheit der gespeicherten Daten virtuelle Modelle von Produkten (Produktmodelle) entstehen.“	(GÖTTING 2010, S. 2)
„Das Produktmodell kann als informationstechnisches Modell interpretiert werden, welches als Vorlage zur Verwirklichung des Produkts dient und aus den Produktdaten, den Prozessdaten und den Organisationsdaten besteht.“	(SCHULZ 2008, S. 40)
„Ein Produktmodell enthält alle für die Produkterstellung, -nutzung und -entsorgung relevanten Informationen. Es ist eng verknüpft mit der Produktlogik, die die Zusammenhänge zwischen Anforderungen, Produktmerkmalen, sonstigen Einflüssen sowie den Bauteilen und Baugruppen des Produkts umfasst.“	(PULM 2004, S. 146)
„Ein Produktmodell ist die Beschreibung eines nicht notwendigerweise existierenden Produkts. Die Beschreibung erfolgt durch Abbildung von Eigenschaften entsprechend festgelegter Modellierungsregeln, die für bestimmte Zwecke formuliert werden.“	(WELLNIAK 1995, S. 41)

## **10.2 Zur Erstellung der Wissensbasis genutzte Literaturquellen**

Die folgende Tabelle 19 detailliert die in der Literaturanalyse zur Erstellung der Wissensbasis berücksichtigten Quellen. Für jede der Quellen ist aufgelistet, ob Wissen in Form von konkreten Regeln und Hinweisen bezüglich der Arbeit mit Modellen, Modellklassifikationen oder prozedurales Modellierungsvorgehen enthalten ist. Ebenfalls sind die jeweiligen Anwendungsfelder der Literaturquellen angegeben.

Tabelle 19: Für die Literaturanalyse verwendete Literaturquellen und deren Inhalt

Quelle	Anwendungsfeld	Modell- klassifikation	Modellierungs- abläufe	Regeln / Hinweise
BAKALEM & HABCHI 1994	Produktion	nein	ja	ja
BECK 1991	Umweltmodellierung	nein	nein	ja
BECKER 1998	Prozessmodellierung	nein	nein	ja
BIRTA & ARBEZ 2007	Simulation	ja	ja	ja
BROOKS & TOBIAS 1996	Simulation	nein	nein	ja
BUBENKO & ROLLAND 1994	Informatik	nein	ja	nein
CHAN 1994	Wissensmodellierung	nein	ja	nein
DÜRRENBARGER et al. 1999	Entscheidungsmodellierung	nein	nein	ja
FERNANDEZ et al. 1997	Wissensmodellierung	nein	ja	ja
GASS 1973	Simulation	nein	nein	ja
GEITNER 2010	Umweltmodellierung	ja	nein	nein
GRUBER 1992	Wissensmodellierung	nein	ja	ja
HALFON 1983	Umweltmodellierung	ja	nein	nein
HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000	Prozessmodellierung	nein	nein	ja
KERLEY et al. 2009	Prozessmodellierung	nein	ja	ja
LINDEMANN et al. 2009	Systems Engineering	nein	ja	ja
MASCLE 2009	Produktmodellierung	nein	nein	nein
MEISEL & COLLINS 1973	Systems Engineering	nein	nein	ja
MOELLER 1991	Wissensmodellierung	ja	ja	ja
MOSTASHARI 2011	Systems Engineering	ja	ja	ja
NANCE 1987	Simulation	nein	ja	ja
NOWAK & ROUCOULES 2002	Produktmodellierung	ja	nein	nein
PIDD 1999	Simulation	nein	nein	ja
QUIROGA 2011	Produktmodellierung	nein	ja	ja
RAJAN & WHALEN 2007	Informatik	nein	ja	nein
RENGER et al. 2008	Prozessmodellierung	nein	nein	ja
SANCHEZ 2007	Simulation	nein	ja	ja
SARGENT 1986	Simulation	nein	ja	ja
SARGENT 1988	Simulation	nein	ja	nein
SARGENT 1998	Simulation	nein	ja	ja
SMITH & MORROW 1999	Prozessmodellierung	ja	nein	ja
SMITH & NIELSON 2011	Systems Engineering	ja	nein	ja
TAKO 2011	Simulation	nein	ja	ja
TONSHOFF & WINKLER 1994	Produktmodellierung	nein	nein	ja
ULGEN & THOMASMA 1991	Simulation	ja	nein	ja
VAJNA et al. 2009	Produktmodellierung	ja	ja	ja
VARGA 2002	Datenmodellierung	nein	ja	nein
VDI 2249	Produktmodellierung	ja	ja	ja
VDI 3633	Simulation	nein	ja	nein
VON PRAUN 1998	Informatik	ja	nein	nein
WAGHMODE & SAHASRABUDHE 2008	Kostenmodellierung	nein	nein	ja
WANG & BROOKS 2007A	Simulation	nein	nein	ja
WANG & BROOKS 2007	Simulation	nein	nein	ja
WYNN et al. 2010	Prozessmodellierung	nein	ja	ja
YANG & MIAO 2006	Wissensmodellierung	nein	ja	nein
YINGKUI & KAIQI 2011	Prozessmodellierung	nein	nein	ja
YU 1997	Informatik	nein	nein	ja
		<b>12</b>	<b>24</b>	<b>35</b>

### 10.3 Wissensdokumente für die Konzepte der Ontologie

In diesem Kapitel werden die Konzepte der Ontologie anhand einzelner Wissensdokumente beschrieben. Die Wissensdokumente beschreiben ein Konzept generell anhand des Namens des Konzepts, einer Definition und das Konzept verbindende Relationen. Darüber hinaus werden für alle Konzepte Attribute definiert, anhand derer die Instanzen der Konzepte beschrieben werden können. Die Reihenfolge erfolgt wie in Tabelle 12 angegeben.

#### Wissensdokument für das Konzept „Modell“

<b>Name des Konzepts: Modell</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Definition	Ein Modell ist eine Abbildung eines Originals. Es repräsentiert die für jemanden in einem Zeitraum hinsichtlich eines bestimmten Zwecks relevanten Attribute des Originals.
Relationen	<u>Modell</u> → <u>bildet ab</u> → <u>Original</u> <u>Modell</u> → <u>eignet sich für</u> → <u>Ziel</u> <u>Ziel</u> → <u>erfordert</u> → <u>Modell</u> <u>Tätigkeit</u> → <u>nutzt</u> → <u>Modell</u> <u>Tätigkeit</u> → <u>verändert</u> → <u>Modell</u> <u>Situation</u> → <u>wirkt sich aus auf</u> → <u>Modell</u>
Attribute	
Name des Modells	Wie heißt das Modell?
Original des Modells	Was wird in dem Modell beschrieben? Was ist das Original des Modells?
Ersteller	Von welcher Person wurde das Modell erstellt?
Direkte Eigenschaften des Modells	Beschreibung der direkten Eigenschaften des Modells (Größe, Anzahl Konzepte, Relationen, etc.).
Indirekte Eigenschaften des Modells	Beschreibung der indirekten Eigenschaften des Modells (Anwendbarkeit, Funktionsfähigkeit, etc.).
Modellzweck	Beschreibung des Zwecks des Modells. Wofür wird das Modell erstellt? Welchem Zweck dient es?
Technische Umsetzung	Welche Werkzeuge, Modellierungssprache, Modelltyp etc. wurden genutzt?
Umfang der Abbildung	Welcher Aspekt des Originals (Originalattribut) wird wie detailliert abgebildet?
Weitere Verwendung des Modells	Von welcher Person wird das Modell genutzt / soll das Modell wie genutzt werden?
Allgemeiner Modellzweck	Auswahl zwischen: Beschreibungsmodell / Experimentalmodell / Gestaltungsmodell / Theoretisches Modell / Operatives Modell / Berechnungsmodell
Art der Existenz	Auswahl zwischen: materiell / immateriell
Art der Originalrepräsentation	Welche Fähigkeiten besitzt das Modell zur Abbildung des Originals? Mengenabbildung diskret / kontinuierlich Zeitverhalten statisch / dynamisch Parameterzusammenhänge linear / nichtlinear Zufallsverhalten deterministisch / stochastisch

### Wissensdokument für das Konzept „Produktmodell“

<b>Name des Konzepts: Produktmodell</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Produktmodell
Definition	Produktmodelle sind all diejenigen Modelle, die als Original ein Produkt haben.
Oberkonzepte	<u>Modell</u>
Attribute	
Original des Modells	Was wird in dem Modell beschrieben? Welches Produkt ist das Original des Modells?
Geerbte Attribute des „Modells“	Siehe Attribute <u>Modell</u> .

### Wissensdokument für das Konzept „Modelltyp“

<b>Name des Konzepts: Modelltyp</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Modelltyp
Definition	Ein Modell entsteht durch die Instanziierung eines Modelltyps. Der Modelltyp stellt somit das Meta-Modell des Modells dar. Da allerdings das Meta-Modell oftmals nicht explizit formuliert ist (z. B. bei einem physischen Prototyp), wird der Begriff des Modelltyps hier bevorzugt verwendet.
Relationen	<u>Modelltyp</u> → gibt Ausdrucksmächtigkeit vor → <u>Modell</u> <u>Modelltyp</u> → eignet sich für → <u>Ziel</u>
Attribute	
Name des Modelltyps	Wie heißt der Modelltyp?
Abstraktionsgrad	Der Abstraktionsgrad beschreibt die Detaillierungstiefe der enthaltenen Originalinformationen auf qualitative Art.
Darstellungsform	Bestimmt, wie das Modell dargestellt ist bzw. in welcher Existenzform es vorliegt.
Konkretisierungsgrad	Konkretisierungsgrad der Informationen in dem Modelltyp.
Verständlichkeit/ Anwendbarkeit	Die Verständlichkeit beschreibt subjektiv, wie leicht die in dem Modell enthaltenen Informationen genutzt werden können.
Vollständigkeit	Die Vollständigkeit beschreibt, wie viele Merkmale des Originals auf der jeweiligen Abstraktionsstufe festgelegt sind.
Zweck	Beschreibt den Zweck, für den der Modelltyp vorrangig eingesetzt wird.
Modellierungssprache	Beschreibung der für den Modelltyp zu nutzende Modellierungssprache.

**Wissensdokument für das Konzept „Produktmodelltyp“**

<b>Name des Konzepts: Produktmodelltyp</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Produktmodelltyp
Definition	Ein Produktmodell entsteht durch die Instanziierung eines Produktmodelltyps. Der Produktmodelltyp stellt das Meta-Modell des Produktmodells dar.
Oberkonzept	<u>Modelltyp</u>
Attribute	
Name	Wie heißt der Produktmodelltyp?
Abstraktionsgrad	Der Abstraktionsgrad beschreibt die Detaillierungstiefe der enthaltenen Produktinformationen auf qualitative Art. Auswahlmöglichkeiten: abstrakte Produktinformationen, Mittelabstrakte Produktinformationen, Konkrete Produktinformationen
Darstellungsform	Die Darstellungsform bestimmt, wie das Modell dargestellt ist bzw. in welcher Existenzform es vorliegt. Auswahlmöglichkeiten: analytisch, graphisch, Tabelle/Matrix, textuell, immateriell, physikalisch
Konkretisierungsgrad	Konkretisierungsgrad der Informationen in dem Produktmodelltyp entsprechend Einteilung nach Ponn 2011 (S. 27). Auswahlmöglichkeiten: Anforderungsmodell, Funktionsmodell, Wirkmodell, Baummodell
Lebenszyklusphase	Die Lebenszyklusphase beschreibt, in welcher Phase des Lebenszyklus der Modelltyp vorrangig Verwendung findet. Auswahlmöglichkeiten: Produktplanung, Entwicklung & Konstruktion, Fertigung & Montage, Produktvertrieb, Produktnutzung & Service, Redistribution & Recycling
Verständlichkeit	Die Verständlichkeit beschreibt subjektiv, wie leicht die in dem Modell enthaltenen Informationen genutzt werden können. Auswahlmöglichkeiten: leicht verständlich, verständlich, schwer verständlich
Vollständigkeit	Die Vollständigkeit beschreibt, wie viele Produktmerkmale auf der jeweiligen Abstraktionsstufe festgelegt sind. Auswahlmöglichkeiten: wenige Produktmerkmale festgelegt, einige/viele Produktmerkmale festgelegt, alle Produktmerkmale festgelegt
Zweck	Der Zweck beschreibt, wofür der Produktmodelltyp vorrangig eingesetzt wird in Anlehnung an die Klassifikation von Ponn, 2011 (S. 20). Auswahlmöglichkeiten: Zielmodell, Problemmodell, Entwicklungsmodell, Verifikationsmodell

### Wissensdokument für das Konzept „Original“

<b>Name des Konzepts: Original</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Original
Definition	Das Original wird durch das Modell abgebildet. Das Original kann jedes beliebige reale oder gedachte Objekt sein.
Relationen	<u>Modell</u> → <u>bildet ab</u> → <u>Original</u>
Attribute	
Name	Wie heißt das Original?
Ort des Originals	Wo befindet sich das Original?
Erscheinungsform des Originals	Ist das Original bereits real existent oder gedacht?
Weitere Merkmale des Originals	Ggfs.: Beschreibung von: Beobachtbarkeit; Essenzielle Bestandteile; Systemverhalten; Unerwartetes Verhalten; Entscheidungsmöglichkeit / Beeinflussbarkeit des Originals

### Wissensdokument für das Konzept „Ziel“

<b>Name des Konzepts: Ziel</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Ziel
Definition	Das Ziel einer Tätigkeit bestimmt die Ausrichtung der Tätigkeit und dient der Bewertung des Erfolgs der Tätigkeit.
Relationen	<u>Ziel</u> → <u>bedingt</u> → <u>Tätigkeit</u> <u>Tätigkeit</u> → <u>verfolgt</u> → <u>Ziel</u> <u>Modelltyp</u> → <u>eignet sich für</u> → <u>Ziel</u> <u>Ziel</u> → <u>erfordert</u> → <u>Modell</u> <u>Modell</u> → <u>eignet sich für</u> → <u>Ziel</u>
Attribute	
Beschreibung Ziel	Was soll in einer bestimmten Situation durch eine Tätigkeit erreicht werden?
Messbare Faktoren	Gibt es messbare Faktoren, die herangezogen werden können, um den Abschluss der Handlung bzw. die Qualität der Ergebnisse zu bewerten?
Weitere Merkmale des Ziels	Angedachte Anwendung des Modells; Beabsichtigte Qualität des Ergebnisses; Festlegung der Ziele; Formulierung des Modellzwecks; Hintergründe der Modellerstellung; Potential der Modellanwendung; Strukturierung des Problems; Treiber der Modellerstellung; Übereinstimmung der Modellierungsziele mit Unternehmenszielen; Zeitpunkt des Mehrwerts der Modellierung

**Wissensdokument für das Konzept „Tätigkeit“**

<b>Name des Konzepts: Tätigkeit</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Tätigkeit
Definition	Eine Tätigkeit besteht aus einer Abfolge von <u>Teilschritten</u> und verfolgt ein bestimmtes Ziel hinsichtlich der Veränderung von Artefakten.
Relationen	<u>Tätigkeit</u> → <u>besteht aus Folge von</u> → <u>Teilschritten</u> <u>Ziel</u> → <u>bedingt</u> → <u>Tätigkeit</u> <u>Tätigkeit</u> → <u>verfolgt</u> → <u>Ziel</u> <u>Tätigkeit</u> → <u>nutzt</u> → <u>Modell</u> <u>Tätigkeit</u> → <u>verändert</u> → <u>Modell</u>
Attribute	
Zustand vor der Tätigkeit	Es wird der Ausgangszustand vor der Durchführung der Tätigkeit beschrieben
Zustand nach der Tätigkeit	Es wird der Zustand nach der Durchführung dieser Tätigkeit beschrieben
Beschreibung der Tätigkeit	Kurze verbale Beschreibung der Tätigkeit.
Aufschlüsselung in Teilschritte	Darstellung der zeitlichen Abläufe als Folge der dieser Tätigkeit zugehörigen Teilschritte.
Beispiel der Tätigkeit	Ein kurzes Beispiel soll die Tätigkeit exemplarisch veranschaulichen.
Piktogramm	Ein Piktogramm der Tätigkeit dient der Veranschaulichung.
Weitere Merkmale	Aspekte der Durchführung (Dauer etc.); Eingesetzte Hilfsmittel und Methoden

**Wissensdokument für das Konzept „Teilschritt“**

<b>Name des Konzepts: Teilschritt</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Teilschritt
Definition	Ein Teilschritt ist eine Abfolge einzelner, nicht weiter sinnvoll zu detaillierender Prozessschritte. Die Abfolge mehrerer Teilschritte ergibt eine <u>Tätigkeit</u> .
Relationen	<u>Tätigkeit</u> → <u>besteht aus Folge von</u> → <u>Teilschritten</u> <u>Teilschritt</u> → <u>folgt auf</u> → <u>Teilschritt</u> <u>Hilfsmittel</u> → <u>unterstützt</u> → <u>Teilschritt</u>
Attribute	
Beschreibung des Teilschrittes	Kurze verbale Beschreibung des Teilschrittes.
Aufschlüsselung in Prozessschritte	Darstellung der zeitlichen Abläufe als Folge der dieser Tätigkeit zugehörigen Prozessschritte als ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK). Darin sind neben den Prozessschritten auch die erforderlichen Inputs und generierten Outputs beschrieben.
Generierte Informationen	In dem jeweiligen Teilschritt generierte Informationen werden in entsprechender Form dokumentiert (z. B. textuell, als Tabelle, graphisch, etc.)

**Wissensdokument für das Konzept „Hilfsmittel“**

<b>Name des Konzepts: Hilfsmittel</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Hilfsmittel
Definition	Für die Unterstützung der Teilschritte einer Tätigkeit können unterschiedliche Unterstützungsmöglichkeiten (Hilfsmittel) genutzt werden. Regeln, Werkzeuge, Best Practices und Methoden sind exemplarische Hilfsmittel.
Relationen	<u>Hilfsmittel</u> → <u>unterstützt</u> → <u>Teilschritt</u> <u>Hilfsmittel</u> → <u>berücksichtigt</u> → <u>Situation</u>
Attribute	
Name	Wie heißt das Hilfsmittel?
Randbedingungen	Beschreibungen der Randbedingungen, in denen das Hilfsmittel eingesetzt werden kann.

**Wissensdokument für das Konzept „Werkzeug“**

<b>Name des Konzepts: Werkzeug</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Werkzeug
Definition	Ein Werkzeug wird eingesetzt, um einen Teilschritt zu unterstützen. Ein Werkzeug kann computerbasiert (z. B. eine Software) oder auch eine Checkliste, ein Formblatt oder ähnliches sein.
Oberkonzepte	<u>Hilfsmittel</u>
Attribute	
Software / Hardwareanforderungen	Welche Anforderungen bezüglich der Nutzung des Werkzeugs bestehen?

**Wissensdokument für das Konzept „Vorgehen“**

<b>Name des Konzepts: Vorgehen</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Vorgehen
Definition	Ein Vorgehen detailliert einen Teilschritt hinsichtlich einzelner Vorgehensschritte aus und legt somit im Sinne einer Handlungsempfehlung die zeitliche Gestaltung eines Teilschrittes fest. Das Vorgehen kann bspw. in Form einer ereignisgesteuerten Prozesskette beschrieben werden.
Oberkonzepte	<u>Hilfsmittel</u>
Attribute	
Schritte des Vorgehens	Beschreibung der einzelnen Schritte des Vorgehens
Erforderlicher Input	Welcher Input ist für die Durchführung erforderlich?
Generierter Output	Welcher Output wird erzeugt?

**Wissensdokument für das Konzept „Best Practice / Erfahrungen“**

<b>Name des Konzepts: Best Practice / Erfahrungen</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Best Practice / Erfahrungen
Definition	Erfahrungen und Best Practices aus früheren Projekten können zur Unterstützung eines Teilschrittes genutzt werden.
Oberkonzepte	<u>Hilfsmittel</u>
Attribute	
Beschreibung Best Practices	Beschreibung der gesammelten Erfahrung.
Hintergrund / Herkunft	Beschreibung der Herkunft der Best Practice bzw. der Rahmenbedingungen der Erfahrung.

**Wissensdokument für das Konzept „Situation“**

<b>Name des Konzepts: Situation</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Situation
Definition	Die Situation beschreibt die aktuell vorherrschenden Zustände und Rahmenbedingungen die auf eine Handlung wirken (z. B. die Anzahl an beteiligten Personen).
Relationen	<u>Situation</u> → <u>wirkt sich aus auf</u> → <u>Modell</u> <u>Situation</u> → <u>wirkt sich aus auf</u> → <u>Teilschritt</u> <u>Hilfsmittel</u> → <u>berücksichtigt</u> → <u>Situation</u> <u>Einflussfaktor</u> → <u>beeinflusst</u> → <u>Situation</u>
Attribute	
Merkmale der Situation	Das Merkmal der Situation beschreibt, welcher Einflussfaktor in der Situation sich auf die Gestaltung der Tätigkeit und damit das Ergebnis der Handlung auswirkt (z. B. <i>Anzahl Personen</i> ). Eine Situation weist mehrere Merkmale auf.
Ausprägungen des Merkmals	Die Ausprägung des Faktors beschreibt den Wert des Faktors in der jeweiligen Situation (z. B. <i>viele</i> Personen)

**Wissensdokument für das Konzept „Einflussfaktor“**

<b>Name des Konzepts: Einflussfaktor</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Einflussfaktor
Definition	Ein Einflussfaktor wirkt auf eine Situation und beeinflusst somit die Durchführung einer Handlung.
Relationen	<u>Einflussfaktor</u> → <u>beeinflusst</u> → <u>Situation</u>
Attribute	
Name	Name des Einflussfaktors
Beschreibung	Beschreibung des Einflussfaktors.

### Wissensdokument für das Konzept „Involvierte Personen“

<b>Name des Konzepts: Involvierte Personen</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Involvierte Personen
Definition	Involvierte Personen sind alle an der Tätigkeit direkt oder indirekt beteiligten Personen (z. B. Modellierer, Experte, Nutzer des Modells, etc.).
Oberkonzept	<u>Einflussfaktor</u>
Attribute	
Name	Name des Einflussfaktors
Arbeitsgestaltung	Arbeitsbelastung; Fähigkeit zur Veränderung des Modells; Kognitive Belastung; Kreativität; Objektivität; Zeitpunkt des Mit-Einbeziehens
Eigene Meinung über Tätigkeit und Ergebnisse	Akzeptanz der Ergebnisse; Zufriedenheit mit den Ergebnissen
Persönlicher Hintergrund	Beruf / Ausbildung; Disziplin; Einrichtung, an der die Person tätig ist; Grundlegende Fähigkeiten; Modellierungserfahrung; Prägung durch bestimmte Modellierungstechniken; Training; Wissen über Anwendung von Modelltypen
Unternehmenskontext	Gründe für die Teilnahme; Position im Unternehmen; Stakeholder / Rolle im Projekt
Teamfähigkeit und Arbeitseifer	Beteiligung an Gruppenarbeit; Einbringen eigener Ideen; Motivation / Arbeitseifer
Wissen über das Original	Expertise; Fähigkeit, Abweichungen zu erkennen; Systemkenntnis; Wissen über das Original

### Wissensdokument für das Konzept „Gruppenaspekte“

<b>Name des Konzepts: Gruppenaspekte</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Gruppenaspekte
Definition	Unter Gruppenaspekte fallen diejenigen beeinflussenden Faktoren, die aus der Interaktion der involvierten Personen entstehen.
Oberkonzept	<u>Einflussfaktor</u>
Attribute	
Name	Name des Einflussfaktors
Gestaltung der Zusammenarbeit	Dauer der Zusammenarbeit; Gruppengröße; Konstanz der Gruppe; Nachbereitung von Treffen; Sprechzeit; Überlappung der Expertise; Unterstützung der Zusammenarbeit; Vorbereitung von Treffen; Zeit zwischen den Treffen; Zusammensetzung
Einbeziehung der Teilnehmer	Diskussionsfreudigkeit; Grad der Zusammenarbeit
Aufgabe der Teilnehmer	Aufgabenstruktur; Einsatz eines Moderators; Rollenverteilung
Emerging States	Gemeinsames / gegenseitiges Verständnis; Konformismus; Konsens

**Wissensdokument für das Konzept „Rahmenbedingungen“**

<b>Name des Konzepts: Rahmenbedingungen</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Rahmenbedingungen
Definition	Rahmenbedingungen beschreiben die Begebenheiten, die eine Situation beeinflussen.
Oberkonzept	<u>Einflussfaktor</u>
Attribute	
Name	Name des Einflussfaktors
Ressourcen	Bezahlung / erforderliche Kosten für Personal; Räumlichkeiten; Verfügbare Zeit; Vorbereitung; Vorhandenes Budget; Werkzeuge
Projekt	Projekt und Projektart; Schnittstellen zwischen Disziplinen; Unterschiedlichkeit der beteiligten Disziplinen; Umgebung / Kontext

**Wissensdokument für das Konzept „Daten - / Informationslage“**

<b>Name des Konzepts: Daten- / Informationslage</b>	
Beschreibung des Konzepts	
Name	Daten- / Informationslage
Definition	Unter Daten-/Informationslage werden alle Faktoren zusammengefasst, die sich auf vorhandene bzw. zu nutzen Daten/Informationen beziehen.
Oberkonzept	<u>Einflussfaktor</u>
Attribute	
Name	Name des Einflussfaktors
Eigenschaften von Daten / Informationen	Bedeutung; Datum; Qualität der Daten
Informationserfassung	Erfassungsart; Missinterpretation von Daten; Informationsverfügbarkeit; Zeitpunkt Informationserfassung; Datenbereitstellung; Informationszugang; Verfügbarkeit von Domänenexperten

## 10.4 Tätigkeiten bei der Arbeit mit Modellen

In diesem Kapitel werden die acht Tätigkeiten bei der Arbeit mit Modellen anhand der ausgefüllten Wissensdokumente für das Konzept „Tätigkeit“ beschrieben.

### Beschreibung der Tätigkeit „Neuerstellung eines Modells“

<b>Name der Tätigkeit</b>	Neuerstellung eines Modells (Modellerstellung)
<b>Zustand davor</b>	Es existiert kein Modell
<b>Zustand danach</b>	Es existiert ein Modell
<b>Tätigkeit</b>	Ein Modell wird neu erstellt (entsprechend Zweck etc.) – bestehende Meta-Modelle können als Grundlage verwendet werden
<b>Beispiel</b>	Befüllung einer Anforderungsliste, Erstellung des CAD-Modelles eines Bauteils, Anfertigung eines Prototyps

### Beschreibung der Tätigkeit „Weiterentwicklung eines Modells“

<b>Name der Tätigkeit</b>	Weiterentwicklung eines Modells (Modellweiterentwicklung)
<b>Zustand davor</b>	Es existiert bereits ein Modell
<b>Zustand danach</b>	Das existierende Modell wurde verändert
<b>Tätigkeit</b>	Es werden Änderungen an dem existierenden Modell durchgeführt (Einschränkung, Ergänzung) – es werden Attribute des Modells ergänzt oder weggelassen bzw. verändert
<b>Beispiel</b>	Ein bestehendes CAD-Modell wird um Komponenten ergänzt, Maße werden geändert, etc.

### Beschreibung der Tätigkeit „Nutzung eines Modells“

<b>Name der Tätigkeit</b>	Nutzung eines Modells (Modellnutzung)
<b>Zustand davor</b>	Es existiert ein Modell
<b>Zustand danach</b>	Es existiert das gleiche Modell, Daten/Informationen entsprechend des Modellzwecks wurden generiert
<b>Tätigkeit</b>	Das Modell wird entsprechend seines Modellzwecks genutzt – z.T. kann auch Informationsextraktion als eine mögliche Nutzung eines Modells gesehen werden (z. B. Ablesen von Werten aus einer Anforderungsliste).
<b>Beispiel</b>	Ein Simulationsmodell läuft mittels eines Simulators ab. Es werden vorher nicht vorhandene Daten/Informationen generiert.

**Beschreibung der Tätigkeit „Informationsextraktion aus Modell“**

<b>Name der Tätigkeit</b>	Informationsextraktion aus Modell (Informationsextraktion)
<b>Zustand davor</b>	Es existiert ein Modell
<b>Zustand danach</b>	Das gleiche Modell existiert unverändert. Aus den in dem Modell enthaltenen Attributen wurden bestimmte Informationen extrahiert (z. B. ein Kennfeld einer Komponente)
<b>Tätigkeit</b>	Das bestehende Modell wird „geöffnet“ und benötigte Informationen daraus abgelesen. Z. B. Messen der Abstände von zwei Bauteilen in einem physischen Prototyp.
<b>Beispiel</b>	Ein bestimmtes Maß wird aus einem CAD-Modell abgelesen. Aus einem Simulationsmodell wird ein Parameter abgelesen (das Modell muss dafür nicht laufen gelassen werden).
<b>Anmerkung</b>	Die Abgrenzung zur Modellnutzung ist stark abhängig vom jeweiligen Modelltyp. Manchmal kann eine Informationsextraktion bereits die gesamte geplante Nutzung des Modells sein (z. B. bei Anschauungsmodellen).

**Beschreibung der Tätigkeit „Transformation eines Modells“**

<b>Name der Tätigkeit</b>	Transformation eines Modells (Modelltransformation)
<b>Zustand davor</b>	Es existiert ein Modell
<b>Zustand danach</b>	Es existiert das gleiche Modell und zusätzlich ein Modell, das ein anderes Meta-Modell aufweist – dabei können u.U. nicht alle Modellattribute übertragen werden (Informationsverlust)
<b>Tätigkeit</b>	Transformation entsprechend bestimmten Transformationsregeln (automatisiert oder manuell)
<b>Beispiel</b>	Eine Ontologie wird in eine MDM überführt. Ein CATIA-Modell (.CatPart) wird als .STEP Datei gespeichert.

**Beschreibung der Tätigkeit „Integration von Modellen“**

<b>Name der Tätigkeit</b>	Integration von Modellen (Modellintegration)
<b>Zustand davor</b>	Es existieren mindestens zwei Modelle. Diese Modelle sind von Beginn der jeweiligen Modellerstellung für eine Integration vorgesehen. Das eine Modell erfüllt ohne das andere Modell nicht seinen gesamten Zweck.
<b>Zustand danach</b>	Es existiert ein Modell das die anderen Modelle als integraler Bestandteil aufweist. Die beiden Modelle können nicht unabhängig voneinander genutzt werden. Das eine Modell erweitert das andere Modell um einen für dieses wesentlichen Aspekt (z. B. Motormodell als integrierter Bestandteil eines Fahrzeugmodells)
<b>Tätigkeit</b>	Die Modelle werden „untrennbar“ miteinander verbunden.
<b>Beispiel</b>	Ein Simulationsmodell des Motorraumes zur Ermittlung der Kühlleistung des E-Lüfters eines Fahrzeugs benötigt ein detailliertes Motormodell. Das Motormodell wird in das Fahrzeugmodell integriert. Die beiden integrierten Modelle können nur zeitgleich genutzt werden.

### Beschreibung der Tätigkeit „Kopplung von Modellen“

<b>Name der Tätigkeit</b>	Kopplung von Modellen (Modellkopplung)
<b>Zustand davor</b>	Es existieren mindestens zwei voneinander unabhängige Modelle
<b>Zustand danach</b>	Es besteht die Möglichkeit, die beiden Modell miteinander interagieren zu lassen. Die Modelle tauschen bestimmte Informationen (automatisiert) aus, können allerdings nach wie vor unabhängig voneinander ihren ursprünglichen Zweck erfüllen.
<b>Tätigkeit</b>	Zwischen den Modellen werden Schnittstellen, entsprechende Inputs und Outputs definiert. Von dem einem Modell benötigte Attribute (Parameter) werden durch das andere Modell ergänzt/erweitert.
<b>Beispiel</b>	Der Ausgang eines Dymola-Simulationsmodells wird als Eingang für ein anderes Dymola-Simulationsmodell genutzt. Die Nutzung der gekoppelten Modelle kann zeitgleich oder auch zeitlich versetzt erfolgen.

### Beschreibung der Tätigkeit „Modellentsorgung / -vernichtung“

<b>Name der Tätigkeit</b>	Modellentsorgung / -vernichtung (Löschen eines Modells)
<b>Zustand davor</b>	Es existiert ein Modell
<b>Zustand danach</b>	Das Modell existiert nicht mehr
<b>Tätigkeit</b>	Ein physisches Modell wird weggeworfen / entsorgt bzw. ein digitales, rechnerbasiertes Modell wird gelöscht.
<b>Beispiel</b>	Ein rechnerbasiertes Modell (z. B. CAD-Datei) wird gelöscht. Ein physischer Prototyp wird entsorgt.

## 10.5 Detaillierung der Teilschritte

Die acht Tätigkeiten bei der Arbeit mit Produktmodellen werden in insgesamt 23 Teilschritte aufgeteilt. Dieses Kapitel beschreibt die einzelnen Teilschritte anhand einer Modellierung als ereignisgesteuerte Prozesskette. Das folgende Bild 10-1 erklärt anhand einer Legende die Bedeutung der verwendeten Symbole. Eine detaillierte Beschreibung der Nutzung von ereignisgesteuerten Prozessketten kann beispielsweise KOBLE 2010 (S. 199 ff.) entnommen werden. Informationsobjekte zur Unterstützung der einzelnen Tätigkeiten wie beispielsweise Checklisten, die noch nicht im Hauptteil der Dissertation vorgestellt wurden, werden ebenfalls aufgeführt. Die Reihenfolge der Teilschritte entspricht der Auflistung in Tabelle 16.

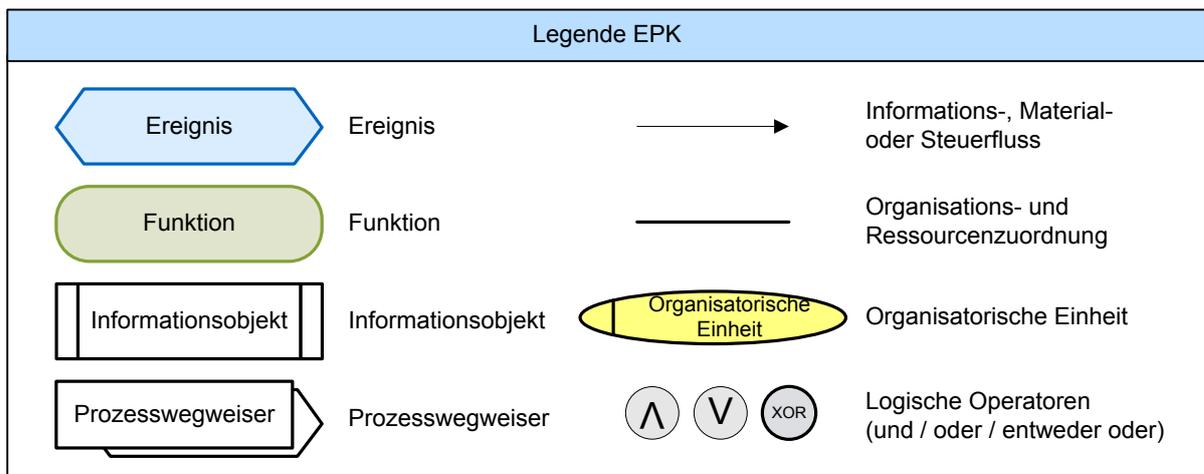


Bild 10-1: Symbole der ereignisgesteuerten Prozessketten (in Anlehnung an KOBLE 2010 (S. 199 ff.))

### Teilschritt „Anforderungen klären“

Anforderungen an das zu erstellende Produktmodell werden definiert.

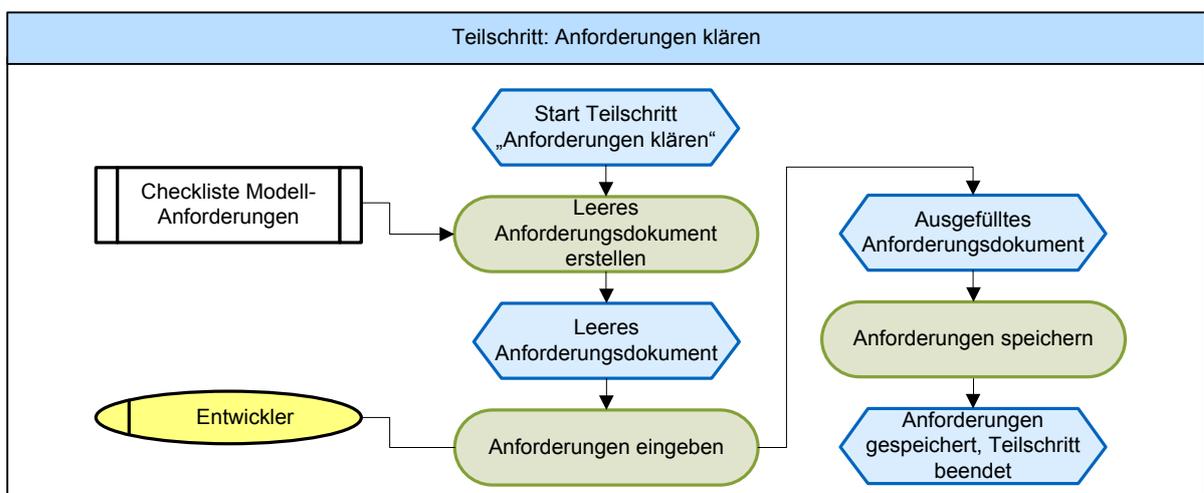


Bild 10-2: EPK zum Teilschritt „Anforderungen klären“

Im Teilschritt Anforderungen klären wird eine Checkliste zur Erfassung der Anforderungen an das Produktmodell genutzt. Diese baut auf dem Lasten- und Pflichtenheft der Modellierung nach VDI 3633 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009) auf (siehe auch KOHN et al. 2013c). Die folgende Abbildung (Bild 10-3) stellt diese Checkliste dar.

#### Checkliste zur Bestimmung der Anforderungen an ein Produktmodell

In diesem Dokument werden allgemeine Angaben zum Modell und dem Modellierungsprojekt frühzeitig beschrieben. Es werden Angaben zum Projektgegenstand, Projektumfeld und erwarteten Projektergebnissen gemacht. Im Wesentlichen handelt es sich bei den Angaben um Anforderungen und Randbedingungen.

<b>Modell / Projektgegenstand</b>	
Name des Modells	Wie heißt das Produktmodell?
Zweck des Modells	Welchen Zweck verfolgt das Modell? Welche einzelne Teilzwecke verfolgt das Modell gegebenenfalls?
Bedeutung des Modells im Entwicklungsprozess	Wie ordnet sich das Modell in den Entwicklungsprozess ein? Welche Rolle spielt es dabei?
Nutzer des Modells	Wer nutzt das fertige Modell?
Original	Was ist das Original des Modells (Betrachtungsobjekt)?
Systemgrenze	Welche Systemgrenze wurde gezogen? Wie wurde diese festgelegt?
Beziehungen zu anderen Modellen	Mit welchem Modell hängt dieses Modell zusammen? Wie hängt das Modell mit anderen vorhandenen/geplanten Modellen zusammen?
Anforderungen an Schnittstellen zu anderen Modellen	Wenn es einen Zusammenhang zu anderen Modellen gibt, welche Anforderungen an die daraus resultierenden Schnittstellen bestehen?
Terminplan	Wann soll das Modell fertig sein? Wann sollen die daraus gewonnenen Ergebnisse genutzt werden? Was sind die wesentlichen Meilensteine bei der Erstellung? (Angabe des Datums)
Sonstige Anforderungen	Welche weitere Anforderungen bestehen, die das Modell erfüllen muss?
<b>Modellierungsumfeld / Ressourcen</b>	
Ersteller des Modells	Wer ist für die Erstellung des Modells zuständig?
Beteiligte Personen	Wer ist noch in die Modellerstellung involviert? (bei mehreren Personen auch deren Rolle nennen)
Vorhandene Informationen / Vorkenntnisse	Auf welche Informationen / Vorkenntnisse kann bei der Erstellung des Modells aufgebaut werden? (z. B. Unterteilung nach Abteilung / Vorgängerprojekte / persönlich)
Geplante Werkzeuge / Modellierungssprachen	Welche Werkzeuge / Modellierungssprachen sind vorhanden / sollen genutzt werden? Sind bestimmten Werkzeuge/Modellierungssprachen bereits festgesetzt (Begründung angeben)?
Erforderliche sonstige Ressourcen	Welche weiteren Ressourcen werden für die Modellerstellung benötigt?
<b>Umfang der Projektergebnisse</b>	
Ergebnisdarstellung	In welcher Form und wo sollen die Ergebnisse dargestellt werden? (Graphisch / Textuell / Verbal, etc.)
Dokumentation	In welcher Form soll das Modell / die Nutzung / Studien / Experimente dokumentiert werden?
Anforderungen bezüglich Weiterverwendung	Welche Anforderungen resultieren ggf. aus dem Bestreben das Modell über den eigentlichen Modellzweck hinaus zu verwenden? (z. B. regelmäßige Aktualisierungen / Transfer, etc.)
Aufwände für Wartung und Pflege	Welche Aufwände für Wartung und Pflege sind ggf. mit der Nutzung des Modells absehbar / angestrebt.
<b>Abbildung / Visualisierung des Modells</b>	
Abbildung des Modells	Graphische Darstellung des Modells (bzw. der Konzeption des Modells).

Bild 10-3: Checkliste zur Beschreibung der Anforderungen an das Modell

### Teilschritt „Modelltyp auswählen“

Der für den jeweiligen Zweck und die Anforderungen passende Modelltyp wird ausgewählt.

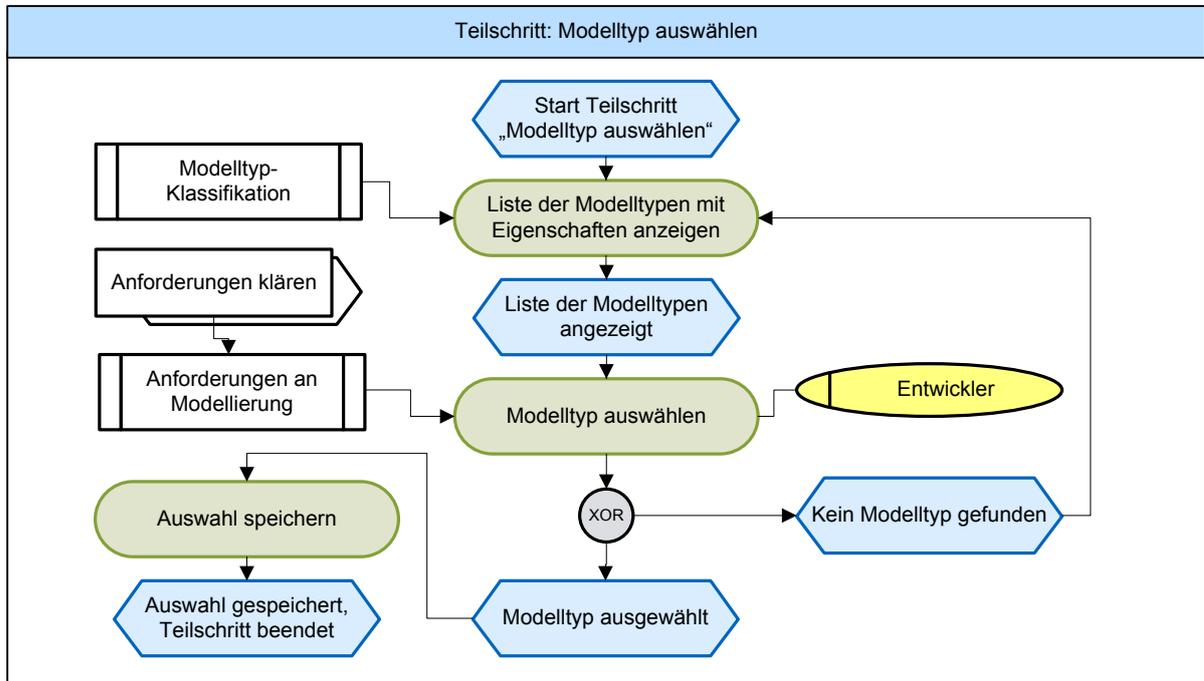


Bild 10-4: EPK zum Teilschritt „Modelltyp auswählen“

### Teilschritt „Modell spezifizieren“

Das Modell wird entsprechend des gewählten Modelltyps näher spezifiziert und das Modellierungsvorgehen festgelegt.

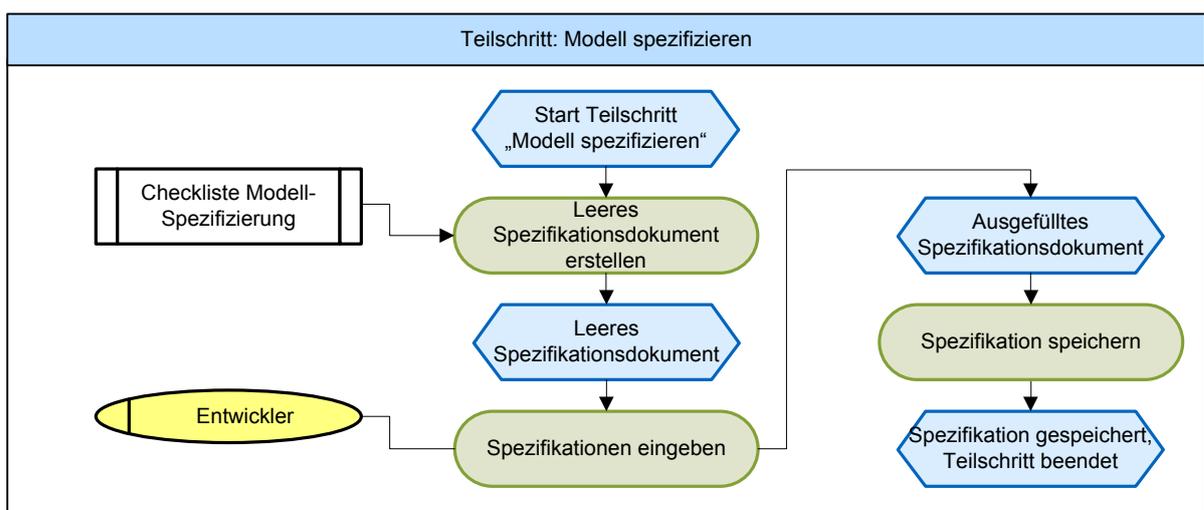


Bild 10-5: EPK zum Teilschritt „Modell spezifizieren“

Wie auch bei dem Teilschritt der Anforderungsklärung, wird zur Spezifikation des Modells eine Checkliste als Vorlage für das Spezifikationsdokument genutzt. Darin spezifiziert der Entwickler ausgehend von den Anforderungen die Gestaltung des Modells. Die Checkliste baut auf dem Lasten- und Pflichtenheft der Modellierung nach VDI 3633 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2009) auf (siehe auch KOHN et al. 2013c). Das folgende Bild 10-6 stellt diese Checkliste dar.

#### Checkliste zur Spezifikation des Produktmodells und dessen Erstellung

In diesem Dokument werden detaillierte Angaben zur Ausarbeitung des Modells erfasst und damit die Modellerstellung spezifiziert. Der Fokus liegt hierbei auf der Beschreibung der Tätigkeit zur Durchführung der erforderlichen Schritte. Diese Checkliste kann im Laufe des Modellierungsprojektes ergänzt und weiter detailliert werden.

<b>Modellierungssprache und Modellierungswerkzeug</b>	
Auswahl der Modellierungssprache	Wie wird die Modellierungssprache ausgewählt? Sind ggf. Anpassung von bestehenden Modellierungssprachen erforderlich?
Auswahl Modellierungswerkzeug	Wie wird das Modellierungswerkzeug ausgewählt? Sind ggf. Anpassung erforderlich?
<b>Systemanalyse (Originalanalyse) / Informationsakquise</b>	
Anforderungen an benötigte Informationen/Daten	Welche detaillierten Anforderungen bestehen an die für die Modellerstellung benötigten Informationen / Daten? (Umfang / Qualität / Format, etc.)
Daten- / Informationstransfer	Wie sollen ggf. vorliegende Daten genutzt werden, bzw. müssen Informationen in ein bestimmtes Format transformiert werden, damit sie genutzt werden können?
Erfassung der Daten bzw. Durchführung von Untersuchungen am Original	Welches Vorgehen ist für die Beschaffung der Daten/Informationen über das Original geplant? Beschreibung der Durchführung von Experimenten / Studien zur Beschaffung der Daten.
Darstellung und Dokumentation der Informationen	Wie werden die erforderlichen Informationen dargestellt? Beschreibung der Aufbereitung und Dokumentation der gewonnenen Daten.
<b>Modellqualität</b>	
Verifizierung des Modells	Stimmt das Modell mit dem gedanklichen Modell / den Anforderungen überein? Welches Vorgehen wird zur Verifikation des Modells durchgeführt?
Validierung des Modells	Stimmt das Modell mit der Wirklichkeit überein? Welches Vorgehen wird zur Validierung des Modells durchgeführt? Welche Einschränkungen resultieren daraus für den Gültigkeitsbereich des Modells?
Anwendbarkeit des Modells	Wie soll die spätere Anwendbarkeit abgesichert werden? (z.B. Case-Study?)
<b>Nutzung des Modells</b>	
Durchführung / Nutzung des Modells	Wie erfolgen Nutzung und evt. Anpassung des Modells (iterativ)?
Ergebnisauswertung	Wie werden die Experimente / die Nutzung des Modells ausgewertet? Wie werden Erfahrungen zur Nutzung festgehalten?
Erforderliche Werkzeuge	Welche Werkzeuge sind für die Nutzung des Modells erforderlich?
<b>Ergebnisübergabe</b>	
Arbeitsunterlagen und Präsentationsunterlagen	Wie werden die Ergebnisse der Experimente / die Erfahrungen mit der Nutzung des Modells dokumentiert? (Beschreibung des dafür erforderlichen Vorgehens)
Archivierung von Modellen, Parametersätzen und Ergebnissen	Wie wird das Modell, die erforderlichen Daten und die Ergebnisse dokumentiert bzw. archiviert? (Beschreibung des dafür erforderlichen Vorgehens)
Übergabe der Ergebnisse / des Modells	Wie wird die Weitergabe z.B. an andere Mitarbeiter / Abteilungen durchgeführt? Wie wird ermöglicht, dass das weitergegebene Modell dem Zweck entsprechend genutzt wird?
Schnittstellenumsetzung	Wie wird die Funktionalität des Modelles bezüglich der ggf. erforderlichen Schnittstellen ermöglicht?

Bild 10-6: Checkliste zur Spezifikation des Modells und der Modellerstellung

### Teilschritt „Modellierung durchführen“

Das Modell wird erstellt bzw. bearbeitet. Attribute des Originals werden auf Attribute des Modells abgebildet bzw. Attribute des Modells werden verändert. Dabei werden Informationen generiert und in dem Modell repräsentiert.

Der Teilschritt Modellierung durchführen ist eng gekoppelt an den Teilschritt der Modellabsicherung. Die einzelnen Modellierungsschritte werden unter kontinuierlichen Abgleich mit den Anforderungen im Sinne einer Funktions- und Anwendungsabsicherung überprüft. Bei Bedarf wird das Modell so lange verändert, bis die Anforderungen erfüllt sind.

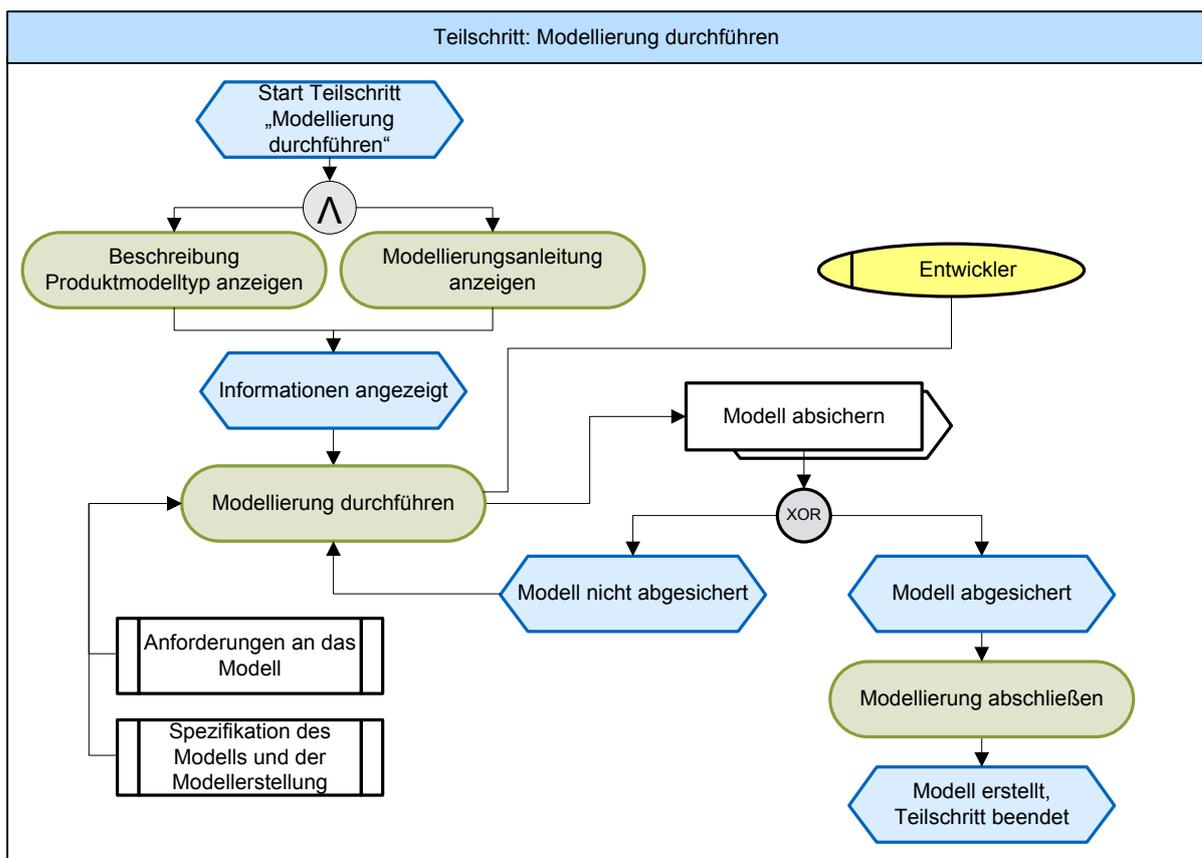


Bild 10-7: EPK zum Teilschritt „Modellierung durchführen“

### Teilschritt „Modell absichern“

Das Modell wird hinsichtlich Anwendbarkeit, Validierung und Verifikation abgesichert. Wie oben beschrieben erfolgt die Modellabsicherung iterativ mit der Modellierung. In angemessenen Abständen wird das weiterentwickelte Modell auf Zweckerfüllung überprüft.

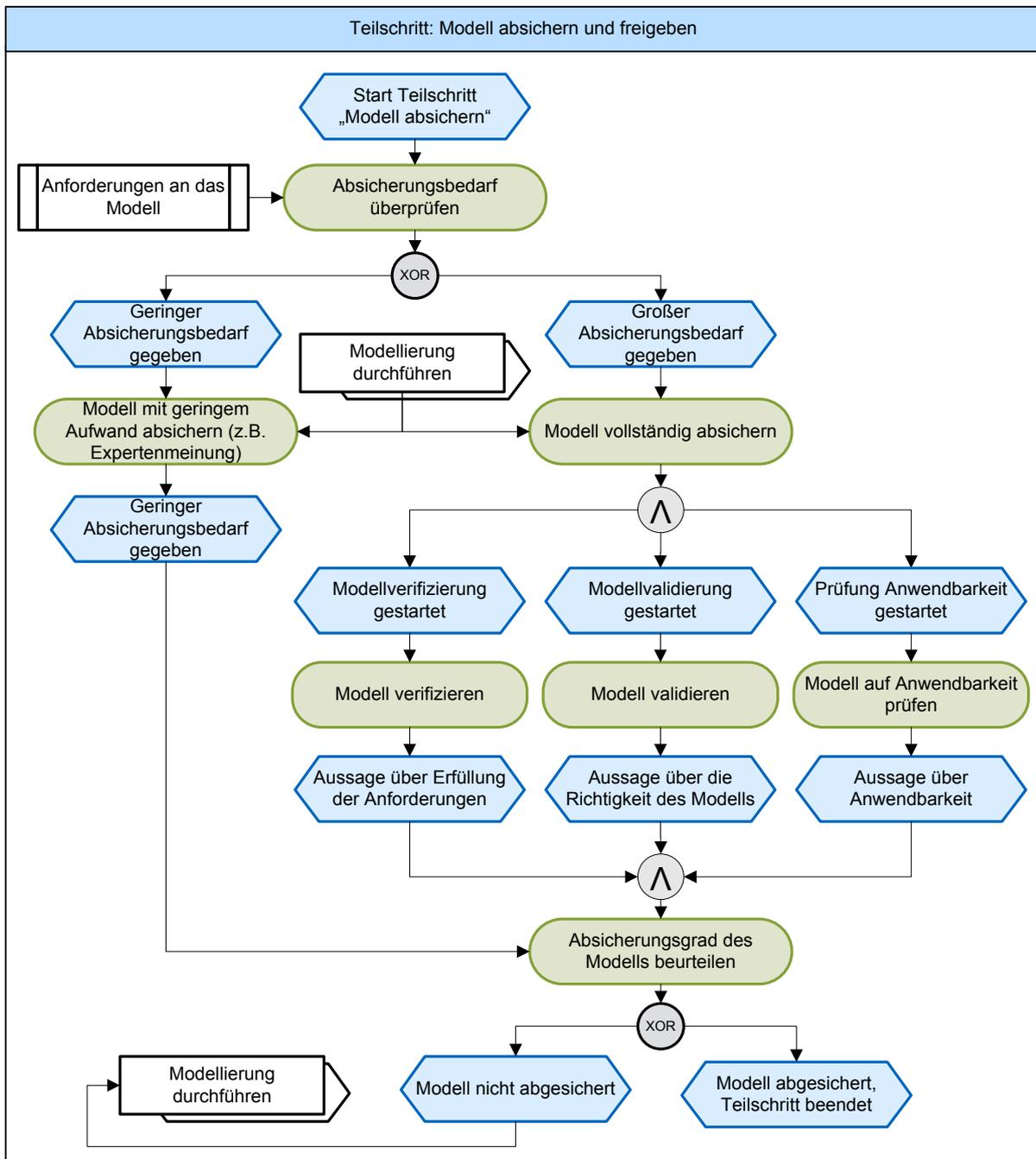


Bild 10-8: EPK zum Teilschritt „Modell absichern“

### Teilschritt „Modell auswählen“

Es erfolgt die Auswahl der für die jeweilige Tätigkeit erforderlichen Produktmodelle unter Berücksichtigung der vorliegenden Anforderungen.

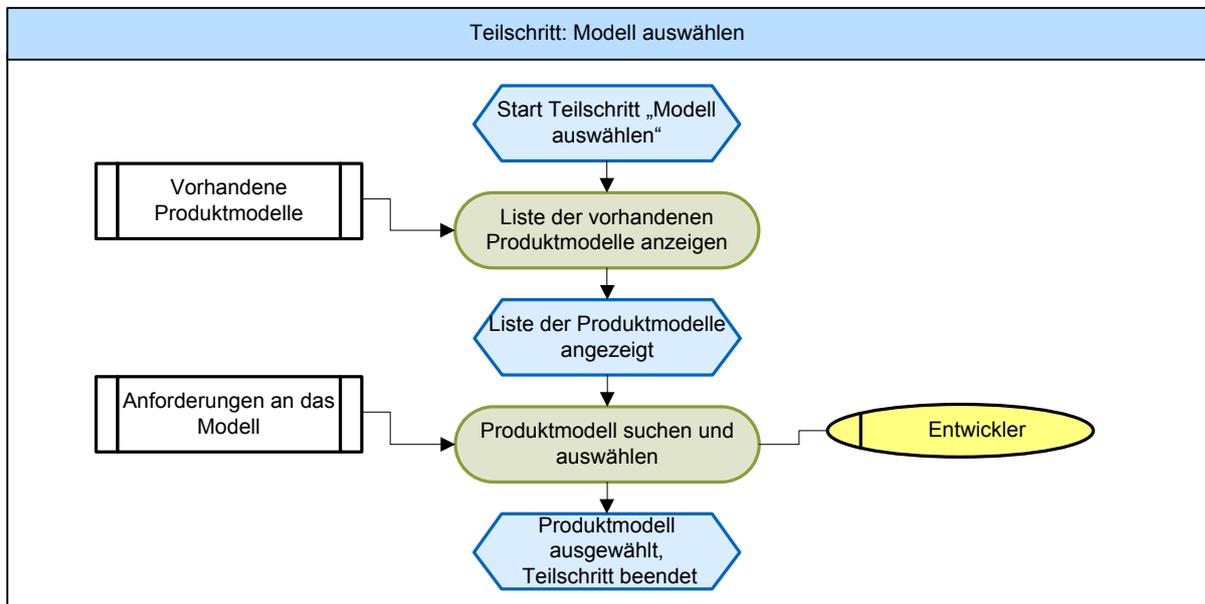


Bild 10-9: EPK zum Teilschritt „Modell auswählen“

### Teilschritt „Modell versionieren“

Eine neue Modellversion eines Modells wird bei Bedarf für die jeweilige Tätigkeit erstellt. Die alte Version des Modells wird nicht verändert.

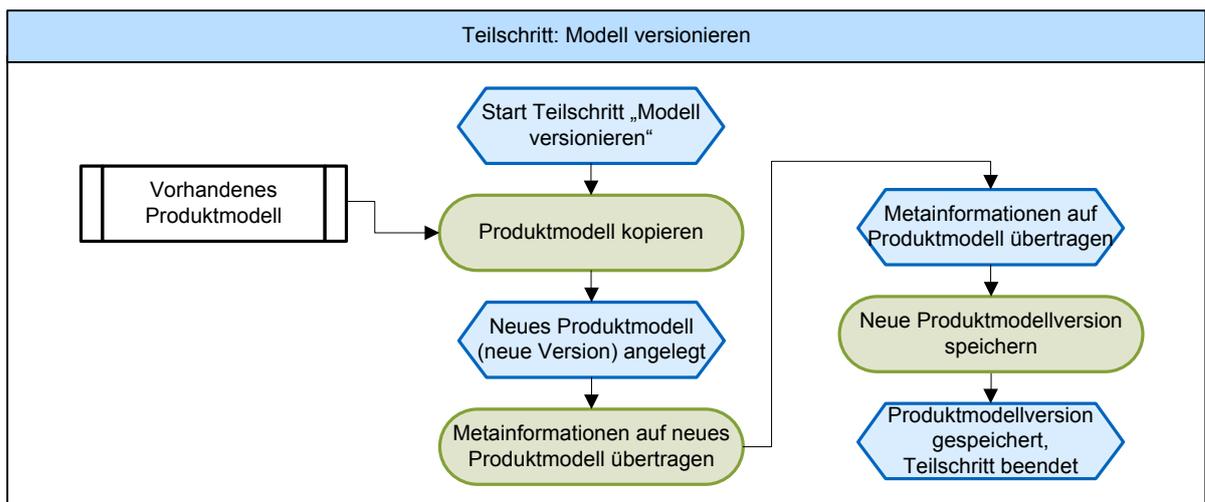


Bild 10-10: EPK zum Teilschritt „Modell versionieren“

### Teilschritt „Modell öffnen“

Das für die jeweilige Tätigkeit erforderliche Produktmodell wird geöffnet bzw. verfügbar gemacht.

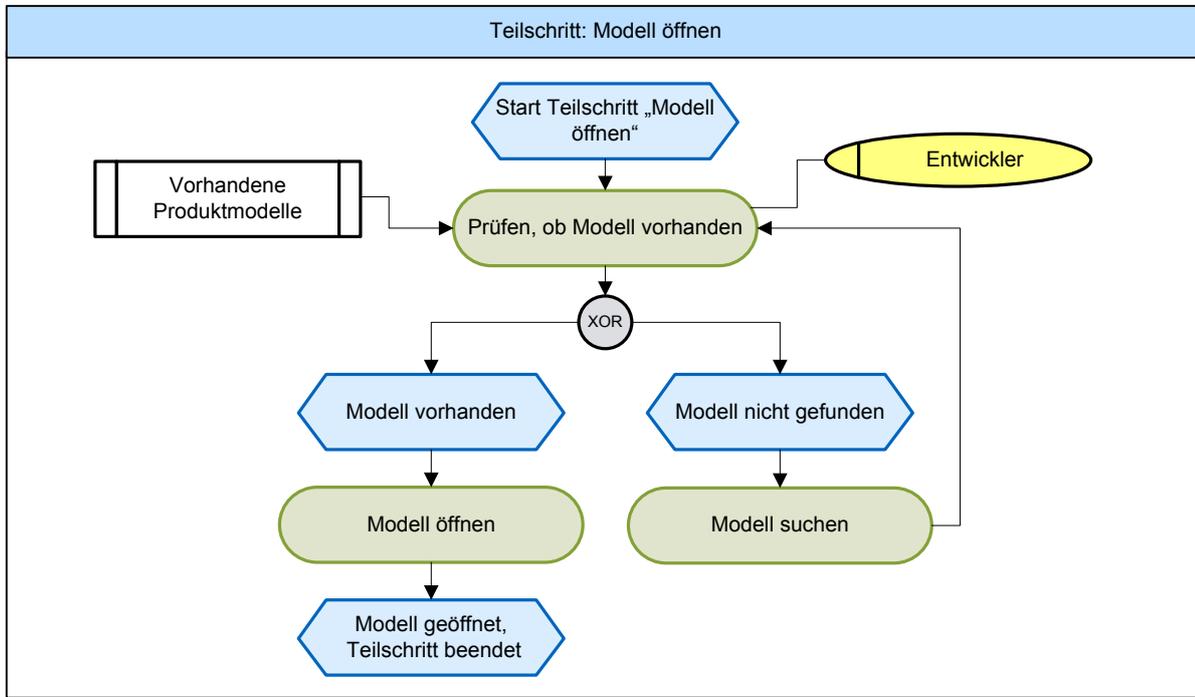


Bild 10-11: EPK zum Teilschritt „Modell öffnen“

### Teilschritt „Nutzbarkeit absichern“

Die Nutzbarkeit eines vorhandenen Modells für einen bestimmten Zweck wird abgesichert.

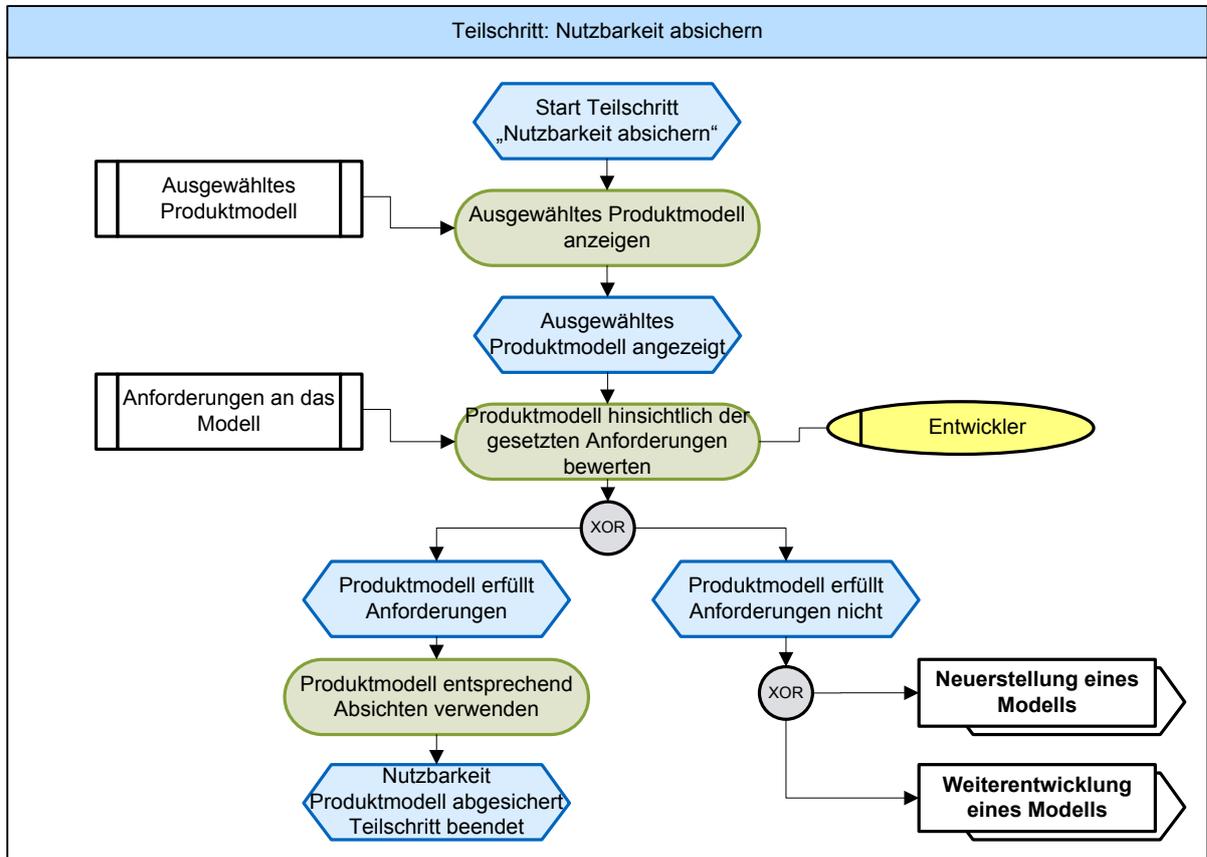


Bild 10-12: EPK zum Teilschritt „Nutzbarkeit absichern“

### Teilschritt „Modell nutzen“

Das Modell wird entsprechend des jeweiligen Zwecks genutzt.

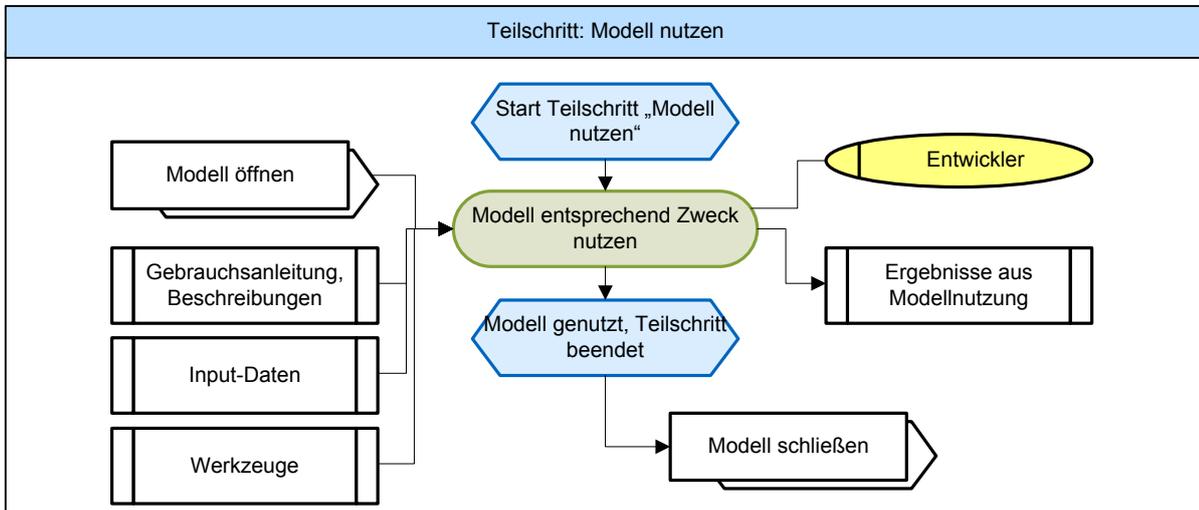


Bild 10-13: EPK zum Teilschritt „Modell nutzen“

### Teilschritt „Modell schließen“

Falls es sich bei dem Modell um ein digitales Modell handelt, wird es nach der Arbeit geschlossen.

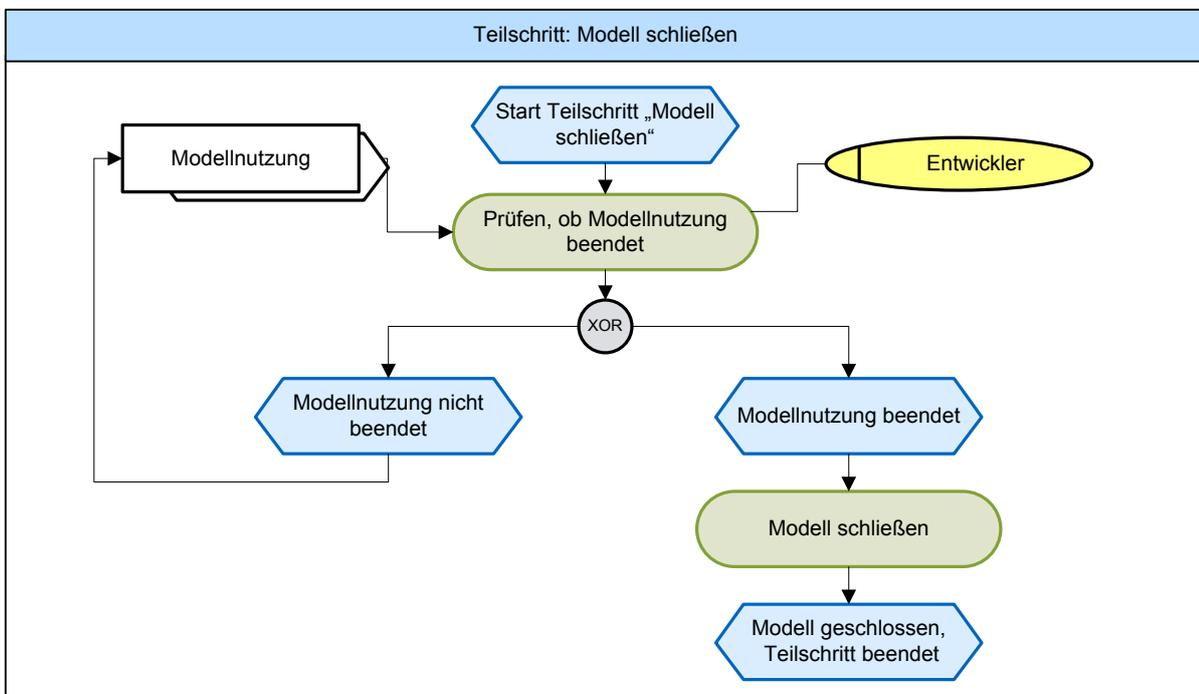


Bild 10-14: EPK zum Teilschritt „Modell schließen“

### Teilschritt „Informationsbedarf beschreiben“

Der bei der Extraktion von Informationen aus einem Produktmodell vorliegende Bedarf wird beschrieben und in Form von Anforderungen an den Informationsbedarf dokumentiert.

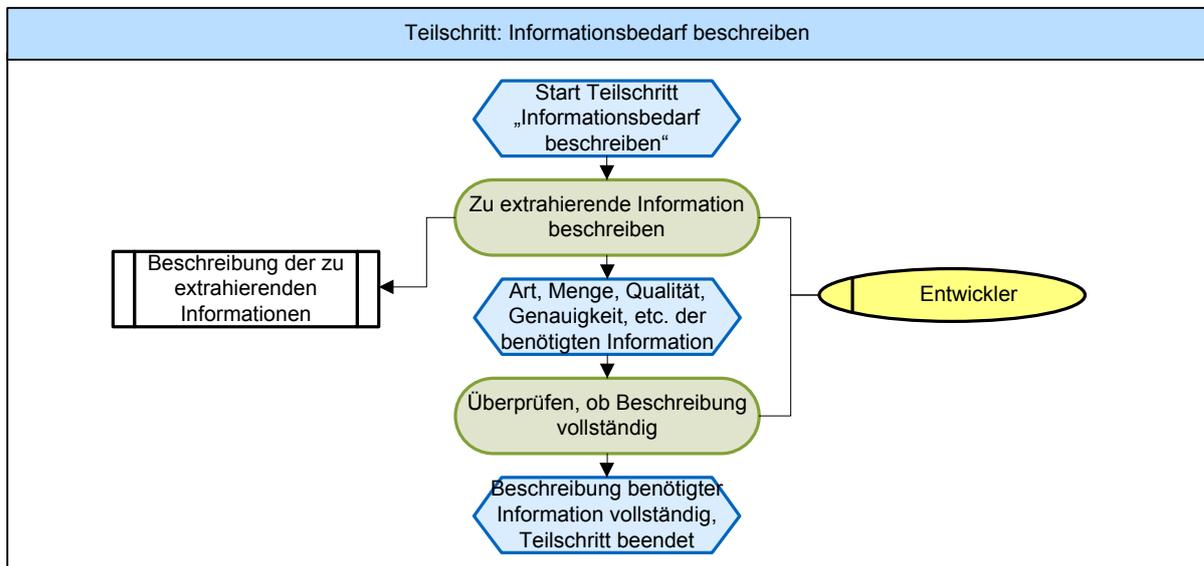


Bild 10-15: EPK zum Teilschritt „Informationsbedarf beschreiben“

### Teilschritt „Informationsextraktionsmethode auswählen“

Das Vorgehen und die benötigten Werkzeuge zur Extraktion von Informationen aus einem Modell werden bestimmt.

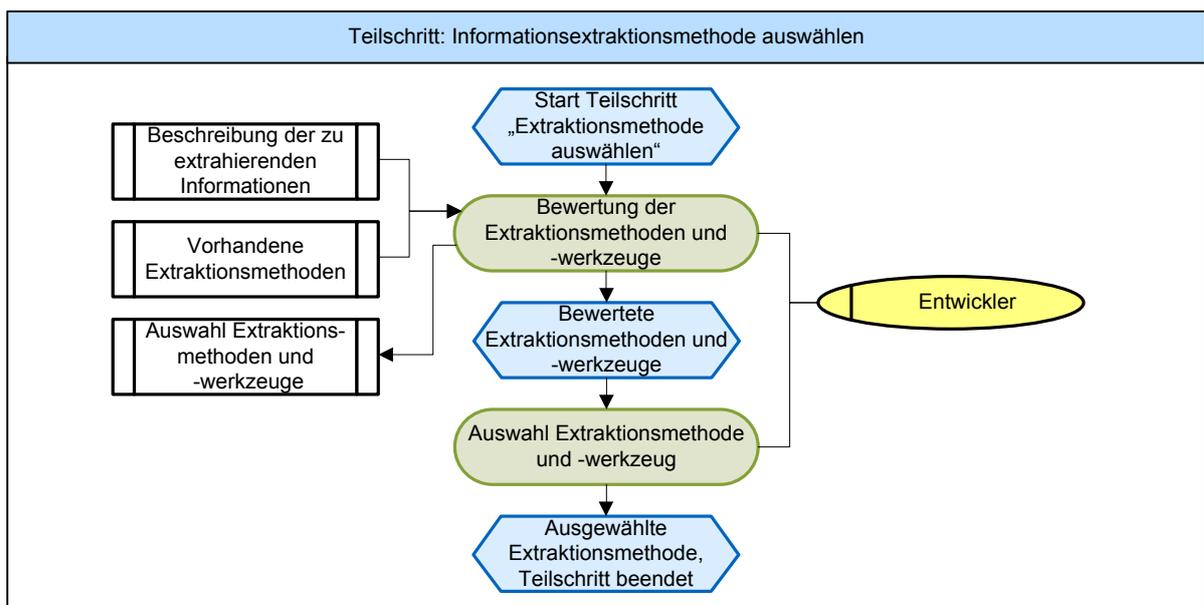


Bild 10-16: EPK zum Teilschritt „Informationsextraktionsmethode auswählen“

### Teilschritt „Information extrahieren“

Die Informationen werden aus einem Modell extrahiert und entsprechend dem Informationsbedarf erfasst bzw. genutzt.

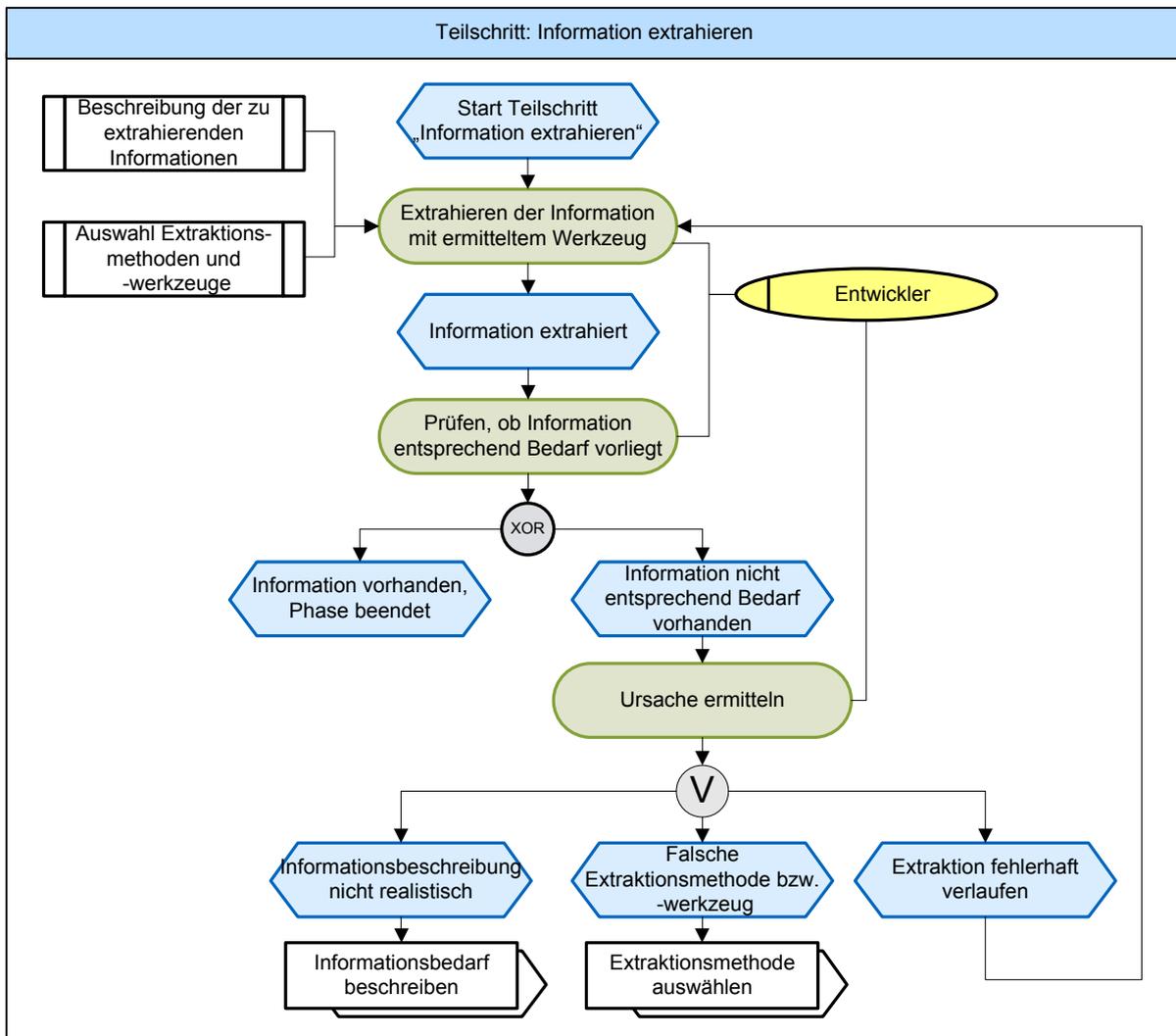


Bild 10-17: EPK zum Teilschritt „Information extrahieren“

### Teilschritt „Tätigkeit und Ergebnis reflektieren“

Das Vorgehen in der jeweiligen Tätigkeit sowie das Ergebnis werden reflektiert und die Erkenntnisse dokumentiert.

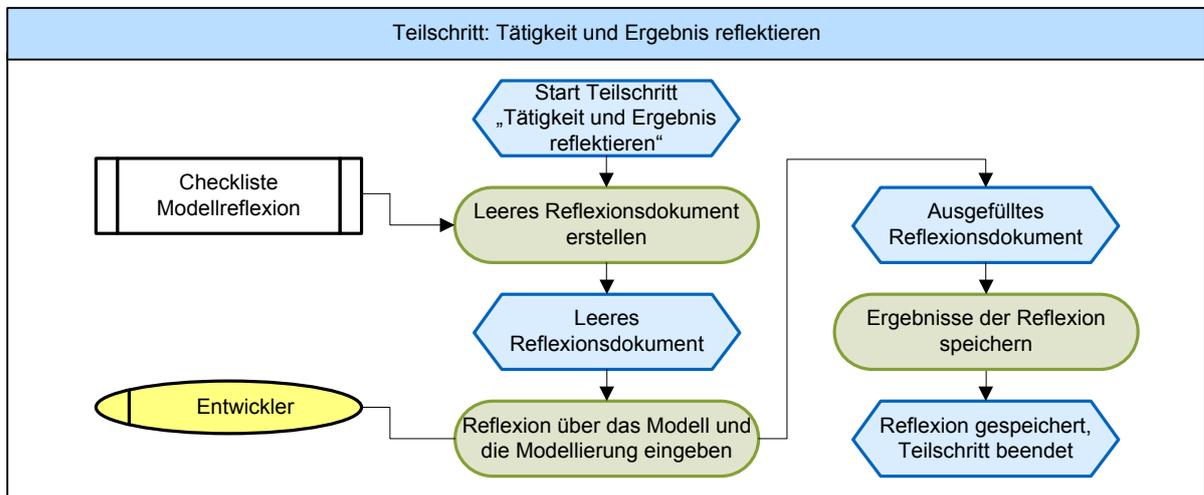


Bild 10-18: EPK zum Teilschritt „Tätigkeit und Ergebnis reflektieren“

Die Reflexion der jeweiligen Tätigkeit mit dem Modell dient zur nachträglichen Beurteilung der Modellierungsergebnisse. In der Reflexion werden anhand einer Checkliste Informationen gesammelt, die die jeweilige Tätigkeit beeinflusst haben und damit eine Auswirkung auf das Ergebnis besitzen. Die Inhalte bauen auf den in Kapitel 6.6 identifizierten Einflussfaktoren auf die Arbeit mit Modellen auf. Als Vorlage für die Checkliste zur Modellreflexion kann die in Bild 7-10 aufgeführte Reflexionsliste genutzt werden.

## Teilschritt „Transformation vorbereiten“

Die Transformation von einem Modelltyp in einen anderen Modelltyp wird vorbereitet.

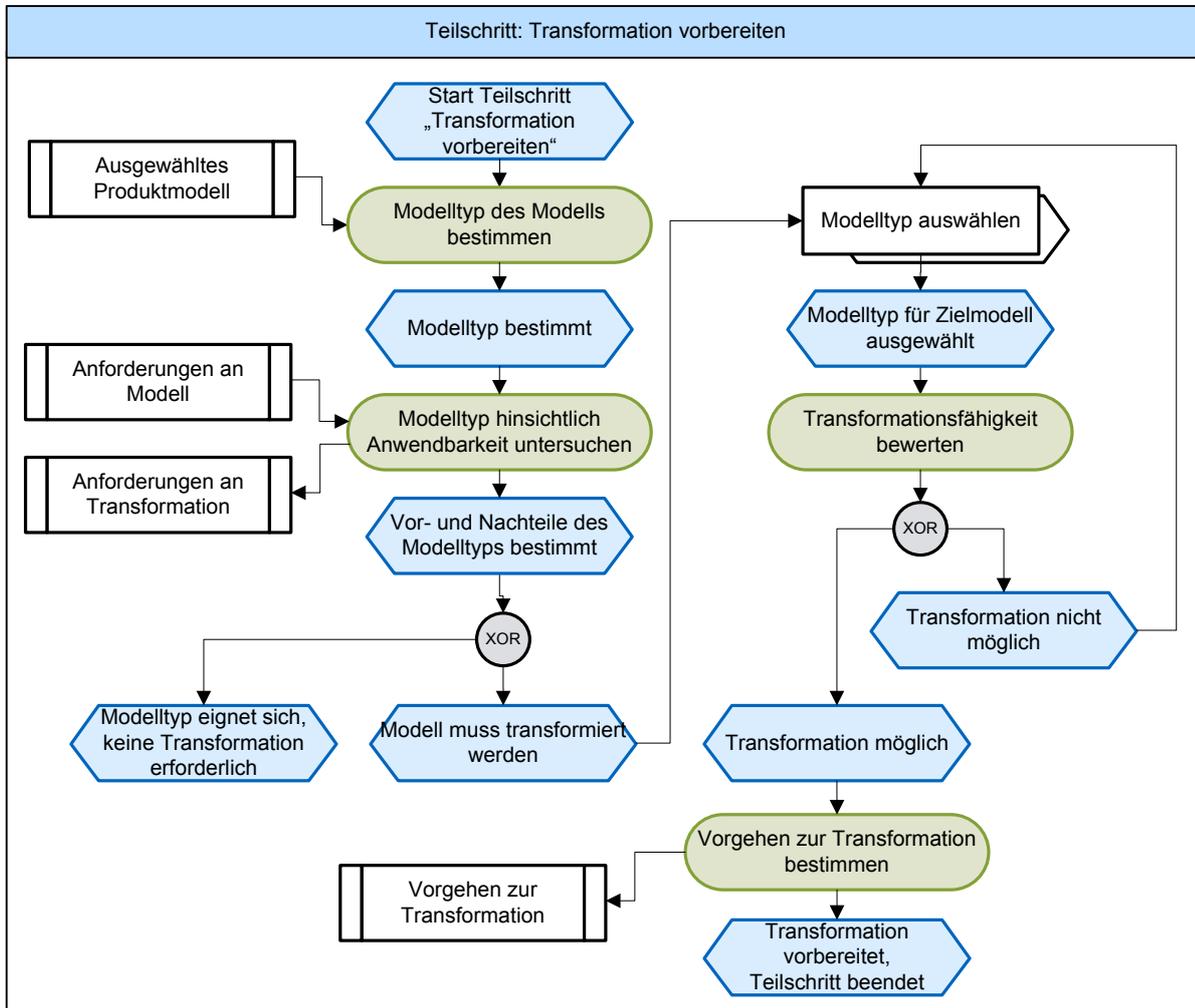


Bild 10-19: EPK zum Teilschritt „Transformation vorbereiten“

### Teilschritt „Modell transformieren“

Attribute des Modells werden in einen anderen Modelltyp transformiert.

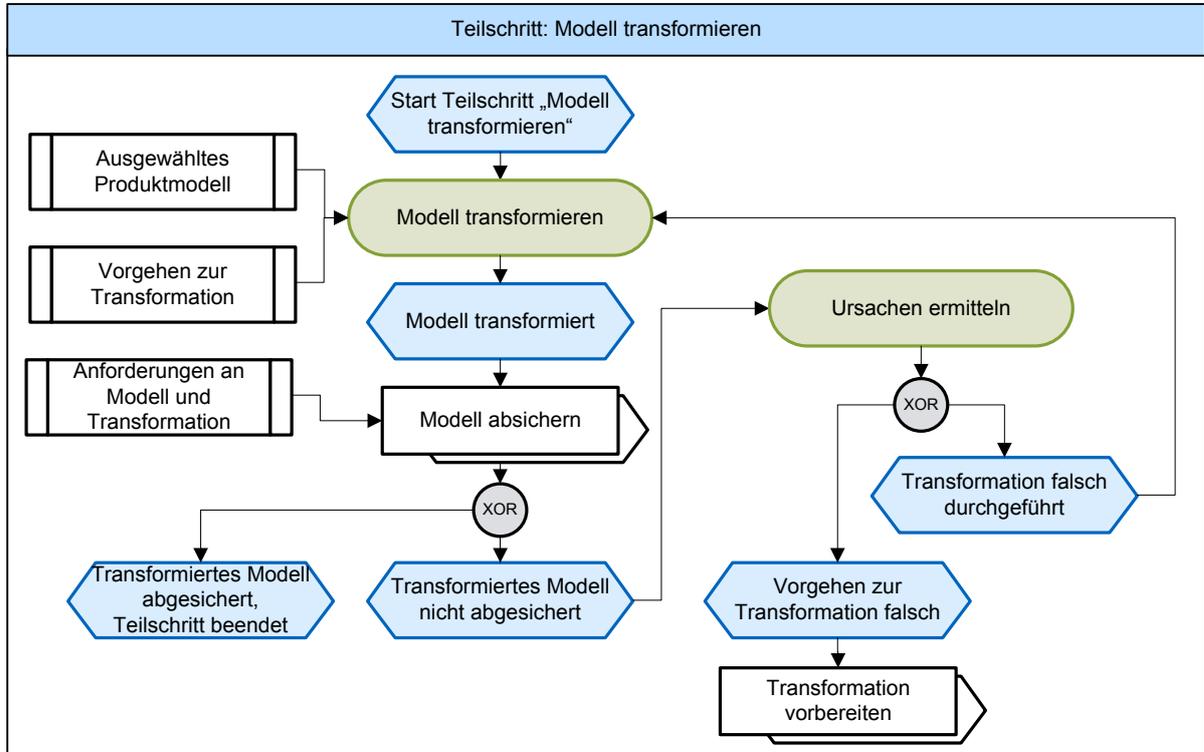


Bild 10-20: EPK zum Teilschritt „Modell transformieren“

### Teilschritt „Modellintegration vorbereiten“

Es wird überprüft, ob eine Integration der jeweiligen Modelle möglich ist.

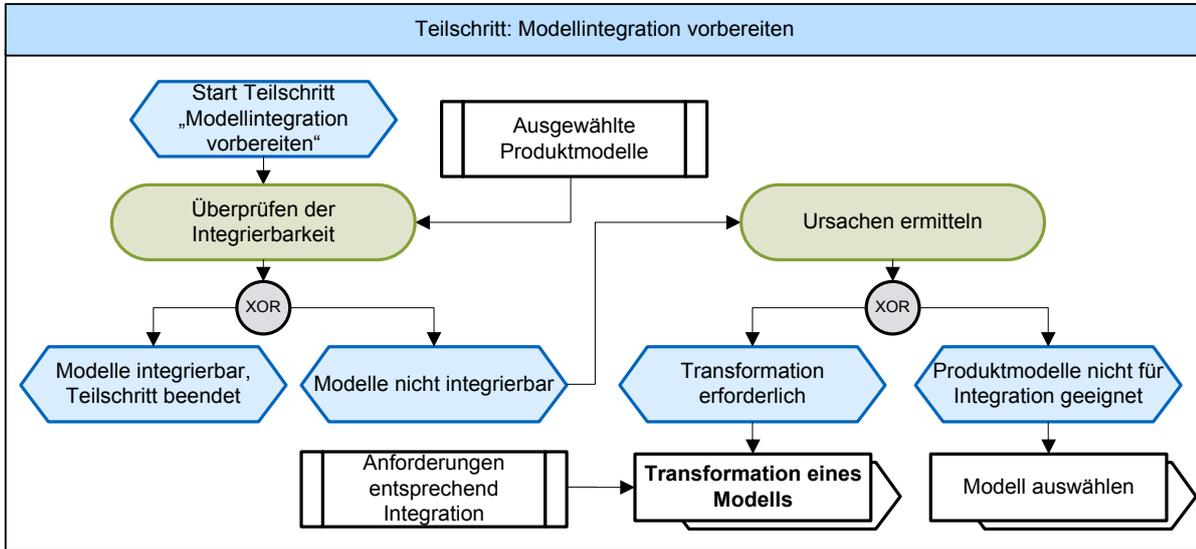


Bild 10-21: EPK zum Teilschritt „Modellintegration vorbereiten“

### Teilschritt „Modelle integrieren“

Die entsprechenden Modelle werden integriert.

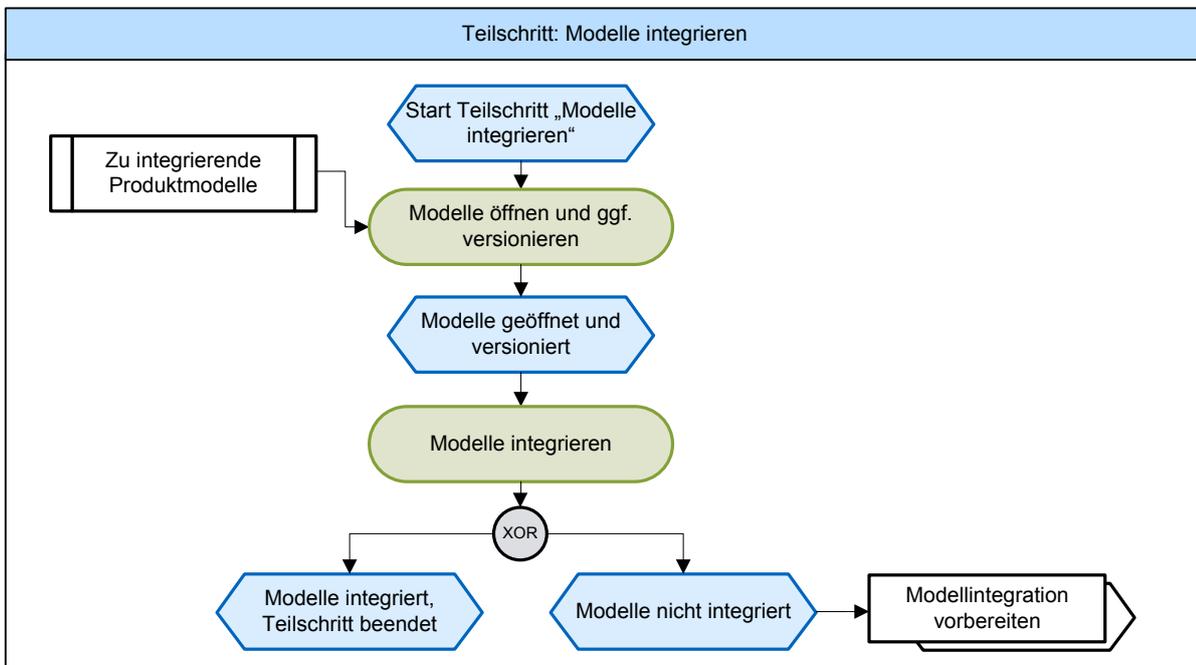


Bild 10-22: EPK zum Teilschritt „Modelle integrieren“

### Teilschritt „Modellkopplung vorbereiten“

Es wird überprüft, ob eine Kopplung der ausgewählten Modelle möglich ist.

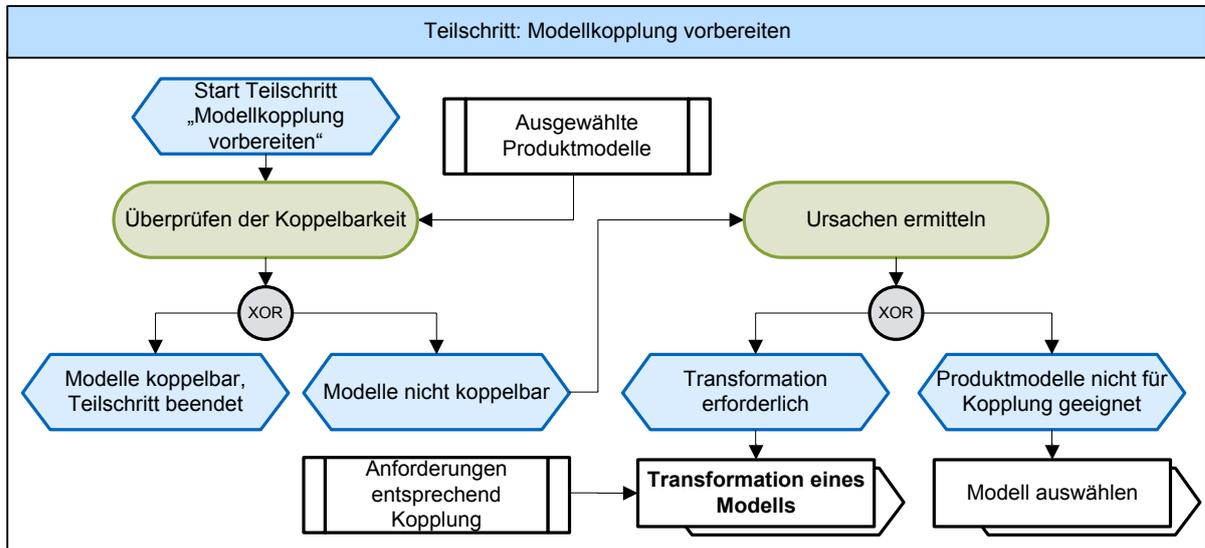


Bild 10-23: EPK zum Teilschritt „Modellkopplung vorbereiten“

### Teilschritt „Modelle koppeln“

Die entsprechenden Modelle werden gekoppelt.

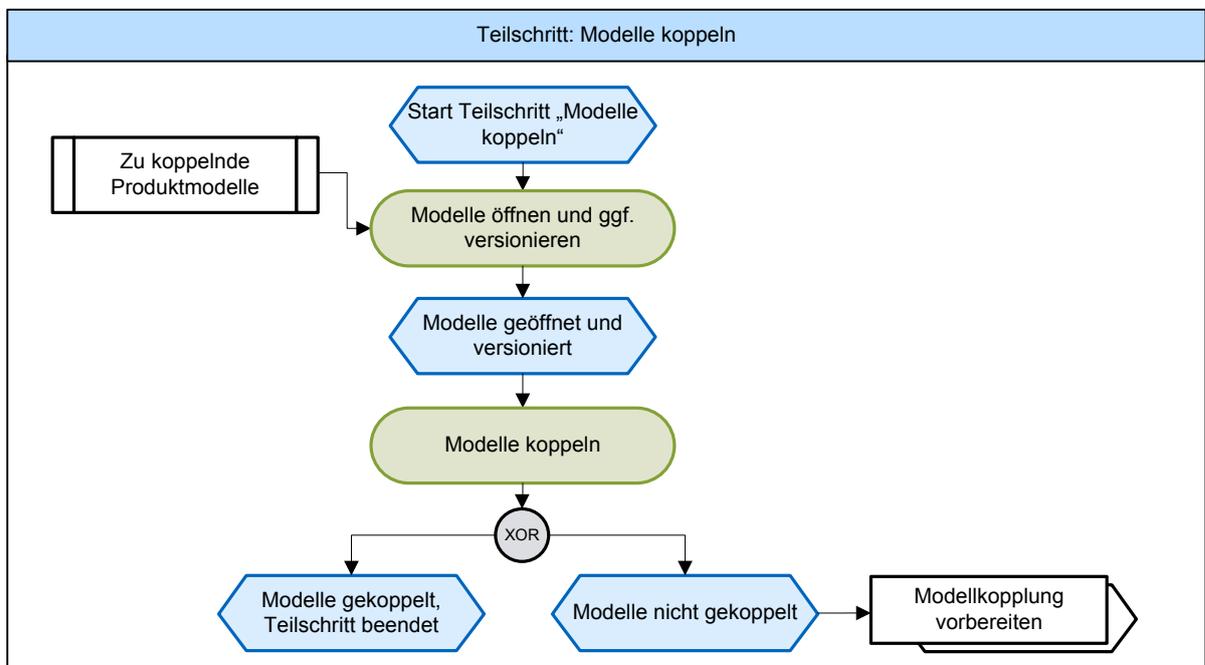


Bild 10-24: EPK zum Teilschritt „Modelle koppeln“

### Teilschritt „Löschen vorbereiten“

Es wird überprüft, ob und wie das Modell gelöscht bzw. entsorgt werden kann.

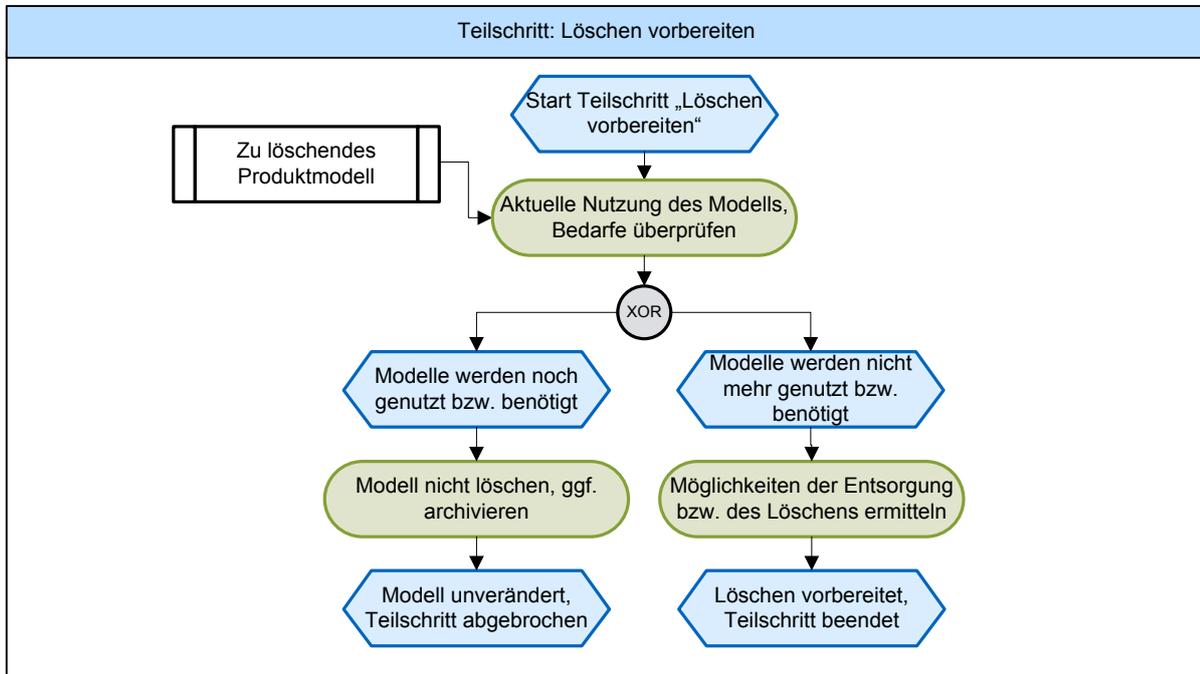


Bild 10-25: EPK zum Teilschritt „Löschen vorbereiten“

### Teilschritt „Modell löschen“

Das Modell wird gelöscht bzw. entsorgt.

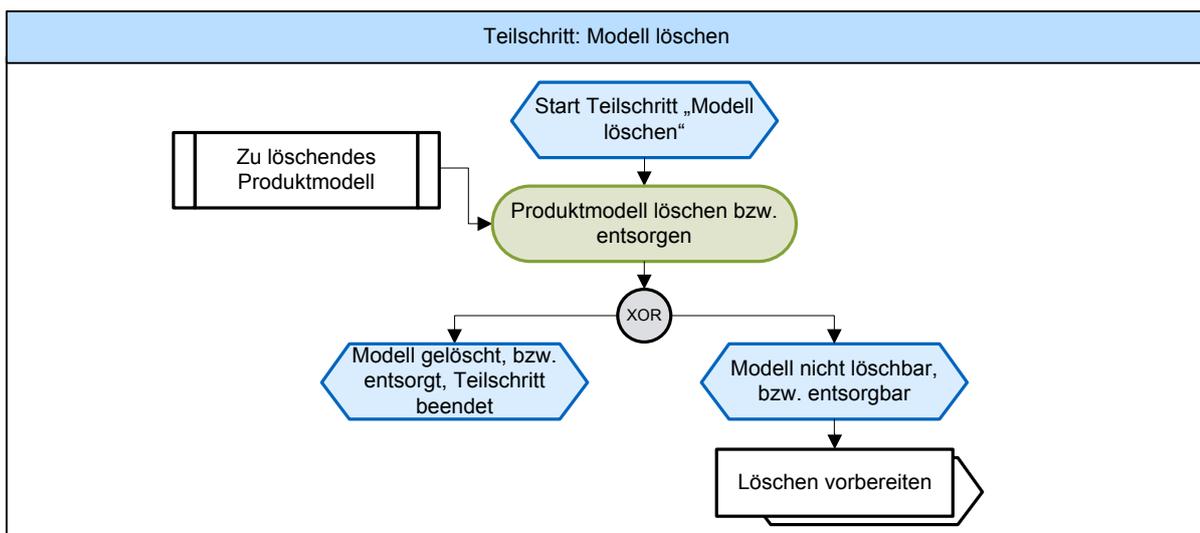


Bild 10-26: EPK zum Teilschritt „Modell löschen“

## 10.6 Sammlung von Produktmodelltypen

In der folgenden Tabelle sind die identifizierten Produktmodelltypen mit kurzer Beschreibung aufgelistet. Die in Kapitel 6.5 beschriebenen Herausforderungen bei der Unterteilung führen zu einem nach wie vor heterogenen Abstraktionsgrad der einzelnen Produktmodelltypen. Einige Produktmodelltypen können demnach noch weiter unterteilt werden, wogegen andere Produktmodelltypen bereits auf einem niedrigen Abstraktionsgrad beschrieben sind. Die Beschreibungen orientieren sich inhaltlich an der in Kapitel 6.2 aufgeführten produktmodell-spezifischen Literatur, wurden teils wörtlich übernommen und teils entsprechend gekürzt bzw. ergänzt.

Tabelle 20: Sammlung Produktmodelltypen

Bezeichnung Produktmodelltyp	Beschreibung
Adjazenzmatrix	Eine Adjazenzmatrix beschreibt als Verknüpfungsmatrix einen Zusammenhang zwischen Elementen.
Aktivitätsdiagramme (UML) [hauptsächlich für Software]	Aktivitätsdiagramme werden genutzt, um dynamische Aspekte eines Systems zu modellieren.
Akustikmodell (FEM)	Ein Akustikmodell dient der Simulation der Geräuschentwicklung eines Produkts.
Alternativkonzept / Alternativlösung	Alternativkonzept bezeichnet Lösungen, die neben der aktuellen Lösung existieren, diese sind dann jedoch als "inaktiv" klassifiziert.
Änderungsdokument	Ein Änderungsdokument enthält Information über eine Änderung des Produkts und zugehöriger Dokumentation.
Anforderungsliste	Die Anforderungsliste ist ein Hilfsmittel zur strukturierten Dokumentation von Anforderungen.
Anforderungsmodell	Summe der Anforderungen an ein Produkt.
Anwendungsfalldiagramm (UML) / Kontextdiagramm [hauptsächlich für Software]	Das Anwendungsfalldiagramm zeigt eine Sicht auf das erwartete Verhalten eines Systems anhand Anwendungsfällen und Akteuren.
Baugruppen / Baugruppenbeschreibung	Baugruppenbeschreibungen sind textuelle und graphische Beschreibungen von Baugruppen.
Baumodell	Das Baumodell repräsentiert ein Produkt auf der Ebene konkreter Bauelemente, wie sie anschließend gefertigt und montiert werden.
Baustruktur	Die Baustruktur ist die Gliederung technischer Produkte in Baugruppen und Bauteile sowie die Kopplung der Bauteile.
Berechnungsergebnisse / Berechnungsmodell	Berechnungsergebnisse beschreiben Produkteigenschaften und dienen der Bewertung des Produkts.
Betriebsdaten	Betriebsdaten geben Auskunft über die Eigenschaften des Produkts während des Betriebs.
Bewertungsergebnis	Bewertungsergebnisse fassen eine Bewertung übersichtlich zusammen.
Black Box	Mit Hilfe der Black-Box Darstellung wird die grundlegende Funktion beziehungsweise der wesentliche Zweck eines Systems abgebildet.
CAD-Geometriemodell / 2D-CAD-Modell / 3D-CAD-Modell / ...	CAD-Geometriemodelle sind durch Verwendung eines Computers als Hilfsmittel genutzte Modelle, die die Geometrie des Produktes darstellen.
CAM Modell	CAM-Modelle (Computer Aided Manufacturing-Modelle) beinhalten einen NC-Code zum Fertigen des Produkts/Bauteils.

Bezeichnung Produktmodelltyp	Beschreibung
CFD Modell	CFD-Modelle (Computational Fluid Dynamics-Modelle) entstehen als Teil einer Methode zur Strömungsberechnung.
Design CAD-Modell	Das Design/Layout ist eine geometrische Darstellung des Produkts, das einen Überblick über die optischen Eigenschaften des Produkts bietet.
Designskizze (Designmodell)	Eine Designskizze ist eine Skizze der geometrischen Form des Produktes.
Digital Mockup	Ein aus allen Einzelteilen aggregiertes vollständiges 3D-Modell des gesamten Produktes heißt Digitaler Mockup.
Effektstrukturen (Darstellung physikalische Effekte)	Effektstrukturen dienen der Darstellung von physikalischen Wirkprinzipien.
Einflussmatrix	Methode, bei der in strukturierter Form die gegenseitige Beeinflussung von Elementen eines Systems ermittelt wird.
Entity-Relationship Modell	Ein Entity-Relationship Modell bildet typisierte Objekte und deren Beziehungen untereinander ab.
Entscheidungstabellen	Entscheidungstabellen dienen der übersichtlichen Darstellung von komplexen Entscheidungsregeln.
Entwicklungsmodell	Ein Entwicklungsmodell dient der Spezifikation der Struktur sowie der geometrischen und stofflichen Beschaffenheit eines zu entwickelnden Produktes.
Entwurfsmodell	Ein Entwurfsmodell weist den Prinziplösungen konkrete Baugruppen und -teile zu und detailliert deren Geometrie und Material.
Fehlerbaumanalyse	Die Fehlerbaumanalyse dient zum systematischen Erstellen von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen zur Abbildung von Fehlern in Form einer Baumstruktur.
FEM Modell (Spannungsanalyse, Verformungsanalyse...)	Ein FEM-Modell (Finite Elemente Methode Modell) bildet ein System anhand partieller Differentialgleichungen ab.
Fertigungszeichnung	Die Fertigungszeichnung enthält die Darstellung eines Teiles mit weiteren Angaben (Oberflächenangaben, etc.) für die Fertigung.
FMEA-Dokument	Ein FMEA-Dokument (Failure Mode and Effects Analysis) unterstützt dabei, das Risiko möglicher Mängel oder Schäden eines Produktes oder Prozesses abzuschätzen.
FOPD (Function Oriented Product Description)	Function Oriented Product Description (FOPD) ist eine Spezifikation der funktionalen Aspekte von Elektronik/Elektrik-Systemen auf der Anwenderebene.
Freiheitsgradanalyse	Die Freiheitsgradanalyse dient der Bestimmung von Handlungs- und Gestaltungsspielräumen für die Entwicklung.
Funktionsmodell	Ein Funktionsmodell bildet ein System anhand dessen Funktionen ab. Diese können in Form von Listen, hierarchischen Bäumen oder Netzen vorliegen.
Funktionsnetz (nutzerorientiert)	Ein nutzerorientiertes Funktionsmodell stellt die nutzerorientierten Funktionen eines Produktes unter Orientierung am Lebenslauf dar.
Funktionsnetz (relationsorientiert)	Ein relationsorientiertes Funktionsmodell stellt die Zusammenhänge zwischen nützlichen und schädlichen Funktionen eines Produktes dar.
Funktionsnetz (umsatzorientiert)	Ein umsatzorientiertes Funktionsmodell stellt die Funktionen eines Systems anhand des Energie-, Stoff- und Signalumsatzes flussorientiert dar.
Funktionsplan	Der Funktionsplan wird verwendet, um komplexe Schaltvorgänge zu erstellen und zu visualisieren.

Bezeichnung Produktmodelltyp	Beschreibung
Gesamtentwurf	Der Gesamtentwurf enthält alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung.
Gestaltstudie	Die Gestaltstudie stellt ähnlich wie das Design das Produkt graphisch dar, allerdings ist noch nicht alles endgültig definiert.
Gewichtete Punktbewertung	Die Gewichtete Punktbewertung ist ein Bewertungsverfahren, das einen Vergleich von Lösungsalternativen ermöglicht.
Gozintograph	Der Gozintograph ist ein Modell zur Darstellung des Produktionsprozesses eines Produktes anhand dessen Zusammensetzung aus einzelnen Teilen.
Ideenformular	Das Ideenformular ist eine strukturierte Sammlung von Lösungsmöglichkeiten für verschiedene Teilfunktionen des Produkts.
Interner Projektauftrag	Der interne Projektauftrag ist Grundlage für die anstehende Entwicklung und enthält Informationen über die eigentliche Aufgabe und initiiert den Start der Entwicklung.
Kinematische Skizze	Eine Kinematische Skizze stellt in vereinfachter Darstellung die Kinematik eines Produktes dar.
Konsistenzmatrix	Die Konsistenzmatrix dient der Analyse von Kombinationen zwischen Betrachtungsobjekten (Situationsmerkmalen, Anforderungen, Lösungen etc.).
Konstruktionskatalog	Ein Konstruktionskatalog ist die Sammlung von bewährten Lösungen eines Produktes.
Konzeptheft	Das Konzeptheft legt Wirkprinzipien des Produktes fest und beschreibt verschiedene Lösungsvarianten.
Konzeptplan / Lösungskonzept / Konzept	Ein Lösungskonzept ist eine aus mehreren Lösungsalternativen ausgewählte prinzipielle Lösung eines Produktes.
Kostenabschätzung	Eine Kostenabschätzung beschreibt das Produkt bzw. die einzelnen Produktteile und Prozessschritte in Bezug auf die Kosten.
Kundenauftrag	Der Kundenauftrag beschreibt das Produkt anhand der Kundenwünsche und -bedingungen an das zu entwickelnde Produkt.
Lastenheft	Das Lastenheft beschreibt Anforderungen des Auftraggebers an den Auftragnehmer.
Lastkollektiv	Das Lastkollektiv bezeichnet die an einem Produkt aufgetretenen Schwingungsamplituden in einem bestimmten Zeitraum.
Lieferantendatenblatt	Das Lieferantendatenblatt enthält Informationen zu den technischen Daten und Eigenschaften einer gelieferten Komponente.
Logikplan	Der Logikplan stellt die logischen Grundfunktionen elektrischer, elektronischer, pneumatischer und hydraulischer Schaltungen dar.
Materialliste / Materialmodell	Die Materialliste beschreibt das Produkt anhand der benötigten Materialien und enthält Informationen zu Lieferanten, Bezeichnungen, Materialmengen, Masse und Kosten.
Mehrkörpersimulation (MKS) / kinematische Simulation	Das Mehrkörpersimulation-Modell (MKS-Modell) bildet ein Produkt als Mehrkörpersystem durch mehrere unverformbare Körper ab.
Meilensteindokumentation	Die Meilensteindokumentation beschreibt den aktuellen Entwicklungsstand des Produktes und fasst dessen Status zusammen.
Modulare Struktur	Die Modulare Struktur beschreibt die Gliederung eines Produktes in einzelne Gruppen und Elemente einschließlich deren Verknüpfungen.
Modulmodell	Das Modulmodell gliedert das Produkt in Teilbereiche, so dass eine effiziente Bearbeitung mit Hilfe von Methoden des Projektmanagements erfolgen kann.

Bezeichnung Produktmodelltyp	Beschreibung
Montageplan	Der Montageplan beschreibt, wie das Produkt im Rahmen der Fertigung montiert werden muss.
Montagevorranggraph	Der Montagevorranggraph stellt die Teilaufgaben der Montage eines Produktes netzplanähnlich dar.
Montagezeichnung	Die Montagezeichnung stellt das Produkt in einer Explosionsansicht dar, wodurch die Montagereihenfolge ersichtlich wird.
Morphologischer Kasten	Der Morphologische Kasten ist ein nach bestimmten Kriterien aufgebautes, eindimensionales Ordnungsschema, um ein Lösungsfeld abzubilden.
NC-Programm / CNC	NC-Programme (CNC = Computerized Numerical Control) beschreiben die gewünschte Form des herzustellenden Werkstücks und die anzuwendende Technologie.
Nutzwertanalyse	Das Ergebnis einer Nutzwertanalyse ermöglicht die differenzierte Bewertung von Alternativen vor allem bei komplexen Produkten.
Ordnungsschema, Alternativenbaum	Ein Ordnungsschema dient der Strukturierung von Lösungsalternativen. Ein Alternativenbaum stellt die möglichen Alternativen als Verkettung ihrer Elemente dar.
Paarweiser Vergleich / Zielpräferenzmatrix	Das Ergebnis eines paarweisen Vergleichs ermöglicht einen direkten Vergleich von jeweils zwei Alternativen bezüglich einzelner Kriterien.
Package	Das Package enthält Informationen über die Anordnung der einzelnen Bauteile und Gruppen eines Produktes.
Patent	Patente stellen eine juristische Beschreibung eines Lösungsprinzips bzw. Produkts dar, welches dieses eindeutig definiert (Funktionsweise, Aufbau, Zweck, usw.).
Perspektivische Skizze	Die perspektivische Skizze bildet ein Produkt meist stark vereinfacht perspektivisch unter Nutzung von Symbolen ab.
Petri-Netz	Ein Petri-Netz beschreibt den Ablauf von Prozessen als markierter gerichteter Graph.
Pflichtenheft	Das Pflichtenheft beschreibt, wie der Auftragnehmer die Anforderungen des Auftraggebers zu lösen gedenkt.
Problemmodell	Das Problemmodell dient zur Generierung eines besseren Problem- oder Systemverständnisses in Bezug auf existierende oder zu entwickelnde Systeme.
Product Family Evolution Model (PFEM)	Das PFEM (Product Family Evolution Modell) stellt die Evolution einer Produktfamilie anhand der Veränderungen zwischen Produkten dar.
Produktlogik	Die Produktlogik stellt in Ergänzung zur Produktstruktur gegenseitige Beeinflussungen zwischen baugruppenübergreifenden Elementen dar.
Produktstruktur / Produktarchitektur	Die Produktstruktur bzw. Produktarchitektur beschreibt die strukturierte Zusammensetzung des Produktes aus seinen Komponenten.
Prototyp	Ein Prototyp stellt ein für die jeweiligen Zwecke funktionsfähiges, oft aber auch vereinfachtes Versuchsmodell eines geplanten Produktes oder Bauteils dar.
Prototyp (Design)	Ein Design Prototyp dient der Überprüfung des Konstruktionsentwurfes bezüglich ästhetischer, optischer und ergonomischer Anforderungen.
Prototyp (Funktion)	Ein Funktions-Prototyp dient der Überprüfung von Teilfunktionen bzw. Komponenten eines Gesamtsystems.
Prototyp (Geometrie)	Der Geometrie-Prototyp ist ein maßgenaues Modell für erste Montage- und Gebrauchsversuche und zur Konkretisierung des (Material-) Anforderungsprofils.

Bezeichnung Produktmodelltyp	Beschreibung
Prototyp (Technik)	Ein Technik-Prototyp betrachtet alle funktionalen Aspekte des Gesamtsystems, wobei der Herstellungsprozess in der Regel anders ist als für die Serie.
Prüfanweisung	Die Prüfanweisung enthält die Anweisung für die Durchführung einer Qualitätsprüfung und gibt an, wie eine Prüfung durchzuführen ist.
Prüfplan	Der Prüfplan gibt vor, was, wann, mit welcher Methode und wie häufig geprüft werden muss.
Recyclingplan / Recyclinginformationen	Der Recyclingplan beschreibt das Produkt hinsichtlich des Recyclingprozesses.
SADT [hauptsächlich für Software]	SADT ("Structured Analysis and Design Technique") dient der grafischen Spezifikation von Anforderungen mittels hierarchisch geordneter Diagramme.
Schaltplan / Schaltplan	Ein Schaltplan ist eine grafische, abstrahierte Darstellung einer elektrischen Schaltung.
Sequenzdiagramm (UML) [hauptsächlich für Software]	Ein Sequenzdiagramm beschreibt die Kommunikation zwischen Objekten in einer bestimmten Szene anhand ausgetauschter Objekte und deren Reihenfolge.
Simulationsmodell	Ein Simulationsmodell ermöglicht es, anhand der Simulation Aussagen über Eigenschaften des Produktes zu treffen.
Skizze / Handskizze / Brainsketchingergebnis	Eine Skizze ist eine nicht unbedingt maßstäbliche, vorwiegend freihändig erstellte Zeichnung.
Spezifikationsmodell	Ein Spezifikationsmodell dokumentiert die Kundenbedürfnisse für den gesamten Produktentwicklungsprozess.
Stückliste	Eine Stückliste ordnet die für den Zusammenbau eines Produktes erforderlichen Bestandteile und stellt diese dar.
Tatsächliches Leistungsprofil	Das tatsächliche Leistungsprofil beschreibt die Leistungsfähigkeit des endgültigen Produkts.
Technische Zeichnung / Zeichnungen / drawings	Die technische Zeichnung zeigt in grafischer und schriftlicher Form alle notwendigen Informationen für die Herstellung und Beschreibung eines Produktes (siehe Fertigungszeichnung).
Teilekatalog	Ein Teilekatalog enthält die zu verwendende Bauteile, die im Produkt eingesetzt werden können.
Toleranzmodell	Ein Toleranzmodell bildet Toleranzinformationen in Ergänzung der Produktmerkmale ab.
TRIZ Stoff-Feld-Modell	Die Stoff-Feld-Analyse bildet die erwünschte Funktion eines Produktes durch das Zusammenspiel von Stoffen (Objekten) und Feldern (Aktionen) ab.
Ursache-Wirkungs-Analyse	Eine Ursache-Wirkungs-Analyse bildet kausale Zusammenhänge zwischen Fehlern bzw. unerwünschten Ereignissen, ihren Ursachen und ihren Wirkungen ab.
Verifikationsmodell	Ein Verifikationsmodell bildet wesentliche Eigenschaften eines Produktes ab, um dessen Bewertung zu ermöglichen.
Verknüpfungsmatrix	Eine Verknüpfungsmatrix stellt Zusammenhänge zwischen Betrachtungsobjekten aus unterschiedlichen Kategorien her.
Vertriebsunterlagen	Die Vertriebsunterlagen ergänzen den internen Projektauftrag durch die dem Kunden kommunizierten Bedingungen des Auftrags.
Vorentwurf	Der Vorentwurf konkretisiert durch Gestalten der maßgebenden Module die prinzipielle Lösung.
Vorteil-Nachteil-Vergleich	Der Vorteil-Nachteil-Vergleich stellt Vor- und Nachteile zwischen Lösungsalternativen gegenüber.

Bezeichnung Produktmodelltyp	Beschreibung
VR-Modell	VR-Modelle sind all diejenigen Modelle, die das Produkt in der Virtuellen Realität abbilden.
Wirkkonzept	Ein Wirkkonzept stellt ein Gesamtkonzept für das Produkt auf Ebene des Wirkmodells dar
Wirkmodell / Wirkstrukturmodell	Das Wirkmodell beschreibt die prinzipielle Lösungsmöglichkeit für eine technische Aufgabenstellung beschreibt.
Wirkstruktur	Die Wirkstruktur stellt die Verknüpfung mehrerer Wirkprinzipien einer Lösung dar.
Zielmodell	Das Zielmodell dient zur Erfassung, Strukturierung und Dokumentation von gewünschten Systemmerkmalen.
Zusammenstellzeichnung / Zusammenbauzeichnung	Die Zusammenstellzeichnung dient der Erläuterung von Zusammenbauvorgängen des Produktes.

## 10.7 Produktmodelltypen-Klassifikation

In den Abbildungen Bild 10-27, Bild 10-28 und Bild 10-29 ist anhand eines Ausschnittes der Produktmodelltypen deren Klassifikation entsprechend den aufgestellten Klassifizierungsmerkmalen aufgezeigt. Auf Grund der bestehenden voneinander abweichenden Definitionen und daher unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten der Produktmodelltypen stellt diese Zuordnung einen Vorschlag dar. Dieser kann entsprechend der jeweiligen Bedarfe und gegebenenfalls vorliegender (unternehmensinterner) Konventionen angepasst werden.

		Konkretisierungsgrad				Darstellungsform				Zweck				Abstraktionsgrad			Vollständigkeit			Verständlichkeit		
		Anforderungsmodell	Funktionsmodell	Wirkmodell	Baummodell	analytisch	graphisch	Tabelle/Matrix	textuell	Zielmodell	Problemmodell	Entwicklungsmodell	Verifikationsmodell	Abstrakte Produktinformationen	Mittelabstrakte Produktinformationen	Konkrete Produktinformationen	wenige Produktmerkmale festgelegt	viele Produktmerkmale festgelegt	alle Produktmerkmale festgelegt	leicht verständlich	verständlich	schwer verständlich
<b>Nr. Produktmodell</b>																						
1	Alternativkonzept / Alternativlösung			x	x		x				x			x			x					x
2	Anforderungsliste	x						x	x				x					x	x			
3	Baugruppen / Baugruppenbeschreibung				x	x	x				x			x			x				x	
4	Baustruktur (Netzplan)				x	x					x			x			x				x	
5	CAM Modell				x	x								x			x					x
6	CFD Modell			x		x					x		?					x				x
7	Change Prediction Model (CPM)		x				x			x			x				x				x	
8	Contact & Channel Model (C&CM)		x				x			x			x				x				x	
9	Darstellung physikalische Effekte / Effekstrukturen		x				x			x			x			x					x	
10	Design CAD-Modell				x	x					x			x			x					x
11	Digital Mock up				x	x					x			x				x				x
12	Einflussmatrix		x				x			x	x	x					x			x		
13	FAST-Modell (Function Analysis System Technique)		x	?			x			x			x				x				x	
14	Fehlerbaumanalyse			x			x			x			x				x				x	
15	FEM Modelle (Spannungsanalyse, Verformungsanalyse...)			?		x						x		?				x				x
16	Fertigungszeichnung				x	x					x			x				x				x
17	FMEA-Dokument			x				x		x			x					x				x
18	FOPD (Function Oriented Product Description)		x				x			x			x				x				x	
19	Funktionsliste, Funktions-baum, Funktionsnetz		x				x	x		x			x				x				x	
20	Funktionsnetz (relationsorientiert)		x				x			x			x				x				x	
21	Funktionsnetz (nutzerorientiert)		x				x			x			x				x				x	

Bild 10-27 Produktmodelltypen-Klassifikation Teil 1 von 3

Nr.	Produktmodell	Konkretisierungsgrad				Darstellungsform				Zweck				Abstraktionsgrad			Vollständigkeit			Verständlichkeit		
		Anforderungsmodell	Funktionsmodell	Wirkmodell	Baummodell	analytisch	graphisch	Tabelle/Matrix	textuell	Zielmodell	Problemmodell	Entwicklungsmodell	Verifikationsmodell	Abstrakte Produktinformationen	Mittelabstrakte Produktinformationen	Konkrete Produktinformationen	wenige Produktmerkmale festgelegt	viele Produktmerkmale festgelegt	alle Produktmerkmale festgelegt	leicht verständlich	verständlich	schwer verständlich
22	Funktionsnetz (umsatzorientiert)		x			x				x			x				x				x	
23	Funktionsplan		x			x				x				x			x				x	
24	Funktionsstruktur - TRIZ		x			x				x			x				x				x	
25	Geometriemodell / 2D-CAD-Modell / 3D-CAD-Modell / ...				x	x					x			x			x	x				x
26	Gewichtete Punktbewertung			?			x				x		x			x	x				x	
27	Gozintograph				x	x					x			x			x				x	
28	Ideenformular (Ergebnis der Methode 6-3-5)			x			x			x				x			x				x	
29	kinematische Skizze		?			x				x				x		x					x	
30	Konsistenzmatrix	x		x			x				x		x				x				x	
31	Konzeptheft			x		?	?	?		x				x			x					x
32	Konzeptplan / Lösungskonzept /Konzept			x		?	?	?		x				x			x					x
33	Lastenheft	x				?	?	x	x				x					x			x	
34	Logikplan		x			x				x				x			x					x
35	Materialliste / Materialmodell				x			x			x			?			x					x
36	Mehrkörpersimulation (MKS) / kin. Simulation			?		x					x		x					x				x
37	Montagevorranggraph / assembly tree graph				x	x					x			x			x					x
38	Montagezeichnung				x	x					x			x				x				x
39	Morphologischer Kasten			x			x			x				x			x					x
40	NC-Programm / CNC				?	x					x			?				x				x
41	Nutzwertanalyse			?		x					x			x			x	x				x
42	Ordnungsschema, Alternativenbaum			x			x			x				x			x					x

Bild 10-28 Produktmodelltypen-Klassifikation Teil 2 von 3

Nr.	Produktmodell	Konkretisierungsgrad				Darstellungsform				Zweck				Abstraktionsgrad			Vollständigkeit			Verständlichkeit		
		Anforderungsmodell	Funktionsmodell	Wirkmodell	Baummodell	analytisch	graphisch	Tabelle/Matrix	textuell	Zielmodell	Problemmodell	Entwicklungsmodell	Verifikationsmodell	Abstrakte Produktinformationen	Mittelabstrakte Produktinformationen	Konkrete Produktinformationen	wenige Produktmerkmale festgelegt	viele Produktmerkmale festgelegt	alle Produktmerkmale festgelegt	leicht verständlich	verständlich	schwer verständlich
43	Patent			?	?		?	?	x				?			x			x			
44	Perspektivische Skizze				x		x				x			x		x				x		
45	Petri-Netz		x				x				x			x			x				x	
46	Pflichtenheft	x					?	?	x	x			x						x	x		
47	Produktstruktur / Produktarchitektur				x		x				x			x			x					x
48	Prototyp				x						x				x				x			x
49	Prototyp (Design)				x						x				x				x			x
50	Prototyp (Funktion)				x						x				x				x			x
51	Prototyp (Geometrie)				x						x				x				x			x
52	Prototyp (Technik)				x						x				x				x			x
53	Recyclingplan / Recyclinginformationen								x					x					?			x
54	Schalt diagramm / Schaltplan		x				x				x			x					x			x
55	Stückliste				x				x		x			?					?		x	
56	Technische Zeichnung				x		x				x				x				x			x
57	Toleranzmodell				x		x				x				x				?			x
58	TRIZ Stoff-Feld-Modell		x				x				x			x					x			x
59	Ursache-Wirkungs-Analyse			x			x					x		x					x			x
60	Vorauswahl		?	?				x			x			x					x			x
61	Vorteil-Nachteil-Vergleich		?	?				x			x			x					x			x
62	Wirkstruktur			x			x				x			x					x			x
63	Zusammenstellzeichnung / Zusammenbauzeichnung				x		x				x				x				x			x

Bild 10-29 Produktmodelltypen-Klassifikation Teil 3 von 3

## 10.8 Regeln und Hinweise zur Gestaltung der Arbeit mit Modellen

Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft die in den genutzten Literaturquellen identifizierten Regeln und Hinweise zur Arbeit mit Modellen.

Tabelle 21: Regeln und Hinweise zur Gestaltung der Arbeit mit Modellen

Nr.	Regel bzw. Hinweise	Quelle
1	Die Ziele der Modellierung müssen klar formuliert sein und von allen Beteiligten verstanden werden. Die Ziele der Modellierung müssen erreichbar sein.	BIRTA 2007
2	Projektziele müssen mit den vorhandenen Möglichkeiten, Wissen aus dem System zu extrahieren, übereinstimmen.	BIRTA 2007
3	Der Detaillierungsgrad wird bestimmt durch die Ziele. Zu hoher Detaillierungsgrad führt zu übertriebenem Detail und damit zu hohen Kosten und Verzögerungen. Zu niedriger Detaillierungsgrad ermöglicht nicht die passende Abbildung des Originals.	BIRTA 2007
4	Tests für die Validierung müssen unerwartetes Verhalten des Originals berücksichtigen.	BIRTA 2007
5	Verteilung von Fähigkeiten, Aufwand, Teamumgebung, Kompetenz der Teammitglieder, Projektmanagement, Dokumentation, Umwandlung von Fachwissen in das Format eines Modells, Datenmodule, Experiment design, Softwareentwicklung und Analyse der Ergebnisse muss ausgewogen sein	BIRTA 2007
6	Der Auftraggeber bzw. die jeweiligen Stakeholder müssen laufend über den Fortschritt des Projektes informiert werden und in Entscheidungen einbezogen werden.	BIRTA 2007
7	Damit das Modell qualitativ hochwertig wird, muss der Output des Modells passenden Umfang und Detaillierungsgrad aufweisen.	BROOKS & TOBIAS 1996
8	Die Genauigkeit der Modellresultate muss entsprechend den Anforderungen passend sein.	BROOKS & TOBIAS 1996
9	Das Modell und dessen Ergebnisse müssen klar verstanden werden können.	BROOKS & TOBIAS 1996
10	Das Modell soll wenn erforderlich portabel sein und weiterentwickelt werden können.	BROOKS & TOBIAS 1996
11	Die Wahrscheinlichkeit, dass das Modell Fehler enthalten kann soll möglichst gering gehalten werden - z.B. muss das konstruierte Modell dem konzeptuellen Modell entsprechen.	BROOKS & TOBIAS 1996
12	Das Modellergebnis soll mit Ergebnissen aus vorhandenen Messdaten übereinstimmen.	BROOKS & TOBIAS 1996
13	Um Validität und Verifikation zu ermöglichen, muss die Qualität der Input-Daten für das Modell sichergestellt werden können.	BROOKS & TOBIAS 1996
14	Um die Ressourcen einzuhalten, muss das Modell in angemessener Zeit und mit angemessenen Kosten erstellt werden.	BROOKS & TOBIAS 1996
15	Die Ressourcen werden eingehalten, wenn die Modellnutzung angemessenen Kosten- und Zeitaufwand erfordert.	BROOKS & TOBIAS 1996
16	Um die Ressourcen einzuhalten, muss die Modellanalyse mit angemessenem Kosten- und Zeitaufwand durchgeführt werden können.	BROOKS & TOBIAS 1996
17	Um die Ressourcen einzuhalten, müssen Computer-Anforderungen wie Rechnerleistung oder Arbeitsspeicher rechtzeitig berücksichtigt werden.	BROOKS & TOBIAS 1996

18	Modelle sollen einen klaren Bezug zu lokalen oder persönlichen Bedarfen aufweisen.	DÜRRENBARGER 1999
19	Modelle sollen einen hohen Grad an Visualisierung und Interaktivität besitzen.	DÜRRENBARGER 1999
20	Modelle sollen einfache Strukturen aufweisen, transparent sein und niedrige Rechenleistung beanspruchen.	DÜRRENBARGER 1999
21	Modelle sollen nicht als ein Ersatz für andere Informationsquellen gesehen werden.	DÜRRENBARGER 1999
22	Modellierer müssen ein genügendes Maß an Wissen über das zu modellierende System besitzen.	DÜRRENBARGER 1999
23	Die Qualität eines Modelltyps wird durch seine Ausdrucksstärke beeinflusst, d. h. wie viele unterschiedliche Anwendungsfälle damit abgebildet werden können.	HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000
24	Die Qualität eines Modelltyps wird durch seine Mehrdeutigkeit bestimmt, d. h. welche Freiheitsgrade bei der Modellierung einer Domäne existieren.	HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000
25	Die Qualität eines Modelltyps wird durch seine Eignung für spezifische Anwendungsfälle bestimmt.	HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000
26	Die Qualität eines Modelltyps wird durch seine Verständlichkeit bestimmt, d. h. die Einfachheit, mit der die beteiligten Personen mit dem Modell arbeiten und es verstehen können.	HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000
27	Die Qualität eines Modelltyps wird durch das Zusammenspiel der darin verwendeten Teilmodelle bestimmt.	HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000
28	Die Qualität eines Modelltyps wird durch die Vollständigkeit der Abbildung der für einen bestimmten Zweck erforderlichen Konzepte bestimmt.	HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000
29	Die Qualität eines Modelltyps wird durch seine Effizienz bezüglich Ressourcennutzung bestimmt.	HOMMES & VAN REIJSWOUD 2000
30	Der Zweck des Modells muss bei der Modellbeschreibung angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
31	Der gewählte Modellierungsansatz muss bei der Modellbeschreibung angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
32	Die genutzten Werkzeuge müssen bei der Modellbeschreibung angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
33	Die gesamte benötigte Zeit für die Modellerstellung muss bei der Modellbeschreibung angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
34	Die finale Größe des Modells muss bei der Modellbeschreibung angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
35	Die Zeitspanne, wann die Arbeit mit dem Modell stattgefunden hat, muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden	KERLEY et al. 2009
36	Der Ort, an dem die Arbeit mit dem Modell stattgefunden hat, muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden	KERLEY et al. 2009
37	Die an der Arbeit mit dem Modell beteiligten Personen müssen bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden. Interaktionen zwischen den Modellierern und den Experten, sowie deren Rollen müssen angegeben sein.	KERLEY et al. 2009
38	Weitere an der Arbeit mit dem Modell beteiligte Personen müssen zur Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
39	Das Original muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
40	Die Gründe für die Arbeit mit dem Modell müssen bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009

41	Die Modellierungserfahrung der Modellierer muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
42	Die Expertise des Modellierers bezüglich der Domäne muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
43	Die vorhandenen bzw. zur Verfügung stehenden Informationen und andere Modelle müssen bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
44	Die in dem Modellierungsprozess genutzten Werkzeuge und Repräsentationen müssen bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
45	Der Ablauf von Treffen und Workshops muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
46	Die benötigte Zeit muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
47	Die Anzahl an Aufgaben und der Detaillierungsgrad des Modells muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
48	Die spätere Nutzung des finalen Modells muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
49	Die Evaluation des Modells und des Ergebnisses muss bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
50	Aufgetretene Probleme müssen bei der Beschreibung der Tätigkeit angegeben werden.	KERLEY et al. 2009
51	Um die Ziele, den Umfang etc. des Modells zu bestimmen soll mit Einzelinterviews gestartet werden. Einzelinterviews sind der effizienteste Weg für den Modellierer, um die Domäne kennen zu lernen.	KERLEY et al. 2009
52	Zunächst sollen Informationen weitläufig gesammelt werden (und dann detailliert werden). Denn Anfangs ist es schwierig von außerhalb zu beurteilen, was und wer in den Modellierungsprozess involviert werden sollte.	KERLEY et al. 2009
53	Vorab soll abgeschätzt werden, wie groß bzw. detailliert das Modell werden soll. Dies hilft den Teilnehmern, die Aufgaben / Systemelemente auf dem richtigen Detaillierungsgrad zu formulieren.	KERLEY et al. 2009
54	Um die Modellstruktur zu ermitteln, sollen Gruppensitzungen durchgeführt werden. Dadurch wird ein gemeinsames Verständnis des Modellinhalts und seiner Struktur und Enthusiasmus für folgende Tätigkeiten erzeugt.	KERLEY et al. 2009
55	Interviews sollen für die Detailermittlung genutzt werden. Sie sind der effizienteste Weg, um spezifische Informationen von den Experten zu sammeln.	KERLEY et al. 2009
56	Interviews sollen bei der Informationsakquise bevorzugt werden. Interviews sind besser geeignet, um an bestimmten Stellen gezielt ins Detail zu gehen	KERLEY et al. 2009
57	Das konzeptuelle Rahmenwerk eines Modells soll auf eine PPT-Folie passen. Dies schärft den Bedarf nach Informationen (wer und warum). Muss für alle Beteiligten einfach zu verstehen sein.	KERLEY et al. 2009
58	Modelle sollen elektronisch gespeichert werden, um eine einfachere Verteilung und Review der Ergebnisse zu ermöglichen.	KERLEY et al. 2009
59	In Gruppendiskussionen sollen große Ausdrucke verwendet werden auf denen die Teilnehmer schreiben können. Dies fördert die Teilnahme an Validierung und Überarbeitung des Modells.	KERLEY et al. 2009

60	Modelle können nicht anhand der einfachen Kombination von bestehenden Modellen erstellt werden. Modelle sind für bestimmte Zwecke erstellt worden und bestehende Modelle müssen oftmals überarbeitet werden	KERLEY et al. 2009
61	Wenn konzeptionelle Modelle in Simulationsmodelle überführt werden, soll dennoch das konzeptionelle Modell weiterhin gepflegt werden. Implementierung kann häufig zu Modellveränderungen führen. Computermodelle sind womöglich nicht so einfach zu verstehen wie konzeptionelle Modelle.	KERLEY et al. 2009
62	Modellierungstools sollen entsprechend den situationsspezifischen Bedarfen genutzt werden. Ein besserer, qualitativ hochwertiger Umgang mit den Experten wiegt den zeitlichen Transformationsaufwand auf.	KERLEY et al. 2009
63	Für die Evaluierung des Modells werden Gruppensitzungen bevorzugt.	KERLEY et al. 2009
64	Erstellung des Modells in Stufen / kleinen Schritten. Modellierung beinhaltet inkrementelles Lernen sowohl auf Seiten des Modellierers als auch des Experten.	KERLEY et al. 2009
65	Besonders die Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Disziplinen sollen betrachtet werden. Für den Experten stellt das Verstehen von domänenübergreifenden Zusammenhängen einen wesentlichen Mehrwert dar.	KERLEY et al. 2009
66	Es muss genügend Zeit vorhanden sein (sowohl in Treffen als auch zwischen den einzelnen Treffen). Experten sind viel beschäftigt und es ist schwierig, Termine mit ihnen zu bekommen.	KERLEY et al. 2009
67	Treffen müssen gut vorbereitet und gut durchgeführt werden. Die geringe verfügbare Zeit von Domänenexperten soll bestmöglich genutzt werden.	KERLEY et al. 2009
68	Harte Arbeit ist erforderlich, um Expertenbeteiligung und -motivation hoch zu halten. Experten beteiligen sich vielmals freiwillig und ziehen sich bei ungenügend erkennbarem Mehrwert aus der Modellierung zurück	KERLEY et al. 2009
69	Wenn die Modellanwendung einen hohen Aufwand erfordert, dann besitzt das Modell eine geringere Eignung für eine Optimierungsstudie die jeweils eine erneute Berechnung des Modells erfordert	MEISEL & COLLINS 1973
70	Wenn die Anzahl an zu spezifizierenden Input-Variablen und Parametern sehr hoch ist, dann kann der Modell-Output angezweifelt werden.	MEISEL & COLLINS 1973
71	Transfer und Kombination von Modellen ist generell schwierig, weshalb die Nutzung eines vorhandenen Modells in anderen Umgebungen oft eingeschränkt ist.	MEISEL & COLLINS 1973
72	In einem komplexen Modell wird ein spezieller Fall sehr detailliert abgebildet aber für eine Generalisierung sind mehrere Läufe erforderlich. Daher ist die Interpretation der Resultate eingeschränkt und eine Verallgemeinerung fällt oftmals schwer.	MEISEL & COLLINS 1973
73	Damit ein Modell korrekt ist, muss es das modellierte Systemverhalten innerhalb spezifizierter Toleranzen abbilden. (=Modellkorrektheit).	NANCE 1987
74	Damit ein Modell testbar ist, müssen Vergleiche zwischen Modellspezifikationen in unterschiedlichen Ausprägungen und zwischen Modell- und Systemverhalten möglich sein. (=Testbarkeit)	NANCE 1987
75	Damit ein Modell anpassbar ist, müssen Modellspezifikationen mit verhältnismäßig geringem Aufwand zu verändern sein, so dass die Anwendbarkeit des Modells mit geringen Kosten angepasst werden kann. (=Anpassbarkeit)	NANCE 1987
76	Damit ein Modell wiederverwertbar ist, muss die Möglichkeit gegeben sein, Modellkomponenten zu extrahieren und sie in nachfolgenden Modellierungsaufgaben wieder zu verwenden. (=Wiederverwertbarkeit)	NANCE 1987

77	Damit ein Modell wartbar ist, muss die Möglichkeit gegeben sein, Modellspezifikationen anzupassen, um ursprünglich nicht formulierte Bedarfe zu erfüllen. (=Wartbarkeit)	NANCE 1987
78	Die Modellierung soll möglichst einfach erfolgen und Komplexität muss nicht in dem Modell enthalten sein. Ein relativ einfaches Modell kann komplizierte Analysen ermöglichen.	PIDD 1999
79	Ein Modell wird stets für einen bestimmten Zweck eingesetzt. Um die Eignung des Modells zu bestimmen und es danach zu entwickeln, muss der Zweck klar formuliert und verstanden sein.	PIDD 1999
80	Die Strukturierung des Problems ist der Schlüssel für eine möglichst einfache Gestaltung des Modells.	PIDD 1999
81	Bevor das Modell verändert wird, muss über die Auswirkungen reflektiert werden.	PIDD 1999
82	Kein Modell soll bzw. kann alles tun.	PIDD 1999
83	Ein mächtiges Modell ist wie eine Kettensäge. Richtig eingesetzt ist es ein sehr hilfreiches Werkzeug, aber ohne Training kann es großen Schaden anrichten - auch für den Anwender.	PIDD 1999
84	Ein Problem richtig formuliert ist bereits die halbe Lösung.	PIDD 1999
85	Ein Modell soll im Laufe der Zeit in kleinen Schritten überarbeitet werden, bis es dem jeweiligen Zweck entspricht.	PIDD 1999
86	Wenn Einschränkungen eines einfachen Modells auftreten, dann werfe das Modell weg und baue ein anderes.	PIDD 1999
87	"Mega"-Modelle sollen vermieden werden. Manchmal können mehrere kleinere Modelle zu einem gemeinsamen Modell kombiniert werden.	PIDD 1999
88	Modellierer sollen Analogien und Ähnlichkeiten zu anderen Systemen nutzen.	PIDD 1999
89	Man soll nicht nur die Daten im Auge behalten. Die Datenakquise soll durch den Bedarf der Modellierung getrieben werden, nicht andersherum.	PIDD 1999
90	Bereits vorhandene Daten müssen hinsichtlich ihres Wertes beurteilt werden. Lieber spezifische Daten anfordern, als vorhandene Daten zwangsweise nutzen.	PIDD 1999
91	Es muss berücksichtigt werden, dass die verfügbaren Daten nur ein Ausschnitt von einem gesamten Datensatz sind.	PIDD 1999
92	Die genutzten Daten sollen immer mit einem Datum versehen werden.	PIDD 1999
93	Wenn die Gruppengröße zunimmt, dann nimmt die Produktivität eher ab und die Konflikte steigen.	RENGER et al. 2008
94	Gruppendiskussionen sind das Kernelement von gemeinsamer Modellierung.	RENGER et al. 2008
95	Die Kultur und die Herkunft der Teilnehmer beeinflusst die Arbeit in Gruppen.	RENGER et al. 2008
96	Der Arbeitshintergrund und die Ausbildung der Teilnehmer beeinflusst die Arbeit in Gruppen.	RENGER et al. 2008
97	Die Hintergründe und die Absichten für die Teilnahme an Treffen beeinflussen die Arbeit in Gruppen.	RENGER et al. 2008
98	Die Modellierungserfahrung (z.B. bereits erstellte Modelle und Training) beeinflusst die Arbeit in Gruppen zur Erstellung von Modellen.	RENGER et al. 2008
99	Das angestrebte Ziel der Modellierung beeinflusst die Gestaltung der Arbeit mit Modellen.	RENGER et al. 2008

100	Der Kontext und die Domäne beeinflussen die Gestaltung der Arbeit mit Modellen.	RENGER et al. 2008
101	Der zeitliche Aufwand für Gruppenabstimmungen muss bei der Modellierung berücksichtigt werden.	RENGER et al. 2008
102	Die Modellart (formale Grammatik und Modellierungssprache) beeinflusst die Arbeit mit Modellen.	RENGER et al. 2008
103	Die Verteilung von Aufgaben unter den involvierten Personen beeinflusst die Arbeit mit Modellen.	RENGER et al. 2008
104	Die Struktur der Abläufe und die Tätigkeiten der involvierten Personen beeinflussen die Arbeit mit Modellen.	RENGER et al. 2008
105	Die Effektivität der Arbeit mit Modellen wird durch die Qualität bzw. Validität des Modells im Vergleich zur beabsichtigten Qualität bestimmt.	RENGER et al. 2008
106	Die Effizienz der Arbeit mit Modellen wird durch die real benötigten Ressourcen im Vergleich zu den beabsichtigten Ressourcen bestimmt.	RENGER et al. 2008
107	Die Zufriedenheit der involvierten Personen wird durch die positive Haltung gegenüber Vorgehen und Resultaten bestimmt.	RENGER et al. 2008
108	Der Konsens zwischen den involvierten Personen wird durch die Bereitschaft der Befürwortung eines Vorschlags bestimmt.	RENGER et al. 2008
109	Das gemeinsame Verständnis soll durch die möglichst große Überlappung des Wissens der involvierten Personen über das Original erreicht werden.	RENGER et al. 2008
110	Die Modellkomplexität wird durch die Anzahl von Konzepten und Relationen des Modells bestimmt.	RENGER et al. 2008
111	Um kollaborative Modellierung mit mehreren involvierten Personen sinnvoll durchzuführen, sind eine Unterstützung der Gruppenprozesse und das Verständnis der genutzten Modelltypen erforderlich.	RENGER et al. 2008
112	Bei einer Modellierung mit mehreren Personen sollen fünf essentielle Rollen vertreten sein: der Facilitator, der Modellierer, der Prozess-Coach, der Aufzeichner und der Gatekeeper.	RENGER et al. 2008
113	Eine Trennung der Rollen zwischen Modellierer und Facilitator erspart Zeit und erhöht die Modellqualität.	RENGER et al. 2008
114	Einer der stärksten Gründe für das Scheitern von Modellierungsprojekten ist die Einbindung der falschen Personen zum falschen Zeitpunkt.	RENGER et al. 2008
115	Die Motivation der Teilnehmer soll über den gesamten Prozess hoch gehalten werden.	RENGER et al. 2008
116	Bei der Modellierung soll parallel vorgegangen werden, um verschiedenen Teilnehmern die Möglichkeit zu geben, sich an den Aktivitäten zu beteiligen.	RENGER et al. 2008
117	Bei Beginn soll mit einem möglichst einfachen Modell begonnen werden, das die Essenz des betrachteten Systems abbildet.	SANCHEZ 2007
118	Wenn ein funktionsfähiges Basis-Modell existiert, können Features hinzugefügt und schrittweise verbessert werden. Allerdings soll dies in kleinen Schritten erfolgen.	SANCHEZ 2007
119	Nach jeder Modellüberarbeitung soll überprüft werden, ob das Modell noch dem Zweck entspricht und keine Fehler auftreten.	SANCHEZ 2007
120	Wenn Ergänzungen des Modells keinen Mehrwert bringen, dann sollen sie entfernt werden, um die Komplexität nicht unnötig zu erhöhen.	SANCHEZ 2007
121	Um die Nützlichkeit eines Modells zu gewährleisten, muss es die erforderlichen Ziele erfüllen.	SMITH & MORROW 1999
122	Vorhandene Informationen sollen sinnvoll eingesetzt werden.	SMITH & MORROW 1999

123	Die Annahmen und die Vereinfachungen des Modells müssen sinnvoll sein, damit es seinen Zweck erfüllen kann.	SMITH & MORROW 1999
124	Ein Modell muss nachvollziehbar gestaltet sein, damit es seinen Zweck erfüllen kann.	SMITH & MORROW 1999
125	Ein Modell wird scheitern, wenn für seine Anwendung Informationen benötigt werden, die noch nicht zur Verfügung stehen.	SMITH & MORROW 1999
126	Ein Modell wird scheitern, wenn die Annahmen und Vereinfachungen für seine Erstellung nicht der Praxis entsprechen.	SMITH & MORROW 1999
127	Die Anwendbarkeit eines Modells ist beschränkt durch die Fähigkeit des Erkennens von Abweichungen vom idealen Verhalten des Systems.	WYNN et al. 2010
128	Die Anwendbarkeit eines Modells ist beschränkt durch das erzielbare Wissen über das System.	WYNN et al. 2010
129	Um ein Modellierungsprojekt erfolgreich durchzuführen, müssen die daraus abgeleiteten Handlungsanweisungen auch umsetzbar sein.	WYNN et al. 2010
130	Der Mehrwert der Modellierung muss nicht unmittelbar sofort auftreten, sondern kann etwas Zeit in Anspruch nehmen.	WYNN et al. 2010
131	Die Ziele der Modellierung müssen mit Abteilungs- und Unternehmenszielen übereinstimmen.	WYNN et al. 2010
132	Es muss berücksichtigt werden, wie der gewählte Modellierungsansatz die involvierten Personen beeinflusst.	WYNN et al. 2010
133	Die Wahl der Faktoren und Parameter des Modells müssen entsprechend den Zielen der Modellierung mit Bedacht gewählt werden.	WYNN et al. 2010
134	Die Anwendbarkeit des Modells wird bestimmt durch die Verzögerung zwischen gewonnenen Erkenntnissen und der Möglichkeit ihrer Umsetzbarkeit in der Praxis.	WYNN et al. 2010

## 10.9 Zuordnung der Regeln zu Teilschritten und Konzepten

Die Zuordnungen von Regeln zu Teilschritten und Konzepten sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die Nummern der Regeln und Hinweise entsprechen denen aus der Tabelle im vorigen Kapitel. Die Teilschritte sind entsprechend Tabelle 16 nummeriert und die Nummerierung der Merkmale der Konzepte erfolgt entsprechend der Abkürzungen in Tabelle 13 und Tabelle 14.



		Regeln und Hinweise (R)																															
		R31	R32	R33	R34	R35	R36	R37	R38	R39	R40	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48	R49	R50	R51	R52	R53	R54	R55	R56	R57	R58	R59	R60		
Teilschritte (T)	T1																																
	T2																																
	T3																																
	T4																																
	T5																																
	T6																																
	T7																																
	T8																																
	T9																																
	T10																																
	T11																																
	T12																																
	T13																																
	T14																																
	T15																																
	T16																																
	T17																																
	T18																																
	T19																																
	T20																																
	T21																																
	T22																																
	T23																																
Merkmale der Konzepte (MK)	MK 1.1																																
	MK 1.2																																
	MK 1.3																																
	MK 2.1																																
	MK 2.2																																
	MK 2.3																																
	MK 2.4																																
	MK 2.5																																
	MK 2.6																																
	MK 3.1																																
	MK 4.1																																
	MK 4.2																																
	MK 4.3																																
	MK 5.1																																
	MK 5.2																																
	MK 5.3																																
	MK 5.4																																
	MK 5.5																																
	MK 5.6																																
	MK 6.1																																
	MK 6.2																																
	MK 6.3																																
	MK 6.4																																
MK 7.1																																	
MK 7.2																																	
MK 8.1																																	
MK 8.2																																	
MK 9.1																																	

Bild 10-31: Zuordnung der Regeln zu Teilschritten und Merkmalen der Konzepte (Teil 2 von 5)

		Regeln und Hinweise (R)																															
		R61	R62	R63	R64	R65	R66	R67	R68	R69	R70	R71	R72	R73	R74	R75	R76	R77	R78	R79	R80	R81	R82	R83	R84	R85	R86	R87	R88	R89	R90		
Teilschritte (T)	T1																																
	T2																																
	T3		x																														
	T4			x	x	x	x	x																									
	T5			x																													
	T6																																
	T7																																
	T8																																
	T9																																
	T10																																
	T11																																
	T12																																
	T13																																
	T14																																
	T15																																
	T16																																
	T17																																
	T18																																
	T19																																
	T20																																
	T21																																
	T22																																
	T23																																
Merkmale der Konzepte (MK)	MK 1.1																																
	MK 1.2																																
	MK 1.3																																
	MK 2.1																																
	MK 2.2																																
	MK 2.3																																
	MK 2.4																																
	MK 2.5																																
	MK 2.6																																
	MK 3.1																																
	MK 4.1																																
	MK 4.2																																
	MK 4.3																																
	MK 5.1																																
	MK 5.2																																
	MK 5.3																																
	MK 5.4																																
	MK 5.5																																
	MK 5.6																																
	MK 6.1																																
	MK 6.2																																
	MK 6.3																																
	MK 6.4																																
MK 7.1																																	
MK 7.2																																	
MK 8.1																																	
MK 8.2																																	
MK 9.1																																	

Bild 10-32: Zuordnung der Regeln zu Teilschritten und Merkmalen der Konzepte (Teil 3 von 5)



		Regeln und Hinweise (R)															
		R120	R121	R122	R123	R124	R125	R126	R127	R128	R129	R130	R131	R132	R133	R134	
Teilschritte (T)	T1		x														
	T2													x			
	T3													x			
	T4	x															
	T5		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	T6		x														
	T7	x															
	T8																
	T9																
	T10						x	x	x	x	x	x	x	x			
	T11																
	T12																
	T13																
	T14																
	T15																
	T16																
	T17																
	T18																
	T19																
	T20																
	T21																
	T22																
	T23																
Merkmale der Konzepte (MK)	MK 1.1	x														x	
	MK 1.2																
	MK 1.3																
	MK 2.1																
	MK 2.2	x															
	MK 2.3		x														
	MK 2.4																
	MK 2.5	x															
	MK 2.6																
	MK 3.1																
	MK 4.1																
	MK 4.2																
	MK 4.3																
	MK 5.1																
	MK 5.2																
	MK 5.3																
	MK 5.4																
MK 5.5																	
MK 5.6																	
MK 6.1																	
MK 6.2																	
MK 6.3																	
MK 6.4																	
MK 7.1																	
MK 7.2																	
MK 8.1																	
MK 8.2																	
MK 9.1		x															

Bild 10-34: Zuordnung der Regeln zu Teilschritten und Merkmalen der Konzepte (Teil 5 von 5)

## 10.10 Fragen-Checkliste zur Spezifizierung des Wissensbedarfs

Die folgende Tabelle zeigt die Fragen-Checkliste zur Spezifizierung des Wissensbedarfs. Anhand der Fragen kann schrittweise der Wissensbedarf zu den einzelnen Konzepten der Arbeit mit Produktmodellen ermittelt werden.

Tabelle 22: Fragen-Checkliste zur Wissensbedarfsanalyse

<b>Wissensbedarfsanalyse für die Arbeit mit Produktmodellen</b>	
Dieses Dokument dient als Checkliste für die Bedarfsanalyse des Wissens bei der Arbeit mit Produktmodellen. Anhand der Beantwortung der Fragen kann der Wissensbedarf identifiziert werden.	
<b>Allgemeine Angaben</b>	
Durchführende Person(en) (Name)	
Befragte Person(en) (Name)	
Beginn der Bedarfsanalyse (Datum)	
Fertigstellung der Bedarfsanalyse (Datum)	
Frage zur Beurteilung des Wissensbedarfs bezüglich Betrachtungsgegenstand	
<b>1) Übergreifend</b>	
Ist Wissen über die Bedeutung der einzelnen Konzepte bzw. Relationen der Ontologie erforderlich? z.B.: Ist Wissen darüber erforderlich, was ein Modell bzw. ein Produktmodell ist?	
Ist Wissen darüber erforderlich, was ein Modelltyp ist?	
Ist Wissen darüber erforderlich, was eine Tätigkeit ist?	
...	
<b>2) Modell</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Bestandteile in einem Produktmodell sind?	
Ist Wissen darüber erforderlich, was bei der Durchführung der Aufgabe jeweils dokumentiert werden soll?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit den direkten Eigenschaften eines Modells (Anzahl Konzepte, mögliche Fehler, Modellgröße, etc.) umgegangen wird?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit den indirekten Eigenschaften eines Modells (Anwendbarkeit, Glaubwürdigkeit, Modellqualität, etc.) umgegangen wird?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie der Modellzweck gestaltet wird?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie die technische Umsetzung aussehen soll?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie detailliert der Umfang der Abbildung sein muss?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie die weitere Verwendung des Modells berücksichtigt werden muss?	
<b>3) Original</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit dem betrachteten Original umgegangen wird?	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Eigenschaften des Originals sich wie auf den Modellierungsprozess auswirken?	

<b>4) Zielerwartung</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie die Ziele bzw. die Absichten der geplanten Tätigkeit beschrieben werden?	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche sonstigen Einflüsse auf die Zielerwartung wirken und berücksichtigt werden müssen?	
<b>5) Produktmodelltyp</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Produktmodelltypen vorhanden sind?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie sich diese Produktmodelltypen unterscheiden?	
Ist Wissen über die Anwendbarkeit eines Produktmodelltyps für ein bestimmtes Problem erforderlich?	
Ist Wissen über die jeweilige Modellierungssprache des Produktmodelltyps erforderlich?	
Ist Wissen über die Verständlichkeit des Produktmodelltyps erforderlich?	
<b>6) Tätigkeiten</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Tätigkeiten bei der Arbeit mit Modellen existieren?	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Tätigkeiten bei der Arbeit mit Modellen für diese Aufgabe direkt bzw. indirekt relevant sind?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie die Tätigkeiten gestaltet werden müssen?	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Teilschritte in den jeweiligen Tätigkeiten ausgeführt werden?	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Aspekte bei der Durchführung der einzelnen Teilschritte berücksichtigt werden müssen?	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Methoden und Werkzeuge wann eingesetzt werden müssen?	
<b>7) Regeln bzw. Hinweise</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, welche Regeln bzw. Hinweise für die Gestaltung der einzelnen Betrachtungsgegenstände bzw. Teilschritte existieren?	
Ist Wissen darüber erforderlich bzw. werden Regeln bzw. Hinweise für die Gestaltung der Arbeit mit Produktmodellen benötigt?	
<b>8) Situation: Involvierte Personen</b>	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie sich die Eigenschaften der an der Aufgabe beteiligten Personen auf die Tätigkeiten auswirken?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit den spezifischen Eigenheiten der involvierten Personen umgegangen werden muss?	
Ist Wissen über die Arbeitsgestaltung der involvierten Personen erforderlich?	
Ist Wissen über das Einbringen eigener Meinungen erforderlich?	
Ist Wissen über die Berücksichtigung des persönlichen Hintergrunds der involvierten Personen erforderlich?	
Ist Wissen über den Unternehmenskontext, in dem sich die involvierten Personen bewegen, erforderlich?	
Ist Wissen über die Gewährleistung und Erzielung einer hohen Teamfähigkeit und Arbeitseifer erforderlich?	
Ist Wissen über die Einbringung von Wissen über das Original erforderlich?	

9) Situation: Gruppenaspekte	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie die Arbeit mit Modellen unter Berücksichtigung mehrerer beteiligter Personen gestaltet werden muss?	
Ist Wissen über die Einbeziehung der Teilnehmer erforderlich?	
Ist Wissen über die Gestaltung der Aufgaben der Teilnehmer erforderlich?	
Ist Wissen über die auftretenden gruppenspezifischen Effekte erforderlich?	
10) Situation: Rahmenbedingungen	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie auf die bestehenden Rahmenbedingungen reagiert werden soll und wie sich die Tätigkeiten auswirken?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit den vorhandenen Ressourcen (Räumlichkeiten, Werkzeuge, etc.) umgegangen werden muss?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie der Projektkontext berücksichtigt wird?	
11) Situation: Daten- / Informationslage	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie mit benötigten, vorhandenen und generierten Daten bzw. Informationen umgegangen werden soll?	
Ist Wissen darüber erforderlich, wie sich die Eigenschaften von Daten/Informationen auf den Modellierungsprozess auswirken?	
Ist Wissen über die Art der Informationserfassung erforderlich?	

# 11. Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung  
Technische Universität München,  
Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

Dissertationen betreut von

- Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker
- Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel
- Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:  
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode. München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:  
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.  
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:  
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.  
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:  
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.  
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:  
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.  
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:  
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.  
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:  
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.  
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:  
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.  
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:  
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.  
München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:  
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1978.
- D11 HEISIG, R.:  
Längencodierer mit Hilfsbewegung.  
München: TU, Diss. 1979.

- D12 KIEWERT, A.:  
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:  
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.  
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60).  
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:  
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.  
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:  
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.  
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:  
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.  
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:  
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:  
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.  
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:  
Kostenanalyse von Stirnzahnradern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.  
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:  
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.  
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985. Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:  
Konstruieren als gedanklicher Prozess.  
München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMAN, H. J.:  
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.  
München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:  
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gussgehäusen.  
München: TU, Diss. 1987.
- D24 JOHN, T.:  
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.  
München: TU, Diss. 1987.
- D25 FIGEL, K.:  
Optimieren beim Konstruieren.  
München: Hanser 1988. Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

## Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:  
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems.  
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1). Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d.  
T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.
- D27 PICKEL, H.:  
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.  
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2). Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITTSTEINER, H.-J.:  
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.  
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3). Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:  
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluss an ein CAD-  
System.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:  
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.  
Datenbankgestützte Teilverwaltung und Wiederholteilsuche.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:  
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D33 SCHAAL, S.:  
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.  
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D34 BRAUNSPERGER, M.:  
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die  
Automobilindustrie.  
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:  
Systematischer Entwicklungsprozess am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:  
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D37 WACH, J. J.:  
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D38 LENK, E.:  
Zur Problematik der technischen Bewertung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:  
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

- D40 SCHIEBELER, R.:  
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D41 BRUCKNER, J.:  
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:  
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D43 SCHLÜTER, A.:  
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:  
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D45 STOLZ, P.:  
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:  
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:  
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:  
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.  
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D49 DANNER, S.:  
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:  
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25). Zugl. München: TU, Diss. 1996 u. d. T.: MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem
- D51 AMBROSY, S.:  
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D52 GIAPOULIS, A.:  
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D53 STEINMEIER, E.:  
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D54 KLEEDÖRFER, R.:  
Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29). Zugl. München: TU, Diss. 1998.

- D55 GÜNTHER, J.:  
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIERSACK, H.:  
Methode für Krafteinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.  
München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:  
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:  
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖSSER, R.:  
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:  
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:  
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:  
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

### Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:  
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D64 ASSMANN, G.:  
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:  
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D66 DEMERS, M. T.:  
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D67 STETTER, R.:  
Method Implementation in Integrated Product Development.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D68 VIERTLBÖCK, M.:  
Modell der Methoden- und Hilfsmittelleinführung im Bereich der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

- D69 COLLIN, H.:  
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:  
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:  
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:  
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:  
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:  
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D75 SCHWANKL, L.:  
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:  
Elementarmethoden zur Lösungssuche.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:  
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D78 GERST, M.:  
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 52). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D79 AMFT, M.:  
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.  
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung München, Band 53). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D80 FÖRSTER, M.:  
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.  
München: TU, Diss. 2003.
- D81 GRAMANN, J.:  
Problemmodelle und Bionik als Methode.  
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 55). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D82 PULM, U.:  
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D83 HUTTERER, P.:  
Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 57). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D84 FUCHS, D.:  
Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 58). Zugl. München: TU, Diss. 2005.

- D85 PACHE, M.:  
Sketching for Conceptual Design.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 59). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D86 BRAUN, T.:  
Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D87 JUNG, C.:  
Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 61). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D88 HEBLING, T.:  
Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 62). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D89 STRICKER, H.:  
Bionik in der Produktentwicklung unter der Berücksichtigung menschlichen Verhaltens.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 63). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D90 NIBL, A.:  
Modell zur Integration der Zielkostenverfolgung in den Produktentwicklungsprozess.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 64). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D91 MÜLLER, F.:  
Intuitive digitale Geometriemodellierung in frühen Entwicklungsphasen.  
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 65). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D92 ERDELL, E.:  
Methodenanwendung in der Hochbauplanung – Ergebnisse einer Schwachstellenanalyse.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 66). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D93 GAHR, A.:  
Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D94 RENNER, I.:  
Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D95 PONN, J.:  
Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D96 HERFELD, U.:  
Matrix-basierte Verknüpfung von Komponenten und Funktionen zur Integration von Konstruktion und numerischer Simulation.  
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 70). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D97 SCHNEIDER, S.:  
Model for the evaluation of engineering design methods.  
München: Dr. Hut 2008 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D98 FELGEN, L.:  
Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D99 GRIEB, J.:  
Auswahl von Werkzeugen und Methoden für verteilte Produktentwicklungsprozesse.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.

- D100 MAURER, M.:  
Structural Awareness in Complex Product Design.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D101 BAUMBERGER, C.:  
Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D102 KEIJZER, W.:  
Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken – ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D103 LORENZ, M.:  
Handling of Strategic Uncertainties in Integrated Product Development.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2008.
- D104 KREIMEYER, M.:  
Structural Measurement System for Engineering Design Processes.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D105 DIEHL, H.:  
Systemorientierte Visualisierung disziplinübergreifender Entwicklungsabhängigkeiten mechatronischer Automobilsysteme.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D106 DICK, B.:  
Untersuchung und Modell zur Beschreibung des Einsatzes bildlicher Produktmodelle durch Entwicklerteams in der Lösungssuche.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D107 GAAG, A.:  
Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D108 ZIRKLER, S.:  
Transdisziplinäres Zielkostenmanagement komplexer mechatronischer Produkte.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D109 LAUER, W.:  
Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D110 MEIWALD, T.:  
Konzepte zum Schutz vor Produktpiraterie und unerwünschtem Know-how-Abfluss.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D111 ROELOFSEN, J.:  
Situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D112 PETERMANN, M.:  
Schutz von Technologiewissen in der Investitionsgüterindustrie.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D113 GORBEA, C.:  
Vehicle Architecture and Lifecycle Cost Analysis in a New Age of Architectural Competition.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D114 FILOUS, M.:  
Lizenzierungsgerechte Produktentwicklung – Ein Leitfaden zur Integration lizenzierungsrelevanter Aktivitäten in Produktentstehungsprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.

- D115 ANTON, T.:  
Entwicklungs- und Einführungsmethodik für das Projektierungswerkzeug Pneumatiksimulation.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D116 KESPER, H.:  
Gestaltung von Produktvariantenspektren mittels matrixbasierter Methoden.  
München: Dr. Hut 2012 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2012.
- D117 KIRSCHNER, R.:  
Methodische Offene Produktentwicklung.  
München: TU, Diss. 2012.
- D118 HEPERLE, C.:  
Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel.  
München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2013.
- D119 HELLENBRAND, D.:  
Transdisziplinäre Planung und Synchronisation mechatronischer Produktentwicklungsprozesse.  
München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2013.
- D120 EBERL, T.:  
Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens der Längsführung von Elektrofahrzeugen.  
München: TU, Diss. 2014.
- D121 KAIN, A.:  
Methodik zur Umsetzung der Offenen Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D122 ILIE, D.:  
Systematisiertes Ziele- und Anforderungsmanagement in der Fahrzeugentwicklung.  
München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2013.
- D123 HELTEN, K.:  
Einführung von Lean Development in mittelständische Unternehmen - Beschreibung, Erklärungsansatz  
und Handlungsempfehlungen.  
TU München: 2013. (als Dissertation eingereicht)
- D124 SCHRÖER, B.:  
Lösungskomponente Mensch. Nutzerseitige Handlungsmöglichkeiten als Bausteine für die kreative  
Entwicklung von Interaktionslösungen.  
TU München: 2013. (als Dissertation eingereicht)
- D125 KORTLER, S.:  
Absicherung von Eigenschaften komplexer und variantenreicher Produkte in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D126 KOHN, A.:  
Entwicklung einer Wissensbasis für die Arbeit mit Produktmodellen.  
München: TU, Diss. 2014.
- D127 FRANKE, S.:  
Strategieorientierte Vorentwicklung komplexer Produkte – Prozesse und Methoden zur zielgerichteten  
Komponentenentwicklung am Beispiel Pkw.  
Göttingen: Cuvillier, E 2014. Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D128 HOOSHMAND, A.:  
Solving Engineering Design Problems through a Combination of Generative Grammars and Simulations.  
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D129 KISSEL, M.:  
Mustererkennung in komplexen Produktportfolios.  
TU München: 2014. (als Dissertation eingereicht)

- D130 NIES, B.:  
Nutzungsgerechte Dimensionierung des elektrischen Antriebssystems für Plug-In Hybride.  
München: TU, Diss. 2014.
- D131 KIRNER, K.:  
Zusammenhang zwischen Leistung in der Produktentwicklung und Variantenmanagement –  
Einflussmodell und Analyseverfahren.  
TU München: 2014. (als Dissertation eingereicht)
- D132 BIEDERMANN, W.:  
A minimal set of network metrics for analysing mechatronic product concepts.  
TU München: 2014. (als Dissertation eingereicht)
- D133 SCHENKL, S.:  
Wissensorientierte Entwicklung von Produkt-Service-Systemen.  
TU München: 2014. (als Dissertation eingereicht)