

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Produktentwicklung

Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule in komplexen Systemarchitekturen und -portfolios

—

Methodik zur Einnahme einer konsequent
modulzentrierten Perspektive

Arne Philipp Herberg

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

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk
Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Prof. Dr.-Ing. Christian Weber

Die Dissertation wurde am 29.03.2016 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 27.03.2017 angenommen

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Problemstellung

Als Ideal nahezu sämtlicher klassischer Ansätze der Produkt- und Systementwicklung gilt das Vorgehen nach dem Top-Down-Prinzip. Diesen Ansätzen gemein sind die (zumeist implizit) zugrunde gelegten Prämissen, dass sich sowohl das Gestaltungsinteresse als auch die Möglichkeiten der Gestaltung stets auf das Gesamtsystem beziehen. Beides ist jedoch nur bedingt kompatibel mit der Realität zahlreicher etablierter Industrien, in denen Systemarchitekturen das Ergebnis jahrzehntelanger Evolution sind. Für solche Unternehmen resultiert aus der fehlenden Möglichkeit essenzieller Änderungen auf Gesamtsystemebene, dass Modulentwicklungen ihren primären, real verfügbaren Innovationskanal darstellen. Ein hohes Verständnis bezüglich des Eigenschaftsbeitrags eines zu entwickelnden Moduls innerhalb variierender übergeordneter Systeme stellt einen zentralen Wettbewerbsfaktor dar – insbesondere im Zusammenhang mit Modulen, die an der Erfüllung unterschiedlicher Hauptfunktionen beteiligt sind, sogenannten multifunktionalen Kernmodulen. Bislang stellt jedoch keine systemtechnisch fundierte Entwicklungsmethodik eine solche explizit modulzentrierte Perspektive zur Verfügung.

Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Werkzeuges, das Unternehmen die Einnahme einer konsequent modulzentrierten Perspektive ermöglicht. Aus der Fokussierung auf die Transparenzschaffung bezüglich Eigenschaftsentstehung und -wahrnehmung im Gesamtsystem gilt der Qualitätsorientierung ein besonderes Augenmerk im Rahmen der vorbehaltlosen Auseinandersetzung mit den systemtechnischen Spezifika einer modulzentrierten Perspektive und deren besonderen Rahmenbedingungen. Eine weitere Schwerpunktlegung erfolgt auf die Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule, da die dort vorhandene Komplexität einen besonders hohen Bedarf an Transparenz zur Folge hat, sowie die Beherrschung derselben einen essenziellen Stellenwert bezüglich der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen hat.

Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit liefert einen Ansatz zur Unterstützung der qualitätsorientierten Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule. Für das modulzentrierte QFD (kurz: „M-QFD“) werden die systemtechnischen Besonderheiten der modulzentrierten Perspektive auf die Grundmechanismen des Quality Function Deployment (QFD) übertragen, dessen Eignung als prinzipiell tragfähiges Methodenfeld für eine solche Perspektive nachgewiesen wird. Das zentrale, strukturgebende Hilfsmittel des M-QFD ist das modulzentrierte House of Quality, das eine Projektion der Eigenschaften des zu entwickelnden Moduls in das Eigenschaftsgefüge verschiedener übergeordneter Gesamtsysteme ermöglicht. Es weist

außerdem eine syntheseorientierte Syntax auf, um bestehende Konzepte und Lösungen als Ausgangsbasis zur Variation abbilden zu können. Die gezielte Akquisition, Vernetzung und Verarbeitung der Informationen erfolgt über das M-QFD-Vorgehen. Eine flexible, projekt- und projektphasenabhängige Schwerpunktsetzung wird anhand eines Katalogs beispielhafter Szenarios und Gesichtspunkte unterstützt.

Folgerungen für die industrielle Praxis

Industrieunternehmen, deren primärer Innovationskanal Modulentwicklungen darstellen, werden durch die Ergebnisse dieser Arbeit auf mehreren Ebenen unterstützt. Erstens leistet die in Abgrenzung zur klassischen Top-Down-Sichtweise charakterisierte modulzentrierte Perspektive einen Beitrag zur Überwindung der Diskrepanz zwischen idealisierter Systemtechnik und der industriellen Realität dieser Unternehmen, die dadurch bei der Orientierung und dem bewussten Ableiten von Handlungsmöglichkeiten unterstützt werden (Differenzierung zwischen Gestaltungs- und Wirkungsbereich von Entscheidungen). Zweitens wird mit dem M-QFD, dessen Kernkonzepte klar aus diesem Verständnisaufbau hergeleitet werden, ein konkretes Instrument geliefert, das die Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule sowohl auf der operativen, als auch auf der Entscheidungsebene unterstützt.

Folgerungen für Forschung und Wissenschaft

Die Arbeit liefert einen wichtigen Beitrag zum Forschungsfeld der Systemtechnik. Durch das Aufzeigen des Mangels einer modulzentrierten Perspektive sowie deren detaillierte Charakterisierung ergänzt sie die bestehende Literatur, die sich größtenteils auf das Top-Down-Ideal der Systementwicklung beschränkt. Im Themenfeld QFD wird durch die konsequente Umsetzung der modulzentrierten Perspektive in einer Methodik, die auf die Grundmechanismen des QFD aufbaut, eine essenzielle Lücke geschlossen. Bezogen auf das Forschungsfeld Produktarchitektur stellen die Charakterisierung multifunktionaler Kernmodule sowie der Umgang mit gegebener Modularität (im Kontrast zur in der Wissenschaft wesentlich präzisieren Gestaltung von Modularität) wichtige Beiträge dar.

München, Oktober 2017

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
TUM Emeritus of Excellence
Technische Universität München

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München von Juni 2009 bis August 2014. Meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann, TUM Emeritus of Excellence – zu dieser Zeit Ordinarius des Lehrstuhls – möchte ich im Besonderen für das in mich gesetzte Vertrauen, die gewährten Freiräume sowie die Förderung meiner Arbeit danken.

Darüber hinaus gilt mein Dank Prof. Dr.-Ing. Christian Weber, Leiter des Fachgebiets Konstruktionstechnik der Technischen Universität Ilmenau, für die Übernahme der Zweitberichterstattung meiner Arbeit. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes danke ich Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk, Ordinarius des Lehrstuhls für Umformtechnik und Gießereiwesen der Technischen Universität München.

Zutiefst dankbar bin ich für die bleibenden Freundschaften, die aus der Zeit am Lehrstuhl hervorgingen, sowie für die offene Feedbackkultur, die zum ständigen kritischen Hinterfragen motivierte und ein idealer Nährboden zum Kennenlernen und zur Weiterentwicklung meiner Fähigkeiten war. Besonderen Anteil daran hatten meine engen Weggefährten Bergen und Ina Helms, Bernd Schröer, Clemens Hepperle und Stefan Langer, denen ich hierfür stellvertretend danke. Meine Bürogemeinschaften mit Rafael Kirschner, Helena Hashemi Farzaneh und Torsten Metzler waren jede auf ihre Weise wunderbar – letztere insbesondere als Selbsthilfegruppe zunächst werdender, dann frischgebackener Väter.

Ohne die Initiative und das unermüdliche Engagement von David Allaverdi hätte es die dieser Arbeit zugrundeliegende deutsch-norwegische Forschungskooperation nicht gegeben. Unvergesslich bleibt die Begegnung mit der industriellen Realität in Singapurer Werften als krasser Kontrast zur Modellwelt der Theorie. Auch den zahlreichen Workshop- und Interviewpartnern des norwegischen Kooperationspartners sowie seiner Auftraggeber und -nehmer möchte ich für die wertvollen Einblicke und Einschätzungen danken.

Meinen Eltern Hildegard und Günter Herberg danke ich von Herzen dafür, dass sie mich seit meiner Kindheit bedingungslos unterstützten und mir die Realisierung meiner Entscheidungen ermöglichten. Auch meine Schwester Kristina hat mir auf diesem Weg stets Rückhalt gegeben. Ganz ausgeschlossen wäre die Fertigstellung dieser Arbeit ohne die Unterstützung meiner Frau Annika gewesen, der mein allertiefster Dank gilt. Dafür, dass sie mich stets entlastet und unfassbare Mengen an Geduld aufgebracht hat, aber vor allem für die Liebe und Energie, mit der sie mich versorgt hat. Meiner Tochter Aino möchte ich von Herzen dafür danken, dass sie mir in den entscheidenden Momenten gezeigt hat, was wirklich wichtig ist im Leben, und mir auf der Zielgeraden zu dringend erforderlichem, wenn auch wohldosiertem Pragmatismus verholfen hat.

München, Oktober 2017

Arne Philipp Herberg

VORVERÖFFENTLICHUNGEN (CHRONOLOGISCH)

- Herberg, A.; Lindemann, U.: Supporting system architecture assessment by two-level functional modeling – Process oriented analysis and comparison of large-scale systems. In: 2012 IEEE International System Conference (SysCon 2012), Tagungsband. Vancouver [Kanada], 19.-22.03.2012. IEEE. Piscataway [New Jersey, USA]: IEEE Service Center 2012. ISBN: 978-1-4673-0749-9, S. 296–303
- Allaverdi, D.; Herberg, A.; Lindemann, U.: Lifecycle perspective on uncertainty and value robustness in the offshore drilling industry. In: 2013 IEEE International System Conference (SysCon 2013), Tagungsband. Orlando [Florida, USA], 15.-18.04.2013. IEEE. Piscataway [New Jersey, USA]: IEEE Service Center 2013. ISBN: 9781467331074.
- Herberg, A.; Lindemann, U.: A different view on system decomposition – Subsystem-centered property evaluation in multiple supersystems. In: M. Aiguier, F. Boulanger, D. Krob und C. Marchal (Hrsg.): Complex Systems Design & Management (CSD&M) 2013, CEUR-Workshop proceedings. Paris [Frankreich], 04.-06.12.2013. Aachen: CEUR-WS 2013, S. 153–165.
- Allaverdi, D.; Herberg, A.; Lindemann, U.: Identification of Flexible Design Opportunities (FDO) in Offshore Drilling Systems by Market Segmentation. In: D. Marjanović, M. Štorga, N. Pavković und N. Bojčetić (Hrsg.): Proceedings of the DESIGN 2014 13th International Design Conference. Dubrovnik [Kroatien], 19.-22.05.2014. Somerset [Schottland]: Design Society 2014, S. 1451–1462.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Ausgangssituation und Eingrenzung des Zielbereichs | 1 |
| 1.2 Zielsetzung und Abgrenzung des Themengebiets | 3 |
| 1.3 Wissenschaftlicher Hintergrund und Vorgehen | 9 |
| 1.4 Aufbau der Arbeit | 12 |
| 2. Charakterisierung und Eingrenzung des Zielbereichs der Arbeit | 15 |
| 2.1 Grundlagen des Anlagenbaus | 15 |
| 2.2 Weitere Eingrenzung am Beispiel der Offshore-Bohrindustrie und ihrer Systeme | 20 |
| 2.2.1 Multifunktionale Kernmodule als Charakteristikum des Anwendungsbereichs | 20 |
| 2.2.2 Ebenenabhängiger Systembezug in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken | 26 |
| 2.3 Teilfazit | 31 |
| 3. Die Rolle des Moduls in der Systemtechnik | 33 |
| 3.1 Systemtechnische Grundlagen | 33 |
| 3.1.1 Systembegriff | 33 |
| 3.1.2 Systemdenken | 34 |
| 3.1.3 Systemarten der Systemtechnik | 35 |
| 3.1.4 Teilfazit | 36 |
| 3.2 Das Modul als zentrales Architekturkonzept | 37 |
| 3.2.1 Die Architektur von Systemen und Produkten | 37 |
| 3.2.2 Modularität und Integralität | 38 |
| 3.2.3 Modulbildung und ihre Ziele | 41 |
| 3.2.4 Teilfazit und weitere Begriffsschärfung | 45 |
| 3.3 Eigenschaften von Systemen und Modulen | 47 |
| 3.3.1 Beschreibungsbezogene Eigenschaftssystematiken | 47 |
| 3.3.2 Festlegungsbezogene Eigenschaftsdifferenzierung | 48 |
| 3.3.3 Architekturbezug von Eigenschaften | 51 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.3.4 | Weitere Perspektiven der Eigenschaftsklassifikation | 53 |
| 3.3.5 | Teilfazit | 54 |
| 3.4 | Module im Innovationskontext | 55 |
| 3.4.1 | Innovationsbegriff und -dimensionen | 55 |
| 3.4.2 | Architekturbezug von Innovationen | 57 |
| 3.4.3 | Teilfazit | 60 |
| 3.5 | Dekomposition als elementares Vorgehensprinzip der Entwicklungsmethodik | 61 |
| 3.5.1 | Denkrichtungen und Vorgehensmodelle im Systems Engineering | 61 |
| 3.5.2 | Systematische Produktentwicklung / Konstruktionsmethodik | 65 |
| 3.5.3 | Bewertungen und Entscheidungen in methodischen Entwicklungsvorgehen | 75 |
| 3.5.4 | Teilfazit | 78 |
| 4. | Qualitätsorientierung in Planung und Entwicklung | 81 |
| 4.1 | Das Konzept der Qualität und ihre Bedeutung | 81 |
| 4.2 | Qualitätsmanagement im Produktentstehungsprozess | 85 |
| 4.2.1 | Bezug des QM zu den frühen Phasen der Produktentwicklung | 85 |
| 4.2.2 | Ebenen der Unterstützungsansätze des Qualitätsmanagements | 86 |
| 4.2.3 | Ziele und Methoden des präventiven Qualitätsmanagements | 88 |
| 4.3 | Quality Function Deployment (QFD) | 94 |
| 4.3.1 | Motive zur Auswahl des QFD als fokussierten Untersuchungsbereich | 95 |
| 4.3.2 | Ursprung, Ziele und Grundlagen des QFD | 97 |
| 4.3.3 | Prinzipielles Vorgehen im QFD anhand des Makabe-Ansatzes | 101 |
| 4.3.4 | Die umfassenden QFD-Ansätze nach Akao und King | 108 |
| 4.3.5 | Bezug des QFD zu Systemtechnik und -architektur | 110 |
| 4.3.6 | Sonderformen des QFD und verwandte Ansätze | 111 |
| 4.4 | Teilfazit | 113 |
| 4.4.1 | Allgemeine Einschränkungen und Schwachstellen des QFD | 113 |
| 4.4.2 | Relevante Defizite und Potenziale für eine modulzentrierte Perspektive | 115 |
| 5. | Folgerungen und Handlungsbedarf | 117 |
| 5.1 | Prinzipieller Handlungsbedarf aus der Konsolidierung der Forschungslücke | 117 |
| 5.2 | Notwendige Grundausrichtung eines modulzentrierten QFD | 119 |
| 5.3 | Strukturierung der Handlungsschwerpunkte | 122 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.3.1 | Handlungsfeld 1: Systemtechnik / modulzentrierte Perspektive | 122 |
| 5.3.2 | Handlungsfeld 2: Schwerpunkte und Funktionalitäten der Methodik | 126 |
| 5.3.3 | Handlungsfeld 3: Prozessuale Unterstützung | 127 |
| 5.3.4 | Handlungsfeld 4: Anwendungs- und Implementierungserfolg | 129 |
| 6. | Lösungsansatz der qualitätsorientierten Modulplanungsmethodik M-QFD | 131 |
| 6.1 | Erfolgskriterien und Anforderungen an den Lösungsansatz | 131 |
| 6.2 | Übersicht über die Gesamtmethodik M-QFD | 134 |
| 6.3 | Modulzentriertes Metamodell der Methodik | 136 |
| 6.3.1 | Grundaufbau des M-HoQ und Domänenverständnis des Modulbereichs | 136 |
| 6.3.2 | Übersystembetrachtung und Kernkonzept des Projektionsraums | 140 |
| 6.3.3 | Anforderungsverständnis und Stakeholderperspektiven | 144 |
| 6.3.4 | Aggregationsbereich und Anreicherung der Abhängigkeitsinformationen | 147 |
| 6.4 | Vorgehen des M-QFD | 155 |
| 6.4.1 | Übersicht über das Vorgehen aus Interaktionssicht mit dem M-HoQ | 155 |
| 6.4.2 | Etablieren der modulzentrierten Perspektive in der frühen Planungsphase | 157 |
| 6.4.3 | Modellausbau und synthesegetriebene Nutzung | 167 |
| 6.4.4 | Analyseorientierte Nutzung der Modellbasis | 172 |
| 7. | Evaluation der qualitätsorientierten Modulplanungsmethodik M-QFD | 181 |
| 7.1 | Initiale Evaluation der Anwendbarkeit am Demonstrationsbeispiel „Top-Drive“ | 181 |
| 7.1.1 | Vorgehen der initialen Evaluation | 181 |
| 7.1.2 | Multifunktionales Kernmodul Top-Drive: Funktion und Hintergründe | 183 |
| 7.1.3 | Beispielhafte Anwendung der modulzentrierten Transparenzschaffung | 188 |
| 7.2 | Expertenstudie zur Nutzenbewertung der Methodik | 207 |
| 7.2.1 | Vorgehen der Expertenstudie | 207 |
| 7.2.2 | Ergebnisse der Expertenstudie | 208 |
| 8. | Zusammenfassung und Fazit | 215 |
| 8.1 | Erarbeiteter Handlungsbedarf und Ergebnisse | 215 |
| 8.2 | Reflexion und Ausblick | 218 |
| 9. | Literaturverzeichnis | 221 |

| | |
|--|------------|
| 10. Anhang | 243 |
| 10.1 Detaillierungen zu den Anforderungen an den Lösungsansatz | 243 |
| 10.1.1 Zuordnung der Anforderungen zu den Handlungsschwerpunkten | 243 |
| 10.1.2 Detaillierungen und Erläuterungen zu den Anforderungen /Erfolgskriterien | 244 |
| 10.2 Berechnungen der Metriken im Aggregationsbereich des M-HoQ | 247 |
| 10.3 Detaillierungen zur analyseorientierten Unterstützung durch den Lösungsansatz | 248 |
| 10.4 Detaillierungen und Ergänzungen zur Initialen Evaluation | 257 |
| 10.4.1 Beispielbasierte Erläuterungen der Syntax und Semantik des M-QFD | 257 |
| 10.4.2 Übersicht der quantitativen Daten der Expertenstudie | 261 |
| 11. Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls Für Produktentwicklung | 263 |

ZENTRALE BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN DIESER ARBEIT

| <u>Begriff</u> | <u>Abkürzung*</u> | <u>Definition / Herleitung auf Seite</u> |
|---|-------------------|---|
| Basisarchitektur | BA | 142 |
| Design Research Methodology | DRM | 10 f. |
| Elementare Moduleigenschaft | EE_M | 138 |
| Gesamtsystemeigenschaft | E_{GS} | 141 |
| House of Quality | HoQ | 103 ff. |
| Intramodulare Eigenschaftskomplexität | EK_{im} | 148 f. |
| Modulbereich | MB | 138 f. |
| Modulgruppe (allgemein/prozessbezogen) | MG / MG_P | 23 f. — <i>beispielbasierte Herleitung</i> 46 — <i>systemtheoretische Herleitung</i> |
| Modulgruppeneigenschaften | EM_G | 141 |
| Modulzentriertes House of Quality | M-HoQ | 136 ff. |
| Modulzentriertes QFD | M-QFD | 134 ff. |
| Multifunktionales Kernmodul | — | 25 — <i>beispielbasierte Herleitung</i> 41/46 — <i>systemtheoretische Herleitung</i> |
| Quality Function Deployment | QFD | 94 ff. |
| Quelleneigenschaft | E_{Quelle} | 140 |
| Referenzarchitektur | RA | 142 |
| Relationseigenschaft des Moduls | RE_M | 138 |
| Senkeneigenschaft | E_{Senke} | 140 |
| Systemhierarchische Innovationsebene | — | 1 |
| Systems Engineering | SE | 61 ff. |
| Übersystembereich | ÜSB | 140 f. |
| Übersystemeigenschaften | $E_{ÜS}$ | 141 |

Weitere Abkürzungen

| <u>Begriff</u> | <u>Abkürzung*</u> |
|-----------------------|--------------------------|
| Gesamtsystem | GS |
| Gesichtspunkt | GP |
| Qualitätsmanagement | QM |
| Stakeholder | SH |

** zur Pluralbildung nicht modifiziert*

1. Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Eingrenzung des Zielbereichs

Industrielle Netzwerke, deren Kernwertschöpfung auf Basis des Einsatzes von Großanlagen stattfindet, stellen in vielen Fällen das Ergebnis jahrzehntelanger evolutiver Entwicklung dar. Dies betrifft sowohl die technischen Prozesse und die diesen zugrundeliegenden Systeme und Architekturen als auch die Strukturen und Abläufe zwischen den Stakeholdern der Wertschöpfungsnetzwerke selbst.

In solchen „**etablierten Industrien**“ besteht eine **hohe Relevanz der Qualitätsorientierung** zur Erreichung von Wettbewerbsvorteilen und Kundenbindung, was mehrere Ursachen hat:

- Die prinzipielle Funktionsrealisierung bezogen auf den Primärzweck der eingesetzten Systeme ist im Allgemeinen soweit beherrscht, dass Innovationen auf Basis essenzieller technischer Neuerungen diese Primärfunktionen betreffend nur mit geringer Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind.
- Parallel nimmt infolge der technologischen Globalisierungstendenzen die Ähnlichkeit der am Markt angebotenen Produkte und Anlagenkomponenten stetig zu [REFFLINGHAUS 2009, S. 10].
- Da es sich um Investitionsgüter zur Realisierung einer bestimmten Aufgabe handelt, ist zudem der geforderte primäre Systemoutput klar definiert, dessen Variation damit kein Potenzial als essenzieller Innovationshebel mit sich bringt.
- Gleichfalls bestehen durch die beträchtlichen Finanzvolumina enorme Risiken bezüglich Fehlentwicklungen oder unzureichender „Qualität“.
- Zuletzt ist auch das Anstreben einer Kostenführerschaftsstrategie in Hochlohnländern keine Alternative, langfristig am Markt zu bestehen.

Ziel der Qualitätsorientierung im Rahmen der Produktentwicklung ist die **Planung und Realisierung einer bestmöglichen Kongruenz aus erwarteten und durch eine entwickelte Lösung repräsentierten Eigenschaften** (z. B. [MASING 2014, S. 5]). Die Erfolgsrelevanz der Erreichung dieses Ziels besitzt dabei universelle Gültigkeit, unabhängig davon, ob es sich um „einfache“ Konsumgüter oder um hochkomplexe Systeme oder Großanlagen handelt. Letztere können ihrerseits wiederum aus komplexen Modulen mit beträchtlichen Entwicklungs- und Herstellkosten bestehen. Angebotene Gesamtsysteme und Module entstehen dabei auf unterschiedlichen **systemhierarchischen Innovationsebenen**¹ eines System-OEMs², auf

¹ Der klassifizierende Begriff der *systemhierarchischen Innovationsebene* wird im Rahmen dieser Arbeit verwendet, um die wesentliche Unterscheidungsdimension bei der Untersuchung der innovationsbezogenen Handlungsmöglichkeiten der Unternehmen des betrachteten Anwendungsbereichs zu adressieren. Die Formulierung erfolgt in Anlehnung an GOMERINGER [2007, S. 86 f.], der das *technologische Betätigungsfeld* eines Unternehmens unter anderem nach den *Hierarchieebenen* innerhalb des eigenen Angebots an Produkten und Systemen charakterisiert.

² Unternehmen, welche innerhalb der komplexen Wertschöpfungsnetzwerke verantwortlich sind für die Entwicklung und Herstellung der technischen Kernumfänge der Systeme bezogen auf deren Hauptfunktionen.

welchen stark divergierende Rahmenbedingungen vorherrschen können, die neben den technischen Randbedingungen und Herausforderungen einen großen Einfluss auf die Umsetzbarkeit souverän gesteuerter Innovationen haben. Trotz ihres Wissens um ungenutzte Optimierungspotenziale der etablierten technischen Systeme assoziieren zentrale Stakeholder der Wertschöpfungsnetzwerke entscheidende Vorteile mit der **Wahrung des Status Quo bezüglich bewährter, evolutiv verfestigter Gesamtsystemarchitekturen und genereller Lösungsprinzipien**. Dies gilt insbesondere in konservativen Industrien, sowie in Industrien, deren Wirken hohe inhärente Sicherheitsrisiken für Mensch und Umwelt mit sich bringen. OEM-seitig besteht eine Motivation dieser Wahrung darin, dass potenzielle Innovationen mit grundlegenden Änderungsfolgen auf Ebene von Gesamtsystemarchitekturen die Einsetzbarkeit bestehender Module als Konfigurationsbausteine des Portfolios mindert, was sich negativ auf deren Rentabilität auswirken würde.³

Der strategische Stellenwert der systemhierarchischen Innovationsebene der **kundenneutralen Modulentwicklung** für System-OEMs resultiert folglich schon allein aus dem Wegfall der im Rahmen der auftragsbezogenen Systementwicklung wirkenden Innovationshürden. Darüber hinaus kommt der Modulentwicklung eine Hebelwirkung zu, da ein wichtiger Modultreiber häufig dessen Nutzung als Konfigurationsbaustein möglichst vieler unterschiedlicher Systeme ist – sowohl in Neuprojekten, als auch im Rahmen von Upgrades. Entwicklungstypologisch ist die **Modulentwicklung im Kontext industrieller Großanlagen** als Problemstellung zu fassen, bei der das einzelne Modul im Zentrum des Interesses steht und in welcher die Entwicklung desselben **projektorganisatorisch abgekoppelt von der Entwicklung des zugehörigen Gesamtsystems** stattfindet.

Die bewusste Ausnutzung des Potenzials dieser systemhierarchischen Innovationsebene von System-OEMs zur Entfaltung ihrer Innovationsfähigkeit erfordert jedoch das Vorhandensein **methodischer Vorgehensweisen, die die explizite Ausrichtung an einem als zentraler Entwicklungsgegenstand aufgefassten Modul (im obigen Sinne) reflektieren**. Eine dafür erforderliche **modulzentrierte Perspektive** steht jedoch im scheinbaren Widerspruch zum **theoretischen Ideal der Top-Down-Systementwicklung**, welches Module oder Teilsysteme primär als Ergebnis der Dekomposition eines Gesamtsystems **im Kontext dessen ganzheitlicher Entwicklung**, und die Modulentwicklung folglich prozessual als Bestandteil derselben begreift.⁴

Dieser dogmatischen Sichtweise liegt die Argumentation zugrunde, dass nur durch einen ganzheitlichen Systementwicklungsansatz ein bezüglich seiner Problemstellung optimiertes System entwickelt werden kann. Modulentwicklungen werden aus dieser Perspektive heraus als suboptimale Möglichkeit der inkrementellen Systemverbesserung beschrieben (z. B. [HABERFELLNER ET AL. 2012]). In der Folge dieser Abwertung höchst praxisrelevanter, jedoch in der Theorie a priori einem idealen Vorgehen widersprechender Problemstellungen **scheint eine vorbehaltlose Annäherung an die besonderen Herausforderungen und**

³ Eine ausführliche Betrachtung von Hemmfaktoren für Architekturveränderungen auf Gesamtsystemebene erfolgt in Kapitel 2.2.2.

⁴ Eine systematische Auseinandersetzung mit der Rolle von Modulen und Teilsystemen in der Systemtechnik und auf dieser basierenden Theorien und Ansätzen der Produktentwicklung erfolgt in Kapitel 3.

Rahmenbedingungen der Modulentwicklung jedoch ausgeblieben zu sein. Der Nutzen eines idealen Vorgehens ist jedoch zu hinterfragen, wenn die realen Problemstellungen Rahmenbedingungen aufweisen, die nicht kompatibel mit dessen Umsetzung sind. Oder anders formuliert: Die Anwendbarkeit idealer Vorgehensweisen darf nicht die Negation einer vorliegenden industriellen Wirklichkeit implizieren.

Für den betrachteten Bereich **industrieller Großanlagen mit komplexen, multifunktionalen Kernmodulen**⁵ ist dies als essenzielle Übertragbarkeitshürde für die dortige Anwendbarkeit etablierter Vorgehensmodelle der Entwicklungsmethodik sowie darauf aufbauender Unterstützungsmethoden und -werkzeuge zu sehen, wodurch deren **Potenzial nicht ausgeschöpft** werden kann. Diese Diskrepanz stellt die zentrale Motivation der vorliegenden Arbeit dar.

Wie der vorangegangene Absatz bereits impliziert, wird bezüglich des **Zielbereichs** dieser Arbeit (und damit des primären **Anwendungsbereichs** des entwickelten Lösungsansatzes) eine **klare Eingrenzung** getroffen, was das Vorliegen bestimmter Charakteristika betrifft, welche nicht generalisierend für alle Arten von Systemen und Industrien angenommen werden können.⁶ Primär sind hier die hohe relative **strategische Relevanz von Modulinnovationen** gegenüber Systeminnovationen zu nennen (resultierend unter anderem aus den eingangs skizzierten Treibern), sowie das Vorliegen **multifunktionaler Kernmodule** in den technischen Systemen der betreffenden Industrien. Die im Folgenden formulierte Zielsetzung sowie die zur Erarbeitung des Lösungsansatzes erforderlichen Betrachtungsschwerpunkte leiten sich von diesem Fokus ab. Am Beispiel der Offshore-Bohrindustrie⁷ findet in Kapitel 2.2 eine ausführliche Herleitung der genannten **Eingrenzungsmerkmale** im weiteren Kontext des Anlagenbaus statt. Durch deren Charakterisierung auf Basis klassifizierender Merkmale wird jedoch gleichzeitig die Voraussetzung geschaffen, Anwendungsbereiche auch außerhalb des Anlagenbaus zu identifizieren, die ähnlich gelagerte Problemstellungen und systemtechnische Portfoliozusammenhänge aufweisen.

1.2 Zielsetzung und Abgrenzung des Themengebiets

Zur **Ableitung der Zielsetzung** dieser Dissertation gilt es, die zuvor skizzierten, und im Rahmen dieser Arbeit noch detailliert herauszuarbeitenden **Defizite hinsichtlich der Berücksichtigung einer modulzentrierten Perspektive** in allgemeinen, systemtechnisch fundierten Entwicklungsansätzen auf die Problemstellung der eingangs motivierten **Qualitätsorientierung** zu übertragen. Die kontextneutrale Zieldefinition des Erreichens einer

⁵ Zur Kurzdefinition multifunktionaler Kernmodule vgl. Zusammenfassung (Seite 229, Fußnote ²⁷³). Zur detaillierten Herleitung vgl. Kapitel 2.2.1 (beispielbasierte Herleitung) und 3.2 (systemtheoretische Herleitung).

⁶ Eine alternative Maßnahme zur Vermeidung unzulässiger Generalisierungen wäre ein stark erhöhter Abstraktionsgrad. Dieser hätte jedoch eine Aufweichung der Problemstellung und damit einen Verlust an industrieller Praxisrelevanz und Anwendbarkeit des Lösungsansatzes zur Folge, denen entgegenzuwirken schließlich Teil der Kernmotivation der Arbeit ist.

⁷ Zur Herstellung des Praxisbezugs und zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit wird dieses Industriebeispiel im Rahmen der vorliegenden Arbeit an mehreren Stellen herangezogen.

bestmöglichen Kongruenz aus erwarteten und durch ein System repräsentierten Eigenschaften muss dabei mit folgender Fragestellung überlagert werden: welche dieser Eigenschaften können in welchem Umfang innerhalb der Entwicklungsprojekte welcher systemhierarchischen Innovationsebenen tatsächlich beeinflusst werden? Die Überlagerung dieser Sichtweisen ist bislang jedoch unzureichend. So hängt beispielsweise die Bewertung eines identifizierten Zielkonflikts (Inkongruenz) hinsichtlich abzuleitender Maßnahmen entscheidend davon ab, ob die zur Lösung dieses Zielkonflikts erforderlichen Stellhebel (zu variierende Eigenschaften) innerhalb des Gestaltungsbereichs eines vorliegenden Entwicklungsprojekts verfügbar sind, oder nicht. Letzteres repräsentiert typische Ausprägung des begrenzten Handlungsspielraums der Modulentwicklung (vgl. Abbildung 1-1, jeweils 2. Spiegelpunkt).

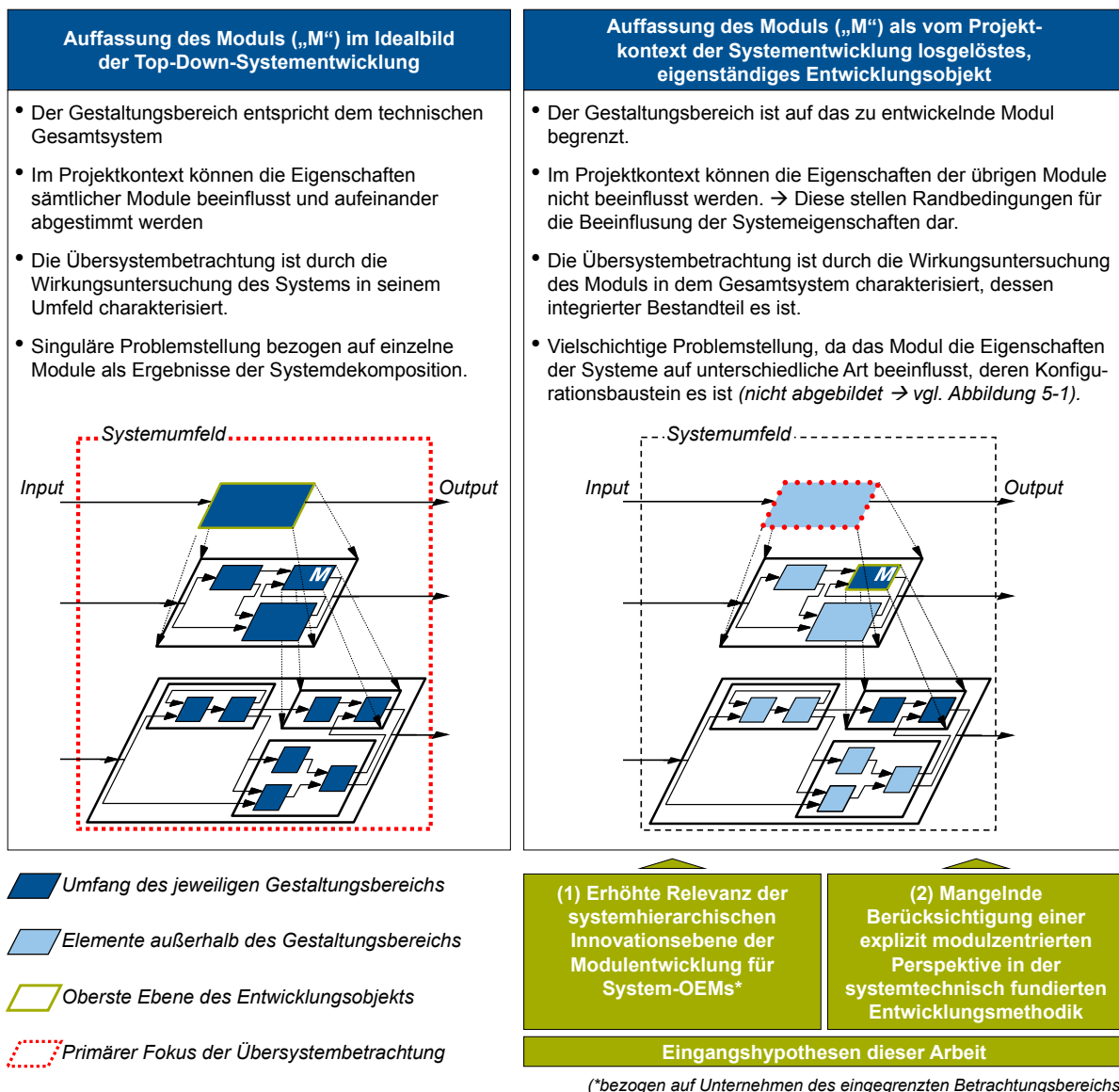


Abbildung 1-1: Eingangshypothesen im Lichte der Gegenüberstellung der Auswirkungen unterschiedlicher systemhierarchischer Innovationsebenen auf die Auffassung eines (strukturell identischen) Moduls („M“)

Abbildung 1-1 veranschaulicht grob die bestehenden, aber bislang nicht adäquat berücksichtigten Unterschiede der Auffassung eines Moduls im Kontext der Modulentwicklung (rechts) gegenüber jener im Idealbild der Top-Down-Systementwicklung (links) und setzt diese in Verbindung mit den Eingangshypothesen dieser Arbeit. Die Abbildung verdeutlicht, dass eine **ganzheitliche Herangehensweise an die Qualitätsorientierung Transparenz in mehreren Dimensionen** erfordert. Zum einen **bezüglich des Entwicklungsobjekts selbst, sowohl** hinsichtlich dessen Eigenschaften als auch deren Wirkung und Wahrnehmung durch sämtliche relevante Stakeholder. Zum anderen **bezüglich der innovationsebenenabhängigen Gestaltbarkeit dieser Eigenschaften** im Sinne der Beherrschung der stark branchenabhängigen Umsetzungs komplexität⁸, inklusive deren Wirkungen auf gegebenenfalls nicht gestaltbare Bereiche. Mit ihrer Zielsetzung beansprucht die vorliegende Arbeit, sich dieser Herausforderung explizit mit dem Fokus auf die systemhierarchische Innovationsebene der Modulentwicklung anzunehmen, und damit deren essenzieller strategischer Bedeutung in bestimmten Branchen insbesondere des Anlagenbaus Rechnung zu tragen.

Als **allgemeine Zielsetzung** wird daher formuliert,

über die Befähigung zur konsequenten Einnahme einer modulzentrierten Perspektive eine dem spezifischen Kontext der Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule gerecht werdende Qualitätsorientierung zu ermöglichen.

Das angestrebte Ergebnis zur Erreichung dieses Ziels ist eine **methodische Vorgehensunterstützung**, zu deren Entwicklung auf die Grundmechanismen etablierter, systemtechnisch fundierter Methoden zurückgegriffen werden soll. Die genutzten Prinzipien der Systemtechnik sind dabei handlungsorientiert in die modulzentrierte Perspektive zu übersetzen.

Ein zentrales Methodenfeld, welches sich im Zuge der Auseinandersetzung mit qualitätsorientierten Entwicklungsmethoden im Rahmen dieser Arbeit unter den genannten Ausgangsbedingungen frühzeitig als prinzipiell **tragfähiger Anknüpfungspunkt** herauskristallisiert hat, stellt das **Quality Function Deployment (QFD)** mit seinen verschiedenen Ansätzen dar. Dieser Fokus leitet sich – neben der Tatsache, dass QFD die mit Abstand **etablierteste Methodik** darstellt, welche die Ausrichtung der Produktplanung und -entwicklung hinsichtlich einer klaren Qualitätsorientierung als primäres Ziel sowohl prozessual als auch durch ihre Werkzeuge unterstützt – von folgenden weiteren, im Kontext der Problemstellung relevanten Faktoren ab:⁹

- QFD wird als **durchgängige Entwicklungsmethodik phasenübergreifend** eingesetzt und weist eine **hohe Flexibilität und Anpassbarkeit** auf, womit gute Voraussetzungen für eine Adaption im Rahmen eines problemspezifischen Lösungsansatzes gegeben sind.
- Der häufig genannte Kritikpunkt, dass QFD seine **Stärken insbesondere im Kontext von Weiterentwicklungen** entfalten kann, erweist sich im Kontext des Anwendungszielbereichs, dessen Entwicklungen – wie oben argumentiert – zu einem sehr

⁸ Übergreifend ergibt sich diese aus der Verzahnung zahlreicher temporal versetzter Projekte unterschiedlicher systemhierarchischer Innovationsebenen und adressierter Portfolioumfänge.

⁹ Eine ausführliche Argumentation dieses Fokus ist Inhalt des Kapitels 4.3.1.

überwiegenden Teil nicht durch hohe Neuheitsgrade bzw. Veränderungsumfänge charakterisiert sind, sogar als zielunterstützend.

- Darüber hinaus stellt das **systemhierarchische Denken** eine wichtige Grundlage des QFD dar und bildet daher eine vielversprechende **Basis für das Einnehmen einer variierten systemhierarchischen Perspektive**.
- Nicht zuletzt stellen die **Schaffung von Transparenz** und die **Förderung von Kommunikation und gemeinsamem Systemverständnis** Schwerpunkte innerhalb des QFD dar, die eine hohe Relevanz innerhalb der Zielstellung dieser Arbeit haben.

Resultierend aus der obigen **allgemeinen Zielsetzung** ergibt sich damit infolge der weiteren Zielentwicklung die **konkretisierte Ergänzung**,

die systemtechnischen Besonderheiten der modulzentrierten Perspektive auf die Grundmechanismen des Quality Function Deployment (QFD) zu übertragen.

Aus diesem konkretisierten Ziel leiten sich folgende **forschungsleitende Teilzielsetzungen** ab (vgl. auch Abbildung 1-2):

Zunächst gilt es, die spezifischen **Charakteristika der Modulentwicklung** im betrachteten Anwendungskontext präzise herauszuarbeiten. Dabei ist auch die der Motivation dieser Arbeit zugrundeliegende **erhöhte Relevanz der Modulentwicklung** (erste Eingangshypothese) sowie der Qualitätsorientierung für die Realisierung erfolgreicher Innovationen seitens System-OEMs innerhalb dieses Kontexts zu validieren. Grundlage dieser Charakterisierung ist eine systemtechnisch aufgezugene Differenzierung der systemhierarchischen Innovationsebene der Modul- gegenüber der Systementwicklung, aus welcher die jeweiligen Spezifika bezüglich der **Ziel-, Sach- und Handlungssysteme**¹⁰ herauszuarbeiten sind, mit welchen beziehungsweise innerhalb derer ein System-OEM (inter)agiert. Diese explizite Differenzierung stellt den Dreh- und Angelpunkt sowohl der Motivation (mit Schwerpunkt auf das Handlungssystem als Kontext) als auch des Lösungsansatzes (mit Schwerpunkt auf eine an den spezifischen Anforderungen einer modulzentrierten Perspektive ausgerichtete Betrachtung des Sachsystems) dieser Arbeit dar.

Aufbauend auf der hierfür notwendigen Auseinandersetzung mit den **theoretischen Grundlagen der Systemtechnik** ist parallel eine Standortbestimmung bezüglich der Frage durchzuführen, **welche Rolle Module beziehungsweise deren Entwicklung** in aus der Systemtechnik hervorgehenden Theorien und Entwicklungsansätzen spielt. Ziel dessen ist die weitere Elaboration der in der zweiten Eingangshypothese postulierten **Forschungslücke bezüglich des Fehlens methodischer Unterstützung**, welche an einem als zentraler Entwicklungsgegenstand aufgefassten Modul ausgerichtet ist, sowie einer entsprechenden systemtechnischen Perspektive, die einer solchen Methodik zugrunde liegen muss. Der aus diesen Betrachtungen abzuleitenden Spezifikation einer solchen **modulzentrierten Perspektive** muss außerdem die Definition des Begriffs „**multifunktionales Kernmodul**“ vorausgehen, welche als Modulart spezifischer und hoher Komplexität den angestrebten

¹⁰ Vgl. Kapitel 3.1.3 und 3.1.4 zu den Systemarten der Systemtechnik

Anwendungsbereich des Lösungsansatzes darstellen, wofür ebenfalls auf den erarbeiteten Grundlagen der **Systemtechnik** und insbesondere der **Systemarchitektur** aufzubauen ist.

Als Kernelement einer modulzentrierten Perspektive für die qualitätsorientierte Modulentwicklung bedarf es der **Etablierung einer Übersystemperspektive** (vgl. Abbildung 1-1), welche die adäquate Abbildung der qualitätsrelevanten Wirkungen eines Moduls ermöglicht. Die Moduleigenschaften müssen in diesem Sinne gleichzeitig hinsichtlich deren Bedeutung für einzelne Stakeholder bewertbar gemacht werden, sowie hinsichtlich der Frage, ob sie die Eigenschaften des übergeordneten Systems in gewünschter Weise beeinflussen und welche weiteren Wirkungen auf das System entstehen. Dies ist zudem innerhalb **multipler Systemkontexte** erforderlich, wird davon ausgegangen, dass ein Modul Konfigurationsbaustein unterschiedlicher Gesamtsysteme ist. Auf Wahrnehmungsseite ist im Kontext industrieller Großanlagen darüber hinaus zu berücksichtigen, dass die den Modul- und Systemeigenschaften entgegengehaltenen **Stakeholderinteressen** abhängig von der **Konstellationsart des spezifischen Wertschöpfungsnetzwerks** stark variieren können.

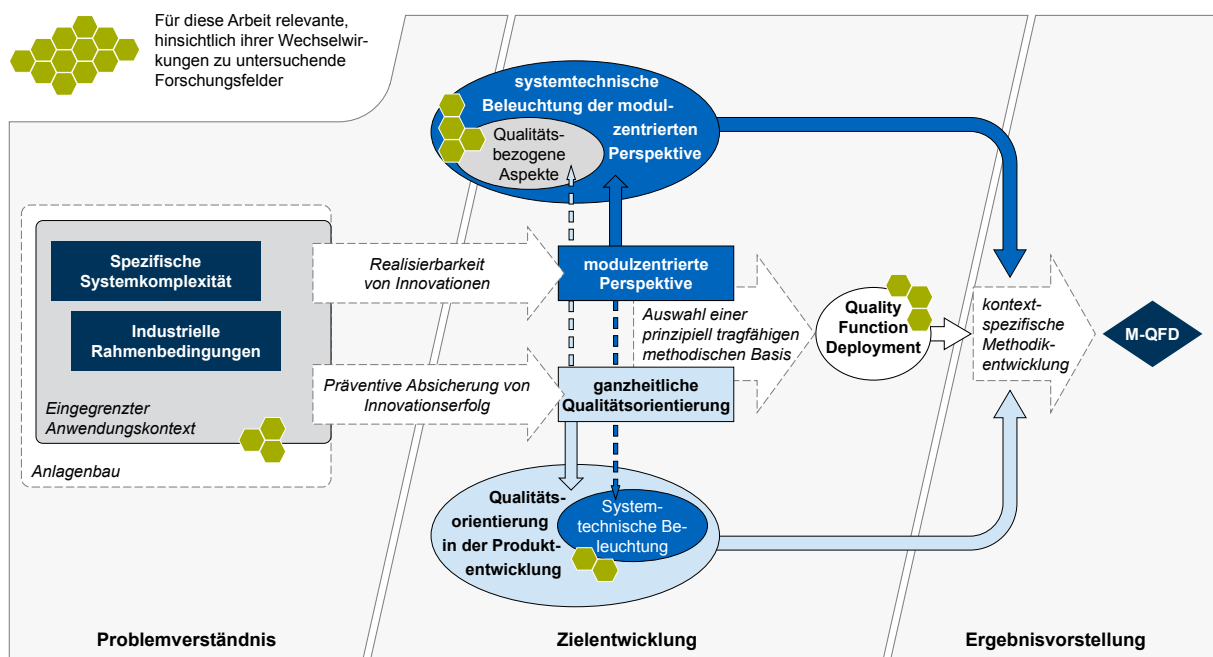


Abbildung 1-2: Zusammenspiel der adressierten Forschungsfelder im Kontext der Ziel- und Ansatzentwicklung der Arbeit

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung, die qualitätsorientierte Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule durch einen, an den Grundmechanismen des QFD angelehnten Lösungsansatz zu unterstützen, sind die **Implikationen einer modulzentrierten Perspektive** sowie weiterer Aspekte des Anwendungsbereichs auf die **Qualitätsorientierung** im Allgemeinen sowie die **QFD-Methodik** im Speziellen zu untersuchen. Unter Bezugnahme auf die zweite Eingangshypothese manifestieren sich auch im QFD die genannten Defizite, da diese Methodik eng verschränkt ist mit allgemein etablierten systemtechnischen und entwicklungsmethodischen Vorgehen. Die Berücksichtigung dieser Implikationen hat

einerseits aus der systemtechnischen Rolle eines Moduls heraus zu erfolgen (Zurücktreten der Relevanz der reinen Kundenperspektive auf die Moduleigenschaften gegenüber der Beeinflussung höher liegender Systemeigenschaften durch diese), wie auch andererseits aus den innovationsspezifischen Gesichtspunkten des Anwendungsbereichs (Fokus auf ein ausgewogenes, beherrschtes Eigenschaftsgefüge; Relevanzgewinn von Sekundäreigenschaften¹¹ wie Wartbarkeit gegenüber neuen, primärfunktionalen Eigenschaften mit hohem Überraschungspotenzial für den Kunden).¹²

Durch die starken Verflechtungen der integriert zu untersuchenden Themenbereiche fällt der forschungsleitenden Teilzielsetzung der **Formulierung des Handlungsbedarfs**¹³, sowohl bezüglich der zu schließenden systemtechnischen Lücken, als auch hinsichtlich des darauf aufbauenden Lösungsansatzes eine große Bedeutung im Rahmen dieser Arbeit zu. Er stellt die Basis für die Ableitung der **Anforderungen und Erfolgskriterien** an den Lösungsansatz dar, welcher schließlich – wie bereits in der Hauptzielsetzung formuliert – als an den Grundmechanismen des QFD orientierte Planungs- und Entwicklungsmethodik multifunktionaler Kernmodule zu entwickeln ist. Abschließend ist der Lösungsansatz hinsichtlich der **Anwendbarkeit** seiner wesentlichen Bestandteile sowie hinsichtlich seines **Mehrwerts aus industrieller Perspektive zu evaluieren**.

Reflexion der Zielsetzung und Abgrenzung zu nicht betrachteten Themengebieten

Resümierend soll durch die Zielsetzung der Arbeit System-OEMs – insbesondere aus dem Bereich industrieller Großanlagen, jedoch nicht beschränkt auf diesen – eine methodische Unterstützung geschaffen werden, die die spezifischen Randbedingungen der systemhierarchischen Innovationsebene der Modulentwicklung berücksichtigt und innerhalb dieser den Fokus auf die Qualitätsorientierung erlaubt. Die Erhöhung der Konsistenz zwischen wissenschaftlichen und industriellen Problemstellungen (und damit nicht zuletzt der Akzeptanz von Lösungsansätzen seitens der Industrie) wird hierfür über eine bewusste Orientierung an bestehenden Strukturen und Freiheitsgraden der industriellen Realität angestrebt, anstatt über deren hypothetische Auflösung zu Gunsten eines theoretischen Idealvorgehens.

Der Orientierung am QFD liegt bezüglich der angestrebten Transparenzschaffung neben den oben genannten Gründen ein **Fokus auf die Phasen der Produktdefinition** (als letzte Schwerpunktphase der Produktplanung [VDI 2220:1980]) und der **frühen Phasen der Produktentwicklung** zugrunde, wodurch eine klare Abgrenzung zur strategischen Produktentwicklung und zur Produktfindung besteht.

¹¹ HUBKA & EDER [1988, S. 121] beschreiben das Phänomen, dass mit der technischen Beherrschung der Funktionsrealisierung die Bedeutung anderer, sekundärer Eigenschaften steigt.

¹² Durch eine Orientierung an den genannten Spezifika wird der Problematik der Vernachlässigung von Selbstverständlichkeiten (latente Anforderungen) oder des Entstehens von Sicherheitslücken, die LESMEISTER [2001, S. 17 ff.] als häufige Folge unbedingter Kundenorientierung im traditionellen QFD beschreibt, verstärkt begegnet.

¹³ Als konsolidierte Aufbereitung einer bislang in der Wissenschaft stark unterrepräsentierten Perspektive misst der Autor dieser Arbeit diesem Ziel eine der Entwicklung des eigentlichen Lösungsansatzes gleichwertige Bedeutung bei.

Eine intensive Auseinandersetzung mit dem **Qualitätsmanagement (QM)** ist insofern unumgänglich, als **Methoden und Ansätze**, welche im Entwicklungsprozess die Qualitätsorientierung schwerpunktmäßig unterstützen, diesem Bereich zugeordnet werden und auf die in dieser Disziplin artikulierten Konzepte aufbauen. Der Wirkungsbereich des QM erstreckt sich heute jedoch auf die gesamte Organisation, ihre Struktur, sowie sämtliche Einheiten und Prozesse. Diese übergeordnete Ebene der sogenannten QM-Systeme und deren Gestaltung liegen außerhalb des Betrachtungsbereichs dieser Arbeit.

Auch organisationale Aspekte der Methodeneinführung und damit einhergehende Veränderungsprozesse sind nicht Gegenstand der Betrachtung.¹⁴ Gleiches gilt für die vollumfängliche rechnergestützte Umsetzung der Methodik, hinsichtlich derer lediglich eine Identifizierung von Anforderungen und deren Schärfung auf Basis eines eingeschränkten ExcelTM-basierten Funktionsprototypen stattfindet.

1.3 Wissenschaftlicher Hintergrund und Vorgehen

Erfahrungshintergrund und Ausgangspunkt der Arbeit

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der Tätigkeit des Autors als wissenschaftlicher Mitarbeiter des *Lehrstuhls für Produktentwicklung* der *Technischen Universität München*. Aus der Bearbeitung verschiedener Forschungsprojekte ist dabei insbesondere die dreijährige Kooperation mit einem international führenden Hersteller von Bohrtechnologien und Anbieter vollständiger Bohrsysteme für Offshore-Bohranlagen, einzelner Teilsysteme und Module sowie Dienstleistungen zu nennen. Diese Forschungsk Kooperation mit dem im Folgenden aus Vertraulichkeitsgründen als „System-OEM“ referenzierten Unternehmen stellt die maßgebliche Grundlage dieser Dissertation dar.

Dabei bestand die initiale Zielsetzung dieser Kooperation in der Operationalisierung der Effizienz von Bohrsystemarchitekturen sowie der methodischen Überführung des dabei gewonnenen Wissens in die Synthese derselben. In diesem Zusammenhang kristallisierte sich der zunächst unerkannte Problemaspekt als elementar heraus, dass das Wissen über Verbesserungspotenziale und notwendige Gestaltungsmaßnahmen zwar eine notwendige, jedoch keine hinreichende Voraussetzung für deren Umsetzung ist. Die Erkenntnis, dass vielen Unternehmen insbesondere des Anlagenbaus in der industriellen Wirtschaftsrealität lediglich Gestaltungsstellhebel auf der systemhierarchischen Innovationsebene der Modulentwicklung zur Verfügung stehen, stellte den Kristallisationskeim für die Zielentwicklung dieser Arbeit dar (vgl. *Research Clarification*, nachfolgendes Unterkapitel). Ein differenziertes Bild konnte dabei durch die aktive Einbindung verschiedener weiterer Stakeholder neben dem System-OEM (beispielsweise Energiekonzern, Systembetreiber, Werft) gewonnen werden.

Eine enge inhaltliche Vernetzung mit Bearbeitern verwandter Themenstellungen konnte durch die Leitung der *Forschungsgruppe Systems Engineering* des Lehrstuhls für Produktentwicklung durch den Autor sichergestellt werden. Im Rahmen dieser Tätigkeit war der Autor in die Ausrichtung des „International Research Colloquium on Product Architecture Design“ 2011

¹⁴ Hierzu sei beispielsweise auf DOBBERKAU [2002] verwiesen.

und 2012 involviert, wodurch ein intensiver Austausch mit internationalen Wissenschaftlern zu aktuellen Forschungsströmungen und -aktivitäten auf diesem Bereich möglich war.

Forschungsmethodik

Das wissenschaftlich-methodische Rahmenwerk, an dem sich die Planung, Strukturierung und Durchführung der vorliegenden Forschungsarbeit orientiert, ist die *Design Research Methodology* (DRM) nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009]. Der DRM liegen als zentrale Motivation die nach wie vor im Bereich *Design Research*¹⁵ (DR) vorherrschenden Defizite methodischer Sorgfalt, Systematik und Nachvollziehbarkeit zugrunde, welche Voraussetzungen für theoretische und praktische Validität wissenschaftlicher Ergebnisse sind. Die **Entwicklung von Verständnis** und **Unterstützung** sind dabei eng verwoben und zur Erreichung der DR-Hauptziele – effektivere und effizientere Entwicklung als Voraussetzung erfolgreicherer Produkte – integriert zu betrachten [BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 5].

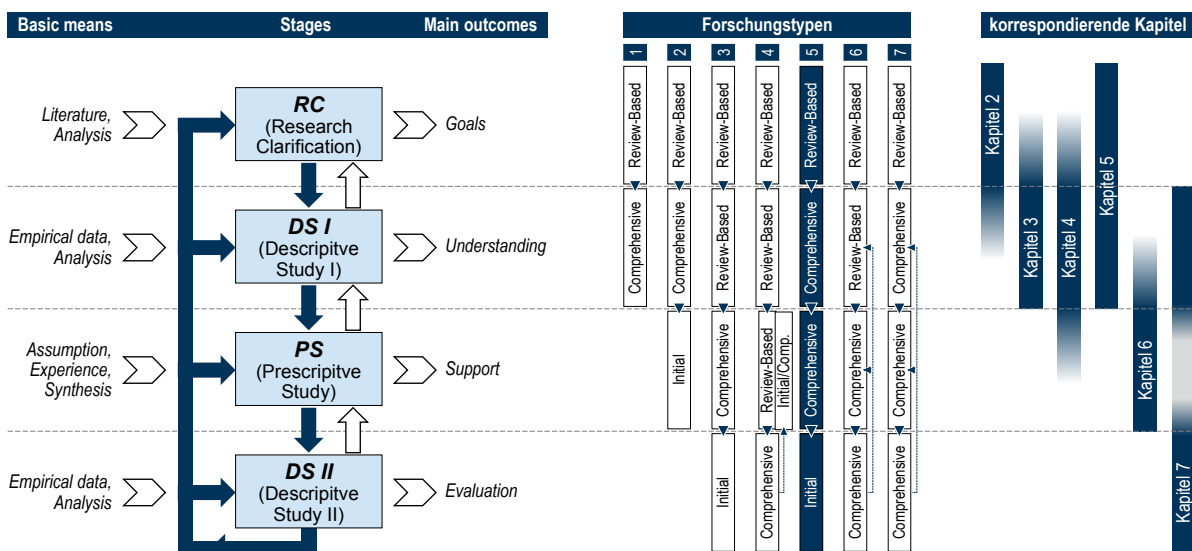


Abbildung 1-3: DRM-Rahmenwerk (links), Forschungstyp der Arbeit (Mitte), sowie Bezug zur Kapitelstruktur (in Anlehnung an BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 15, 60])

Das DRM-Rahmenwerk ist in die vier in Abbildung 1-3 (links) dargestellten Abschnitte gegliedert. Diese werden im Allgemeinen jedoch nicht sequenziell durchlaufen. Die Notwendigkeit von Iterationen und der teilweise parallelen Bearbeitung von Abschnitten ergibt sich aus dem jeweiligen Forschungsprojekt sowie dessen Verlauf und Randbedingungen. Die Auswahl eines geeigneten Forschungstyps (vgl. Abbildung 1-3, Mitte) verleiht dabei die notwendige Orientierung bei der richtigen Schwerpunktsetzung. Typ 5 eignet sich nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 62] insbesondere für Forschungsprojekte, die die

¹⁵ CANTAMESSA [2001] klassifiziert die Forschungsmethoden in diesem Bereich nach den vier Gruppen *empirische Untersuchung von Entwicklungsprozessen*, *experimentelle Untersuchung von Entwicklungsprozessen*, *Entwicklung neuer Methoden und Werkzeuge* sowie die *industrielle Einführung* derselben.

Zielstellung einer methodischen Unterstützungsentwicklung bei gleichzeitig geringem initialem Verständnisniveau bezüglich der zu adressierenden Problematik verfolgen. Dadurch fokussiert die Forschung gleichermaßen den Verständnisaufbau und die Entwicklung der methodischen Unterstützung. Die Evaluation hat einen initialen Charakter. Auf Basis der Auswahl dieses Forschungstyps wird im Folgenden ein Überblick über die vier Abschnitte (vgl. hierzu [BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 15 ff. / 29 ff.]) gegeben. Dabei wird der Bezug zur vorliegenden Arbeit hergestellt und auf Besonderheiten im Vorgehen eingegangen.

Im Rahmen der *Research Clarification (RC)* werden die groben Forschungsziele abgeleitet. Über eine initiale Beschreibung der bestehenden, sowie der gewünschten Situation werden zugrunde liegende Annahmen explizit gemacht. Die relevanten Forschungsfelder und Disziplinen, welche es in *DS I* ausführlich zu untersuchen gilt, werden identifiziert. Die Verfestigung der beiden Eingangshypothesen der vorliegenden Arbeit (vgl. Abbildung 1-1) erfordert dabei unterschiedliche Vorgehensweisen. Das Aufzeigen der Relevanz und der Bedarfstreiber einer modulzentrierten Innovationsstrategie für bestimmte Unternehmen insbesondere des Anlagenbaus erfolgt *induktiv* mittels der Abstraktion der Spezifika der Industrie des Kooperationspartners und der systemtechnischen Betrachtung der Aspekte. Diese stellt andererseits die Grundlage der *deduktiven* Untersuchung bestehender Ansätze der systemtechnisch fundierten Entwicklungsmethodik hinsichtlich der Abdeckung einer modulzentrierten Perspektive dar.¹⁶ Die Aktivitäten sind dadurch sehr eng verwoben mit jenen der *DS I*.

Die *Descriptive Study I (DS I)* dient der weiteren Durchdringung der Problemstellung und dem tieferen Verständnisaufbau zur Identifikation von Einflussfaktoren, welche im Rahmen der nachfolgenden *PS I* adressiert werden, um eine Verbesserung der Situation zu erreichen. Neben der bereits erwähnten Untersuchung des Forschungsfelds der Systemtechnik hinsichtlich der Rolle von Modulen, um diese in den Fokus der Entwicklungsarbeit stellen zu können, findet hier eine explizite Auseinandersetzung mit dem Methodenfeld des QFD statt. Voraussetzung dafür ist der Nachweis der prinzipiellen Eignung von QFD als vielversprechender Ausgangspunkt für den eigenen Lösungsansatz, welcher als Resultat erster Schritte der *PS* zu sehen ist. Dies stellt eine explizite Iteration innerhalb des DRM-Vorgehens dar. Vor dem Eintritt in die eigentliche *PS* schließt die *DS I* auf Basis der nun validierten und konkretisierten Forschungslücke daher mit der Konsolidierung des Handlungsbedarfs, welcher klare Anforderungen an den Lösungsansatz und Erfolgskriterien für dessen Evaluation formuliert.

Die Synthese des Lösungsansatzes erfolgt in der *Prescriptive Study (PS)*. Die auf Basis der Nutzung des Verständnisses aus der *DS I* entwickelte Unterstützung erfolgt im Allgemeinen in Form von Modellen, Methoden und Werkzeugen. Eine Überprüfung auf innere Konsistenz der Lösung sowie deren Realisierung in einer Art, die eine Evaluation ermöglicht, sind hierbei vorzusehen. Auf Basis der in *DS I* formulierten Anforderungen wird im Rahmen der *PS* dieser Arbeit eine **Methodik zur qualitätsorientierten Planung multifunktionaler Kernmodule** entwickelt, für welche die Strukturen und Denkweisen des QFD den Ausgangspunkt bilden. Kernelemente der „**M-QFD**“ (modulzentriertes QFD) genannten Methodik sind das übergreifende Vorgehen gleichen Namens sowie das zentrale Metamodell „**M-HoQ**“.

¹⁶ Zur Definition von induktivem bzw. deduktivem Vorgehen sei bspw. auf NEVILLE [2007, S. 3 f.] verwiesen.

Die *Descriptive Study II (DS II)* widmet sich schließlich der Anwendung und Evaluation des entwickelten Lösungsansatzes. Ziel sind Erkenntnisse darüber, ob die entwickelte methodische Unterstützung im Rahmen der vorgesehenen Aufgabe *nutzbar* ist und die gewünschte *Wirkung* erzielt. Außerdem sind in diesem Rahmen die Eingangsannahmen abschließend zu validieren. Darüber hinaus dient die *DS II* zur Identifikation von Verbesserungs- und weiteren Ausarbeitungspotenzialen. Die *DS II* der vorliegenden Arbeit erfolgt anhand einer zweistufigen *initialen Evaluation*¹⁷. Bei der Entwicklung eines Demonstrationsbeispiels der Offshore-Bohrindustrie steht dabei zunächst die *Anwendbarkeit* der M-QFD-Methodik im Fokus, für welche ein eingeschränkter Excel™-basierter Funktionsprototyp entwickelt wurde. Die zweite Stufe erfolgt im Rahmen einer Expertenstudie und zielt auf die Bewertung des *Nutzens aus industrieller Perspektive* ab. Grundlage hierfür ist der im Rahmen der *DS I* erstellte Kriterienkatalog.

1.4 Aufbau der Arbeit

In *Teilkapitel 1.1* wird die **Ausgangssituation** der vorliegenden Dissertation skizziert und der Leser über die Existenz eines klar eingegrenzten **Zielbereichs** informiert. In *1.2* werden daraufhin ausgehend von den erarbeiteten **Eingangshypothesen** die **allgemeine Zielsetzung**, sowie die davon abgeleiteten **forschungsleitenden Teilzielsetzungen** zusammengefasst. Dabei wird ein grober Überblick über die **relevanten Forschungsfelder** gegeben und eine **Abgrenzung** zu nicht näher betrachteten Themengebieten gegeben. *1.3* klärt über den **Erfahrungshintergrund** des Autors auf und erläutert dessen **wissenschaftliches Vorgehen** bei der Bearbeitung des Dissertationsprojekts bevor *1.4* die Einleitung mit einer Beschreibung der **Struktur der Arbeit** schließt.

Kapitel 2 hat die Funktion, die **Eingrenzung des Zielbereichs** systematisch zu argumentieren und damit einhergehend die darin wirkenden Problemaspekte sowie in die **Motivation für eine Stärkung der modulzentrierten Perspektive** in der Entwicklungsmethodik herauszuarbeiten. Ausgehend von einer allgemeinen Einführung in den Anlagenbau (*2.1*) wird in *2.2* der **Relevanzbereich multifunktionaler Kernmodule** hergeleitet. Die **system- und industriebezogenen Eingrenzungsfaktoren** werden dabei anhand der Einführung in das für diese Arbeit **zentrale Praxisbeispiel der Offshore-Bohrindustrie** erläutert. Ebenso findet eine praxisbezogene Herleitung einiger für die Arbeit zentraler Begriffe statt, deren Definition jedoch erst vor dem Hintergrund der theoretischen Grundlagen des nachfolgenden Stands der Technik (*Kapitel 3* und *4*) abgerundet wird.

Kapitel 3 widmet sich dabei der **Rolle des Moduls** sowohl als **systemtechnisches Konzept** als auch im Kontext **systemtechnisch fundierter Theorien, Vorgehensweisen und Modelle**. Die Auswahl der betrachteten Bereiche sowie die Schwerpunktlegung innerhalb dieser leitet sich dabei von der Absicht des Nachweises der **zweiten Eingangshypothese** ab, wonach ein grundlegendes **Defizit der Auseinandersetzung mit Modulen als zentrale Entwicklungsgegenstände** innerhalb dieser Felder besteht. Zugleich sollen Ausgangspunkte hierfür innerhalb etablierter Ansätze identifiziert werden, die darüber hinaus das Potenzial einer

¹⁷ Zum Begriff der *initialen Evaluation* sei auf Kapitel 7.1.1 verwiesen.

multiplen Übersystembetrachtung bieten, also die Möglichkeit, das einzelne Modul als Konfigurationselement unterschiedlicher Systeme handhabbar zu machen.

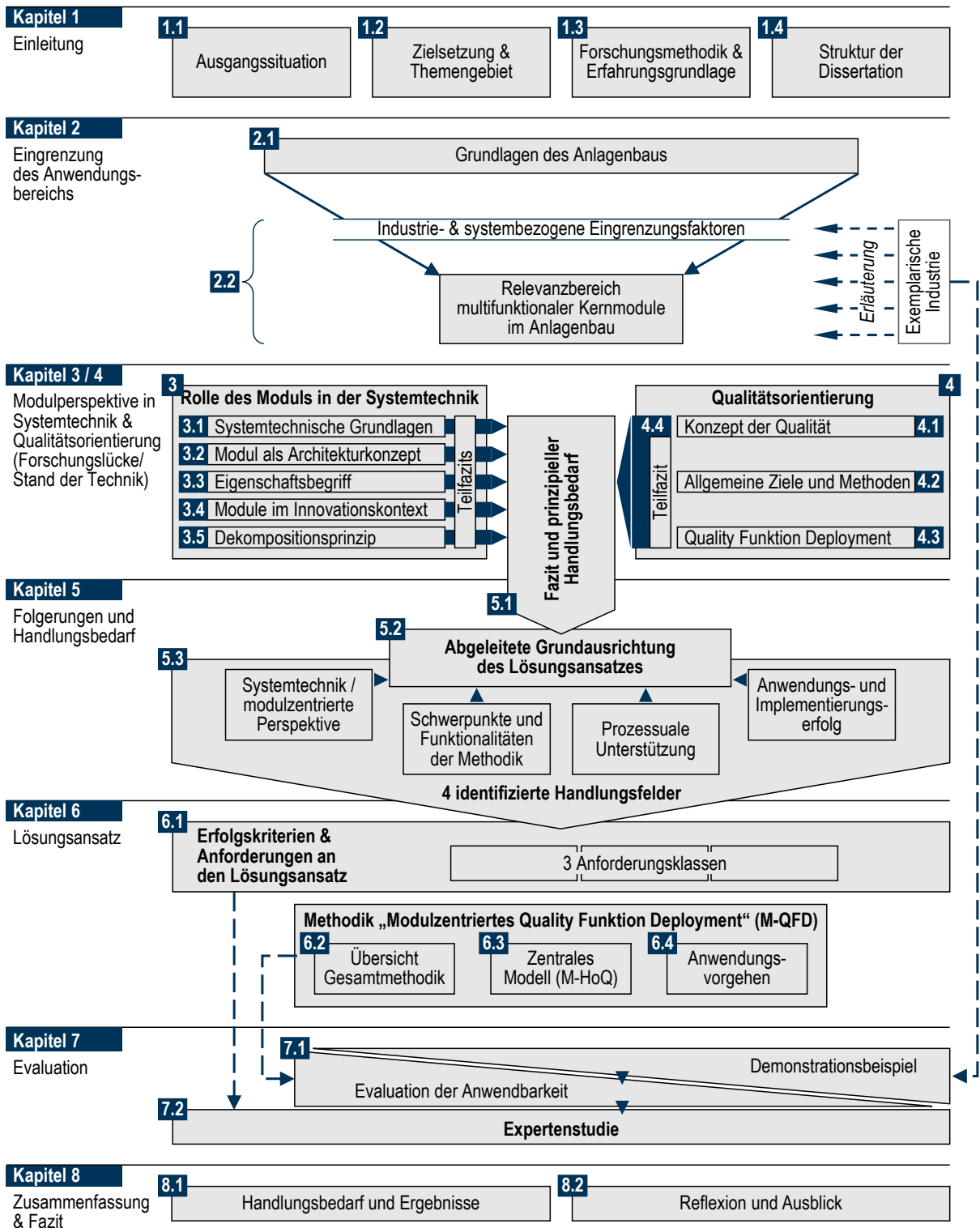


Abbildung 1-4: Übersicht über die Struktur der Arbeit

Kapitel 4 detailliert diese Untersuchungen für das **Quality Function Deployment** als qualitätsorientiertes, systemtechnisch fundiertes Methodenfeld, für welches das zuvor angesprochene Potenzial begründet wird. Die Basis wird auch hier durch die Klärung der Grundlagen bezüglich der **Rolle von Qualität** sowie des Feldes des **präventiven Qualitätsmanagements** gelegt.

In den *Kapiteln 3* und *4* wird mit der **formalen Besonderheit kurzer Einschübe** mit der Überschrift „*Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit*“ gearbeitet. Diese heben sich vom „objektiv vorhandenen“ Stand der Wissenschaft ab, indem ein behandelte Kernaspekt direkt in den Kontext der Problemstellung gestellt und gegebenenfalls subjektiv interpretiert wird. Dies geschieht zur punktuellen Untermauerung der Forschungslücke, zur Vervollständigung eigener Definitionen auf Basis existierender Elemente sowie zur Abgrenzung zur **modulzentrierten Perspektive**, welche im anschließenden *Kapitel 5* vollständig charakterisiert wird.

Im genannten „Brückenskapitel“ *5* werden zunächst die Erkenntnisse hinsichtlich der **Forschungslücke konsolidiert** und der resultierende **Handlungsbedarf** formuliert (*5.1*). Vor dem Hintergrund der Zielstellung, die systemtechnischen Besonderheiten der modulzentrierten Perspektive auf die Grundmechanismen des QFD zu übertragen, erfolgt in *Kapitel 5.2* eine Beschreibung der dafür notwendigen **Grundausrüstung der zu entwickelnden Gesamtmethodik**. Dieses Zielbild stellt wiederum die Basis dar für die Formulierung der konkreten **Handlungsschwerpunkte** für den Lösungsansatz, welche in *Kapitel 5.3* nach *4* Handlungsfeldern systematisiert werden.

In *Kapitel 6* wird der Lösungsansatz der Arbeit vorgestellt. Nach der Ableitung der **Anforderungen** an denselben sowie der **Erfolgskriterien für dessen Evaluation** aus den zuvor genannten Handlungsschwerpunkten (*6.1*) erfolgt in *6.2* ein Überblick über die **entwickelte Gesamtmethodik M-QFD**. Nachdem in *6.3* zunächst das **zentrale Metamodell M-HoQ** vorgestellt wird, detailliert *6.4* dessen Instanziierung, Ausbau und Nutzung im Rahmen des zugehörigen **Vorgehens**.

Die **initiale Evaluation** des Lösungsansatzes wird in *Kapitel 7* beschrieben. Anhand der Beschreibung der Fallstudie „Top-Drive“ – ein multifunktionales Kernmodul von Offshore-Bohrsystemen – zielt *Teilkapitel 7.1* dabei zunächst auf die **Bewertung der Anwendbarkeit** der Methodik ab. Das dafür entwickelte **Demonstrationsbeispiel** dient zugleich als Grundlage der in einem zweiten Schritt durchgeführten **Expertenstudie**, welche den **industriellen Nutzen** anhand der Erfolgskriterien (vgl. *6.1*) untersucht.

In *Kapitel 8* werden die Inhalte und Ergebnisse der Arbeit **zusammengefasst und reflektiert** und im **Ausblick** abschließend auf daraus abgeleitete, verbleibende Forschungs- und Handlungsbedarfe eingegangen.

2. Charakterisierung und Eingrenzung des Zielbereichs der Arbeit

Dieses Kapitel hat den primären Zweck, den Zielbereich der vorliegenden Arbeit klar einzugrenzen. Die in dieser Arbeit verfolgte Zielstellung, den Handlungsbedarf bezüglich einer explizit auf den Kontext der Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule ausgerichteten Qualitätsorientierung herauszuarbeiten, sowie einen modulzentrierten Lösungsansatz zu deren methodischer Unterstützung zu entwickeln, besitzt vor allem im Anlagenbau große Relevanz. Diese Relevanz kann jedoch nicht generell vorausgesetzt werden, sondern setzt bestimmte system- und industriebezogene Charakteristika voraus.

Daher wird ausgehend von einer allgemeinen Einführung in den Anlagenbau (Teilkapitel 2.1) eine weitere Eingrenzung auf Basis der Erläuterung dieser Charakteristika vorgenommen (Teilkapitel 2.2). Die dabei herausgestellten Motivationstreiber eines modulzentrierten Ansatzes werden anhand folgender Perspektiven beleuchtet:

- *Voraussetzungen in der Systemarchitektur komplexer Anlagen für das Vorliegen multifunktionaler Kernmodule.*
- *Durch den Kontext des Wertschöpfungsnetzwerks beteiligter Stakeholder gegebene*
 - *Handlungsmöglichkeiten auf den unterschiedlichen systemhierarchischen Innovationsebenen eines System-OEMs, welche eine modulzentrierte Innovationsstrategie nahelegen;*
 - *heterogene Perspektiven und resultierende Eigenschaftsinteressen.*
- *Industrielle Randbedingungen, in denen eine hohe Qualitäts- und Sicherheitsrelevanz vergleichsweise hohen Veränderungshemmungen gegenüberstehen.*

Aus Veranschaulichungsgründen und zur besseren Nachvollziehbarkeit der einzuführenden Begriffe findet die folgende Eingrenzung anhand des konkreten Praxisbeispiels der Offshore-Bohrindustrie statt, anhand dessen im Rahmen dieser Arbeit ein durchgängiger Praxisbezug hergestellt wird. Die vergleichsweise ausführliche Einführung in die Beispielindustrie erfolgt aufgrund der hohen Komplexität und Vielschichtigkeit der Aspekte des Themenfelds bei gleichzeitigen vorauszusetzenden geringen Vorkenntnissen bei einem Großteil der Leser.

2.1 Grundlagen des Anlagenbaus

Begriff

Die Literatur nähert sich dem Begriff der Anlage beziehungsweise des Anlagenbaus aus verschiedenen Richtungen: (A) Definitivisch, (B) abgrenzend und (C) exemplarisch. Nach Definition (→ A) des VDMA [1976] ist eine Anlage „eine **Kombination** von einzelnen, in ihrer Funktion nicht selbständigen **Bauelementen** wie Maschinen, Apparaten, elektrischen Antrieben, Steuerungen und den verbindenden Elementen [...], die zusammen einen bestimmten Produktions- oder Arbeitsprozess [...] bewirken“. Ergänzend dazu beinhaltet die Anlagenverordnung des BStMUGV [2009], dass die „betrieblich verbundenen unselbständigen

Funktionseinheiten“, welche eine Anlage bilden, „**selbstständige und ortsfeste oder ortsfest benutzte Funktionseinheiten**“ darstellen, „*die nicht lediglich kurzzeitig oder an ständig wechselnden Orten eingesetzt werden*“. GAUSEMEIER ET AL. [2000] grenzen Hersteller von Maschinen und Anlagen (→ B) von 5 weiteren Unternehmensgruppen ab, nämlich von Herstellern von Aggregaten, von Elektrogeräten, von Produktionsmaschinen, von Kraftfahrzeugen sowie von Komponenten und Einzelteilen. Als Beispiele für Anlagen (→ C) werden Textil-, Verpackungs- und Nahrungsmittelmaschinen aber auch Schienenfahrzeuge, große stationäre Dieselmotoren und Druckmaschinen genannt [FÖRSTER 2003, S. 12].

Im deutschsprachigen Raum findet häufig der Begriff „Maschinen- und Anlagenbau“ Verwendung, ohne dass zwischen diesen beiden Teilbegriffen weiter differenziert wird. Teilweise findet innerhalb des Anlagenbaus eine weitere Abgrenzung **industrieller Großanlagen** statt, jedoch sind auch hier die Grenzen fließend. In den Bereich industrieller Großanlagen fallen beispielsweise Fabrikanlagen, Rohstoffgewinnungs-¹⁸ und Rohstoffverarbeitungsanlagen, energietechnische Anlagen (insbesondere Kraftwerke), Chemieanlagen oder Anlagen für die Holz verarbeitende Industrie [BACHTHALER 1986, S. 39; VDMA 2011, S. 4].

Charakteristika des Anlagenbaus

Produkte des Maschinen- und Anlagenbaus sind charakterisiert durch **lange Lebenszyklen** [MATEIKA 2005, S. 4] (und somit eine lange Verpflichtung, Ersatzteile zu liefern [FÖRSTER 2003, S. 15]), wobei ein Großteil der Lebenszykluskosten und -erlöse erst nach dem Verkauf einer Maschine entstehen [MATEIKA 2005, S. 2]. Anlagen stellen **Investitionsgüter**¹⁹ dar [FÖRSTER 2003, S. 15], die nach REINHART ET AL. [1996, S. 51] verglichen mit Konsumgütern geprägt sind durch **Einzel- und Kleinserien**. Im Allgemeinen liegt eine **hohe Entwicklungstiefe** vor sowie eine als **Werkstattfertigung** realisierte Herstellung [MATEIKA 2005, S. 16]. Aus den geringen Losgrößen – auch auf Ebene der Baugruppen, Module und Einzelteile [FÖRSTER 2003, S. 15] – resultiert eine begrenzte **Nutzung von Skaleneffekten**, wodurch dem Fixkostenanteil eine bedeutende Rolle für den ökonomischen Erfolg am Markt zufällt [MATEIKA 2005, S. 17]. Aus der resultierenden deutlich niedrigeren Entwicklungskapazität für eine Anlage gegenüber eines Serienprodukts folgt nach FÖRSTER [2003, S. 15 / 81] zwangsläufig eine starke Priorisierung der Erfüllung der vereinbarten Funktionen und der Termineinhaltung und sehr begrenzte Potenziale für Herstellkostenoptimierungen.

Einer **kleinen Anzahl potenzieller Kunden** stehen im Anlagenbau Kaufentscheidungen mit vergleichsweise **hohen Finanzvolumina** gegenüber [DANNER 1996, S. 39–40]. Laut FÖRSTER [2003, S. 15] stellen Produkte des Anlagen- und Maschinenbaus **komplexe Systeme** dar, die „*bei der Planung aus bestehenden Modulen/Baugruppen zusammengesetzt und mit auftragsspezifischen Konstruktionen zum Gesamtsystem komplettiert*“, und an deren Module oftmals **hohe technische Anforderungen** gestellt werden.

¹⁸ Hier ist das in dieser Arbeit herangezogene Anwendungsbeispiel komplexer Offshore-Bohranlagen anzusiedeln.

¹⁹ In Abgrenzung zu Konsumgütermärkten und nicht-erwerbswirtschaftlichen Institutionen (z. B. für die Erfüllung hoheitlicher oder gemeinnütziger Aufgaben) ist das wesentliche Ziel die entgeltliche, gewinnorientierte Leistungsvermarktung, wodurch die Nachfrage von Investitionsgütern dem Prinzip der **Rentabilität** unterliegt [BEREKOVEN ET AL. 2009, S. 303 f.].

Diese Faktoren sind typisch für sogenannte „**Variantenkonfigurierer**“²⁰, deren Markt durch kundenspezifische Lösungen mit nicht planbarer Endproduktvariantenanzahl charakterisiert ist. Trotz eines für diesen Unternehmenstypen nicht vollständig definierbaren Konfigurationsraumes [SCHUH 2012, S. 130 f.] ist ein modularer Aufbau der Leistung der Schlüssel, um über möglichst viele kundenanonym entwickelte Module und standardisierte Einzelleistungen eine für den Kunden wahrnehmbare Leistungsdifferenzierung bei gleichzeitiger Beschränkung der Variantenanzahl auf Modulebene zu erreichen. SCHUH [2005, S. 99 f.] stellt in diesem Zusammenhang fest, dass die strategischen Möglichkeiten der Positionierung im unternehmenstypologischen Spektrum bereits **durch Gestalt und Struktur der angebotenen Produkte stark eingegrenzt** sind, und insbesondere im Falle eines bereits etablierten Produktprogramms²¹ meist nur noch geringe Handlungsspielräume bestehen.

Der Anteil von Neuentwicklungen mit einem **hohen Innovationsgrad** ist im Maschinen- und Anlagenbau relativ gering, ebenso wie jener von **auftragsneutralen Produktentwicklungen**, in denen für den Markt unbekannte Problemlösungen entworfen werden [HEIDENREICH ET AL. 1997]. Stattdessen finden kontinuierliche Produktverbesserungen über kundenindividuelle Entwicklungsprojekte statt. Durch diese gezielte Verlagerung („*Postponement*“) von Entwicklungsumfängen in die **individuelle Auftragsabwicklung** resultiert eine bedarfsanstelle einer prognosegesteuerten Produktentwicklung, wodurch nach BAUMBERGER [2007, S. 151] **Effektivitätsvorteile** insbesondere im Vergleich zu variantenreichen Serienprodukten erschlossen werden sollen.

Durch die auftragsinitiierte, kundenindividuelle Erstellung der Systeme des Anlagenbaus liegt im Gegensatz zum Massenmarkt konsumorientierter Produkte **keine Kundenanonymität** vor [MATEIKA 2005, S. 14]. Dies ist zum einen im Rahmen bereits akquirierter Projekte relevant, in denen **Anforderungen** zu einem essenziellen Teil direkt **vom Kunden** kommen [BECKER-FLÜGEL 1998]. Zum anderen hat dies Auswirkungen auf die allgemeine **Markttransparenz**, die nach BEREKOVEN ET AL. [2009, S. 303–307] auch **a priori höher** ist gegenüber Konsumgütern: Aus der Identifizierbarkeit gewerblicher Nachfrager **über ihren Betriebszweck bzw. ihre Betriebsbezeichnung** resultiert nämlich eine prinzipielle Ableitbarkeit der wesentlichen Bedarfe der nachfragenden Unternehmen, was umso mehr gilt, je spezieller dabei der Betriebszweck ist. Des Weiteren wird die Markttransparenz durch die Möglichkeit der **Verhandelbarkeit** über Qualitäten (Merkmale), Preise, Lieferzeiten, Service und

²⁰ SCHUH [2005, S. 98 f.] unterscheidet unternehmenstypologisch zwischen Variantenkonfigurierern und Variantenoptimierern, wobei diese Zuordnungen Extrema eines kontinuierlichen Spektrums darstellen. „Variantenoptimierer“ stellen Produkte mit Seriencharakter her und können ihren Modellmix ganzheitlich auf Basis eines Konfigurationsraums mit eindeutig definierten Merkmalen und Ausprägungen planen. Abweichungen vom angebotenen Variantenspektrum können in der Folge nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand umgesetzt werden. Außerhalb dieses Spektrums wird das Bild von Individualprodukten vervollständigt, welche Einzelprodukte auf Basis von Kundenspezifikationen darstellen und daher nicht mehr in den Variantenkontext fallen [SCHUH 2012, S. 130 f.]. Sondermaschinen sowie bestimmte Industrieanlagen fallen unter diesen Typ, der im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht näher betrachtet wird, da diese sich schwerpunktmäßig mit dem Thema Modulentwicklung auseinandersetzt, welche das Vorliegen modularer System- bzw. Anlagenportfolios voraussetzt.

²¹ Die Alternativsituation stellt ein Unternehmen dar, das sich hinsichtlich einer neu anzubietenden Produktart im Aufbaustadium befindet.

Finanzierung, die bei Konsumgütern kaum gegeben ist, weiter erhöht und erreicht vor allem im Bereich der Auftragsfertigung innerhalb enger Märkte ein nahezu vollständiges Ausmaß. BEREKOVEN ET AL. [2009, S. 303–307] beschreiben aus Perspektive der Marktforschung die Folgen für die Markterhebung, die in Konsequenz nicht auf den quantitativ beschreibbaren Durchschnitt eines Marktsegments auf Basis von Masseninformationen abzielt, sondern auf eine möglichst vollständige, teilweise nur qualitative Erfassung aller Anforderungen eines Kunden im Rahmen von **Vollerhebungsmethoden** (z. B. halbstrukturierte Interviews, offene Fragen, Delphi-Methode). Hierbei tritt die statistische Repräsentanz zu Gunsten von (subjektiv geprägten) Einzelinformationen in den Hintergrund.

Projektierung im Anlagenbau

Im Rahmen der **Projektierung** erfolgt die grundlegende Systemdefinition. Auf Basis der Problemstellung des Kunden werden die durch die Anlage zu realisierenden Funktionen und/oder der vorliegende Anfangs- und Endzustand des Umsatzprodukts definiert [FÖRSTER 2003, S. 17]. Nach der Definition von TROPSCHUH [1988] beinhaltet die Projektierung alle Tätigkeiten, „*die im Zeitraum zwischen Kundenanfrage und Angebotsabgabe an den Kunden liegen*“.

Eine Besonderheit gegenüber massenproduzierten Konsumgütern stellt der **zeitliche Aspekt der Vertriebsaktivitäten** dar. Da diese der eigentlichen Erstellung vorausgehen, ist der Vermarktungsgegenstand des Vertriebs kein physisches Produkt, sondern Vertrauenseigenschaften beziehungsweise Problemlösungskompetenz [MATEIKA 2005, S. 15]. Diese wird auf Basis von Verkaufsreferenzen bei branchenintern angesehenen Firmen, sowie gegebenenfalls Mustermaschinen nachgewiesen, sofern es sich um Anlagen mittlerer Investitionshöhe handelt.

Bei der **Projektierung** neuer Systeme findet sich in der Praxis häufig die Vorgehensweise wieder, bereits existierende, in Funktionsumfang und Leistungsklasse **ähnliche Anlagen** zu variieren. Dabei wird durch den Vertrieb definiert, welche bestehenden Module in der Anlage zum Einsatz kommen, und welche kunden- und projektspezifischen Anpassungen und Konstruktionen durchgeführt werden müssen. Zusätzliche Treiber für das Zurückgreifen auf **Mustersysteme und -subsysteme** bestehen darin, dass die Projektierung häufig auf Basis von Anforderungen erfolgen muss, die noch nicht ausreichend detailliert vorliegen, und dieses Angebot unter großem Zeitdruck erstellt werden muss [FÖRSTER 2003, S. 87].

Viele Unternehmen des Anlagenbaus agieren unter diesen Randbedingungen in den frühen Phasen der Entwicklung immer noch mit kurzfristig vollzogenen und intuitiven Entscheidungen [MATEIKA 2005, S. 4]. Dabei werden häufig Funktionsmerkmale ohne ausreichende Überprüfbarkeit ihrer Realisierungschancen und -risiken vereinbart, woraus **hohe technische, zeitliche und wirtschaftliche Risiken** resultieren. Dies liegt auch daran, dass die Verkaufsverhandlungen aufgrund der in dieser Phase essenziellen Preisbedeutung häufig von kaufmännischen Experten durchgeführt werden, und das Wissen der Planungsexperten, welches nötig wäre, um die tatsächlichen lösungsbezogenen Auswirkungen verabredeter Beschaffenheiten einzuschätzen, nicht integriert wird [GEIGER & KOTTE 2008, S. 20]. Nachträglich erkannte Forderungen können so zu **unerwarteten Erfüllungspflichten** führen.

Eine **mangelnde Qualitätsorientierung** drückt sich auch darin aus, dass häufig von beiden Seiten unerkannt bleibt, dass bezüglich spezifischer Qualitätsmerkmale überzogene und gegebenenfalls nicht einmal zweckgerichtete Einzelforderungen des Auftraggebers akzeptiert werden, weswegen GEIGER & KOTTE [2008, S. 20] eine **angemessene Qualitätsrelevanz**, sowie ein **schrittweises Vorgehen** bei der Vereinbarung zu erfüllender Forderungen unter Hinzuziehung der jeweiligen Fachleute fordern.

Absicherung im Anlagenbau

Auch bezüglich der **Eigenschaftsabsicherung** resultieren aus der Einmaligkeit und Auftragsbezogenheit von Anlagen Besonderheiten. Im Vergleich zu Märkten der Massenproduktion, wo anhand von Vor- und Nullserien vor dem eigentlichen Produktionsstart das fertig entwickelte Produkt getestet und überprüft werden kann [SCHUH ET AL. 2008, S. 2], ist dies im Anlagenbau erst **nach der tatsächlichen Integration** möglich. Zur **Absicherung komplexer Anlagenmodule**, welche wiederverwendete Komponenten eines Modulportfolios darstellen und in Kleinserie gefertigt werden, kommen zwar teilweise Prototypen zum Einsatz. Deren Erprobung ist allerdings häufig nur in **stark vereinfachten Umgebungen und Anwendungsszenarien** möglich.

Teilfazit bezüglich der Notwendigkeit der weiteren Eingrenzung

Wie deutlich wird, beziehen sich die Aussagen aus der den Anlagenbau betreffenden Literatur meist auf die **Anlage oder das Gesamtsystem als Ganzes** und somit auch die Beschreibung der charakteristischen Aspekte der Akquisition, Entwicklung, Absicherung, Distribution und Kostenentstehung. Darüber hinaus finden sich viele **Pauschalaussagen**, welche eine Differenzierung nach Systemebenen und zugehörigen Entwicklungs- und Wertschöpfungskanälen der Unternehmen gänzlich vermissen lassen. Diese ist jedoch für die Diskussion von spezifischen Herausforderungen und Lösungsansätzen der Entwicklung auf **Modulebene** unabdingbar.

Gleichzeitig wird schon allein anhand der Bandbreite der in der Literatur genannten Beispiele deutlich, dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass die **Existenz multifunktionaler Kernmodule** in allen Bereichen des Anlagenbaus vorausgesetzt werden kann. Genauso wenig gilt dies für deren Bedeutung im Sinne des **zentralen Stellhebels für Innovationen** sowie für die strategische Relevanz des **Fokus auf die Qualitätsorientierung bei der Planung und Entwicklung solcher Module**. Die Frage nach der strategischen Priorität und den Gründen dafür erscheint jedoch umso wichtiger, berücksichtigt man die aufgrund der angesprochenen limitierten Skaleneffekte begrenzten Ressourcen für Querschnittsbereiche (z. B. Architekturgestaltung, Qualitätsmanagement), deren Effektivität von zahlreichen Aspekten abhängt wie der Komplexität der Anlagen, der Systemarchitektur, der Entwicklungsrahmenbedingungen und Vertriebsmechanismen. Daher erfolgt im Folgenden eine Konzentration der Betrachtung auf jene Industrien und Systeme, bei welchen die genannten Aspekte vorherrschend sind. Die zu letzteren führenden Charakteristika werden im nächsten Teilkapitel anhand des diese Arbeit leitenden Praxisbeispiels der Offshore-Bohrindustrie exemplarisch verdeutlicht.

2.2 Weitere Eingrenzung am Beispiel der Offshore-Bohrindustrie und ihrer Systeme

Im Folgenden wird – wie im vorigen Teilfazit argumentiert – der Zielbereich dieser Arbeit weiter eingegrenzt. Dies erfolgt anhand des konkreten Praxisbeispiels der Offshore-Bohrindustrie, wobei eine Auseinandersetzung mit den in der Einleitung dieses Kapitels dargelegten Perspektiven stattfindet. Anhand dieses praktisch-exemplarischen Bezugs werden einige der zentralen Begriffe dieser Arbeit eingeführt, sowie das dieser Arbeit zugrundeliegende modulzentrierte Systemverständnis veranschaulicht – eine theoretische Einordnung und Untermauerung der Begriffe und des Systemverständnisses erfolgt in Kapitel 3 aus Perspektive der Systemtechnik.

Das diesem Kapitel zugrunde liegende Wissen wurde im Rahmen der Bearbeitung der in Kapitel 1.3 erwähnten Forschungsk Kooperation mit einem führenden System-OEM der Offshore-Bohrindustrie akquiriert. Verglichen mit anderen Industrien wie zum Beispiel der Automobilindustrie oder auch des Anlagenbaus im Allgemeinen (vgl. voriges Teilkapitel) verfügt die Bohrindustrie über keinen nennenswerten Literaturkörper bezüglich übergreifender Zusammenhänge und Innovationsmodelle der Industrie. Die Fachliteratur konzentriert sich stark auf verfahrens- und technologiebezogene Fragen sowie auf die Rolle von Stakeholderkonstellationen und Geschäftsmodellen. Das im Rahmen des Projektes genutzte Fachvokabular war ausschließlich englischer Natur – zur Übersetzung für diese Arbeit wurde auf die deutschen Grundlagenwerke von BUJA [2011] und BAUER ET AL. [2014] zurückgegriffen, die jedoch ebenfalls einen inkonsistenten und durch Anglizismen geprägten Wortschatz offenbaren.

2.2.1 Multifunktionale Kernmodule als Charakteristikum des Anwendungsbereichs

Der Offshore-Bohrprozess

Das originäre Ziel der **Bohrindustrie** ist die Identifizierung sowie die technische Erschließung fossiler Rohstofflagerstätten, die der eigentlichen Förderung dieser Rohstoffe vorausgeht, sowie die Wartung, Erweiterung oder Modifikation bereits realisierter Installationen. Dafür werden sowohl ortsfeste als auch mobile, Bohranlagen eingesetzt, welche im Rahmen eines Bohrprojekts **unterschiedliche technische Prozesse** erfüllen müssen. Ein **Bohrprojekt** kann dabei unterschiedliche Umfänge haben, je nachdem, ob es sich beispielsweise um eine Aufschlussbohrung mit dem Ziel der Erlangung geologischer Kenntnisse handelt, oder um eine Produktionsbohrung.²² Projektumfang und Umfeldbedingungen des Einsatzorts setzen dabei unterschiedliche Anlagenfunktionalitäten und -eigenschaften voraus.

Abbildung 2-1 stellt stark verallgemeinernd und grobgranular einen typischen Offshore-Bohrprozess für eine Produktionsbohrung aus Sicht des zu realisierenden Ergebnisses dar (diese Perspektive repräsentiert den sogenannten **Downhole-Prozess**). Das **Bohren** (auch „Abteufen“) erfolgt grundsätzlich **sektionsweise** mit abnehmenden Durchmesser der Bohrmeißel.

²² Für eine ausführliche Übersicht und Beschreibung von Bohrungsarten sei auf BUJA [2011, S. 87 f.] sowie BAUER ET AL. [2014, S. 307] verwiesen.

Dem Bohren einer Sektion folgt dabei stets deren **Verrohrung** mittels sogenannter „Casings“ (auch „Rohrtouren“), was unter anderem der Stabilisierung des Bohrlochs, sowie der Vermeidung von Fluidkommunikationen zwischen benachbarten Gesteinsschichten dient. Das Verrohren einer Sektion wird durch das Einbringen von Zement in den Ringraum zwischen Bohrlochwand und Casing abgeschlossen („Zementation“). Nach den ersten ein oder zwei Sektionen werden der „BOP“²³ sowie der „Riser“²⁴ als zentrale temporäre Sekundärfunktionseinheiten installiert – das Bohren der weiteren Sektionen erfolgt durch Riser und BOP hindurch. Nach Zementation der letzten Sektion erfolgt die sogenannte Bohrlochkomplettierung²⁵.

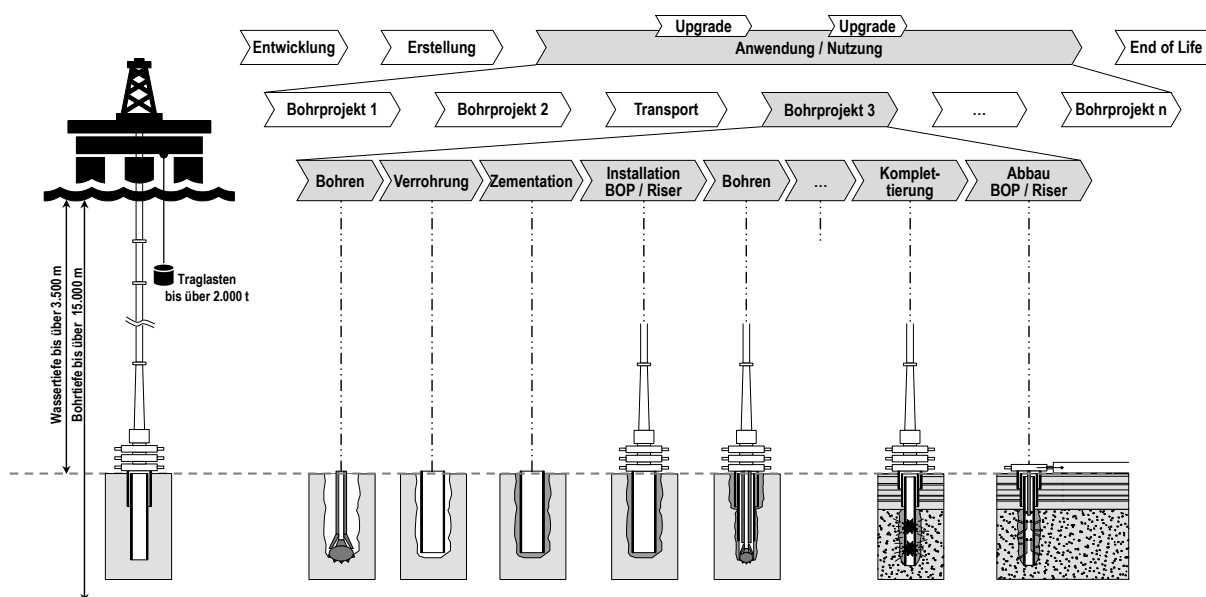


Abbildung 2-1: Prozessualer Ablauf eines exemplarischen Bohrprojekts (Produktionsbohrung) im Kontext des Lebenszyklus einer Bohranlage.²⁶

Zur Befähigung der Downhole-Prozesse finden auf der **Bohrplattform** selbst sogenannte **Topside-Prozesse** statt. Für den Prozess des eigentlichen Bohrens sind beispielsweise Kombinationen von Funktionen wie dem **Aufbringen des Drehmoments**, dem **Absenken des Bohrstrangs**, welcher die Verbindung des Bohrkopfs aus miteinander verschraubten

²³ Der „Blowout-Preventer“ stellt das zentrale Sicherheitsventil des Bohrlochs am Meeresgrund dar. Sein Versagen war Auslöser der Katastrophe der Plattform „Deepwater Horizon“ im Golf von Mexiko im Jahre 2010.

²⁴ Etablierter Begriff für das Steigrohr, das u. a. erforderlich ist für das flüssigkeitsbasierte Druckmanagement, sowie den Rücktransport der Bohrflüssigkeiten und des sog. „Bohrkleins“ (Aabraum) zur Plattform. Außerdem Träger wichtiger Kommunikations- und Sicherheitsfunktionen. Im Zuge der sukzessiven Montage der Riser-elemente wird der zuvor am untersten Ende des untersten Riserelements befestigte BOP herabgelassen.

²⁵ Die Komplettierung beinhaltet unter anderem die Perforierung des letzten Casings durch Einbringung und Zündung von Sprengstoff, das Installieren von Sieben und ggf. Pumpen, abschließende Reinigungsspülungen und das Installieren von Produktionsrohren,

²⁶ Technische Angaben: [MOON 2014]

Bohrstangen zur Bohranlage darstellt, sowie der **Steuerung von Flüssigkeitskreisläufen**²⁷ nötig. Da der Bohrstrang dabei stückweise um die jeweils gebohrte Teilstrecke verlängert werden muss, sind für die nachzuführenden und zu integrierenden Bohrstangen weitere **Lager-, Transport-, Füge-, Löse- und Testfunktionen** erforderlich. Für die anschließende Verrohrung sind auf der Topside-Ebene wiederum andere Funktionssequenzen nötig, wie das **momentenkontrollierte Verschrauben** der Casings, die **Druckprüfung** der hergestellten Verbindungen oder das **Bilden eines Hilfsstrangs** zum Herablassen des Casings. Analog sind für die übrigen Prozesse wiederum andere spezifische Topside-Funktionen nötig.²⁸

Neben den projektzielabhängigen technischen Prozessen und Funktionen sind die **geographischen Komponenten** des Bohrprojekts (Wasser- und Bohrtiefe, Wetterbedingungen, Gesetzgebung (Automatisierung, ...)) ausschlaggebend für die erforderlichen Eigenschaften des Systems. So determiniert die Wassertiefe beispielsweise die nötige **Traglast**, da mit dieser die Länge des zu installierenden Risers sowie die Abmessungen und Wandstärken des BOP steigen. Wasser- und Bohrtiefe sind außerdem entscheidend für die notwendigen **Lagerkapazitäten** auf der Plattform für Riser-elemente und Bohrstangen, deren Ausmaße und Verteilung wiederum die durch Transportprozesse zu überbrückenden Entfernungen und Wege zum sogenannten „Well Center“²⁹ determinieren.

Anlagen und Module der Offshore-Bohrindustrie

Diese sehr grobgranularen Erläuterungen des Offshore-Bohrprozesses und der Zusammenhänge mit den diesen befähigenden Topside-Prozessen sollen der besseren Nachvollziehbarkeit der im Folgenden hergeleiteten, charakteristischen Merkmale von Bohranlagen dienen, um diese innerhalb der allgemeinen Definition von (Groß-)anlagen aus dem vorigen Teilkapitel einzuordnen. Darüber hinaus werden zentrale Begriffe definiert, die der systemtechnischen Durchdringung des Beispiels dienen, und dadurch eine **Abstraktion des konkreten Problemfelds** ermöglichen, welche die Basis für die Eingrenzung des Zielbereichs dieser Arbeit bildet.

Wie gezeigt wurde, stellen Bohranlagen verfahrensbedingt **diskontinuierlich arbeitende Anlagen** dar, wodurch sie sich von kontinuierlich arbeitenden Anlagen unterscheiden wie z. B. Kraftwerken, Anlagen der Verfahrenstechnik oder Produktionsstraßen.

²⁷ Diese dienen unter anderem dem Abtransport des Bohrkleins, der Steuerung erforderlicher Druckverhältnisse im Bohrloch, der hydraulischen Aktuierung der Bohrkopfrichtung sowie dessen Kühlung und Schmierung oder auch der Bohrlochspülung.

²⁸ Durch den Wellenhub im Falle mobiler Offshore-Anlagen alterniert der Abstand zwischen der Plattform und dem Meeresgrund kontinuierlich. Da der Riser permanent in einem definierten Zugspannungsbereich gehalten werden muss und die im Bohrloch benötigten Funktionselemente (Bohrkopf, Messausrüstung, Installationswerkzeuge, etc.) bezüglich ihrer relativen Lage zum Bohrloch so ortsfest wie möglich gehalten werden müssen, um Zerstörungen zu vermeiden oder einen kontinuierlichen Bohrfortschritt zu erreichen, sind jeweils Funktionen zur permanenten Kompensation der Abstandsänderung für Bohrstrang und Steigrohr zu realisieren.

²⁹ Der englische Begriff „Well Centre“ ist international geläufig für die zentrale Öffnung der Bohrplattform, über der der Mast positioniert ist, in welchem der Hauptkran (Top-Drive) vertikal verfährt. Dabei sind auch Plattformen mit 2 Masten und 2 Well Centern nicht unüblich. Die Ebene direkt unter dem Masten, auf der der Großteil der Verschraubvorgänge stattfindet, ist die sog. Bohrbühne (engl. „Drillfloor“). Im strömungslosen Idealfall liegt das Well Centre coaxial über der Bohrlochachse (bei Vertikalbohrung).

Aus temporaler Sicht, welche im Rahmen effizienzbezogener Eigenschaften relevant ist (ein entsprechender Modellierungsansatz wurde von HERBERG & LINDEMANN [2012] vorgestellt), bietet sich die Betrachtung von Zyklen auf verschiedenen Ebenen an:

- Auf Makro-Ebene: **aufeinanderfolgende Bohrprojekte** einer Dauer von mehreren Monaten (ggf. unterbrochen durch Ortswechsel)
- Auf Meso-Ebene: auszuführende Sequenz teilweise zyklischer Downhole-Prozesse zur Durchführung **einer Bohrung**
- Auf Mikro-Ebene: Topside-Funktionsabfolgen und -zyklen, die zur Realisierung **einzelner Downhole-Prozesse** erfolgen, und je nach Systemarchitektur zumindest teilweise parallelisiert ablaufen können)

Diese Ebenen stehen im Zusammenhang mit verschiedenen Ebenen der Systemarchitektur³⁰. So wirkt beispielsweise für jeden **Downhole-Prozess** (Mikro-Ebene) eine definierte **Teilmenge der Module** des Bohrsystems **temporär** zusammen (vgl. Abbildung 2-2).³¹ Eine solche Teilmenge sei im weiteren Verlauf dieser Arbeit – in der sie eine zentrale Rolle spielen – **prozessbezogene Modulgruppe** genannt.³²

Grundlage der Systemarchitektur ist die **Konfiguration der Module des Bohrsystems**³³, die auf Basis eines gewählten „Rumpfdesigns“³⁴ erfolgt, wobei auftragspezifische Konstruktionen erforderlich sind. Darüber hinaus müssen weitere Teilsysteme, Gewerke sowie Lagerstätten für die Ge- und Verbrauchsstoffe integriert werden.³⁵ Historisch haben sich dabei – wie in vielen anderen Branchen des Anlagenbaus (vgl. Teilkapitel 2.1) – bestimmte Gesamtsystemarchitekturen mit im Wesentlichen (auch unternehmensübergreifend) angeglichen Konstruktionen [BUJA 2011, S. 119] herausgebildet, was gleichzeitig in der Verfestigung der zentralen Module hinsichtlich ihrer funktionalen Rolle sowie ihrer Schnittstellen mündet (vgl. Abbildung 2-3). Das Bohrsystem kann dabei nach der Kategorisierung von KOLLER [1998] als **gewachsenes Baukastensystem** vom Typ eines offenen Mischsystems aufgefasst werden. *Offen*, da die Konfigurationen auftragsbezogenen erfolgen und nicht auf Basis eines

³⁰ Zur systemtechnischen Herleitung des Architektur- bzw. Modulbegriffs vgl. Kapitel 3.2.1 bzw. 3.2.2.

³¹ In diesem Zusammenhang lässt sich die Definition sog. „Large Systems“ von SUH [1995] anwenden: *“A large number of functional requirements at the highest level of specification or at the problem definition stage, and not all of these functional requirements must be satisfied at the same time. Often, a subset of these functional requirements must be satisfied at any given time, and the elements of this subset change as a function of time.”*

³² In Kapitel 3.2 erfolgt eine systemtheoretische Herleitung dieses und weiterer, hier aus praktischer Sicht eingeführter Begriffe. Diese zeigt, dass abweichend vom hier im Vordergrund stehenden Prozessbezug auch andere Treiber vorliegen können. Beispielsweise können anstelle einer temporalen oder prozessualen Zusammenfassung von Modulen Modulgruppierungen hinsichtlich energetischer Versorgung oder Zugehörigkeit zu Sicherheitsklassen relevant sein.

³³ Menge der Teilsysteme und Module der Gesamtanlage, die am originären Hauptzweck der Anlage – dem Bohrprozess – beteiligt sind. Nicht Teil des Bohrsystems ist bspw. der Antrieb zur Ortsänderung der Plattform.

³⁴ Tragstruktur des Bohrsystems in Form einer schwimmenden Plattform oder eines Bohrschiffes.

³⁵ Obwohl das Bohrsystem nicht das „Produkt“ Anlage auf oberster Ebene darstellt, werden die Unternehmen, deren Aufgabe dessen Entwicklung und Herstellung ist, als OEMs bezeichnet, was darauf zurückzuführen ist das dieses System über die Erfüllung der originären Hauptfunktionen der Anlage deren konstituierendes Herzstück ist.

Bauprogramms mit definierter externer Varianz; *Mischsystem*, da sowohl standardisierte Bausteine, als auch anzupassende Bauteile verwendet werden. Dabei bestehen starke Kommunalitäten der Modulportfolios der einzelnen Anbieter.³⁶

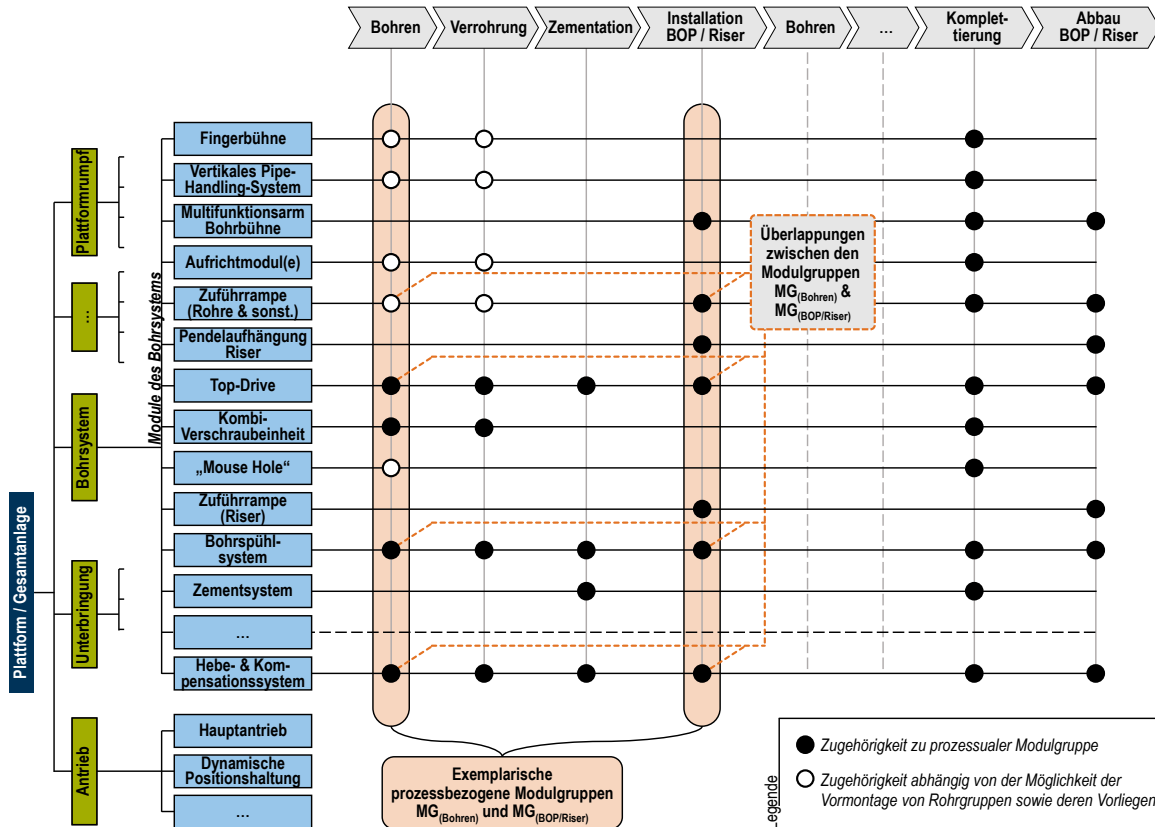


Abbildung 2-2: Veranschaulichung des Begriffs „prozessbezogener Modulgruppen“ (MG_p) anhand der Abhängigkeiten zwischen Bohrsystem und Downhole-Prozess (vereinfachte Darstellung)

Ein weiteres charakteristisches Merkmal von Systemen der Offshore-Bohrindustrie ist die extreme Abhängigkeit des Systemoutputs von äußeren Einflussfaktoren z. B. meteorologischer, geologischer oder menschlicher Natur, die zu einer großen Unsicherheit und nicht-deterministischen Planbarkeit führen [ALLAVERDI ET AL. 2013].³⁷ Die Adäquatheit der auf ein

³⁶ Bestehende Differenzierungen zu Portfolios von Wettbewerbern müssen häufig dadurch verwässert werden, dass – trotz der Überzeugung der eigenen Technologie – Modullösungen von Konkurrenzunternehmen adaptiert bzw. zusätzlich ins Portfolio aufgenommen werden müssen, da bestimmte Kunden von dessen Modulkonzept überzeugt sind (ggf. auch ausschließlich mit diesem Erfahrung sammeln konnten) und Auftragsvergaben auf Systemebene von der Verfügbarkeit einer solchen Teillösung abhängig machen.

³⁷ Diesem Aspekt wird die Definition von „komplexen industriellen Systemen“ von CLUZEL ET AL. [2012] gerecht, welche sich auf folgende fünf Charakteristika stützt: “(1) A large-scale system in terms of subsystems and components, mass and resource usage; (2) A system whose life cycle is hardly predictable at the design level in the long-term, in particular its lifetime, upgrades, maintenance and end-of-life; (3); A system whose subsystems may have different life cycles and different obsolescence times; (4) A system in close interaction with its environment (super system, geographic site...); (5) A system supervised by human decisions and management.”

System vereinigten Eigenschaften und deren Ausprägungsverteilung bezüglich der „erfolgreichen“ Durchführung eines Bohrprojekts lässt sich daher oft erst im Nachhinein beurteilen. Bei **instationären Systemen**, welche während ihrer Lebensdauer Ortswechsel vornehmen, ist dieser Unsicherheitsaspekt noch stärker ausgeprägt. Zudem sind in diesen Fällen zusätzliche Funktionen zur Mobilisierung und Einrichtung notwendig. Eng damit verknüpft, aber nicht beschränkt auf mobile Anlagen, ist die essenzielle Bedeutung **räumlicher und massebezogener Restriktionen**. Durch die gewählte Rumpflattform sind Traglast und Fläche für funktionale Einheiten (Module) und Lagerung von Gebrauchsmaterial (z. B. Bohrstangen) definiert. Darüber hinaus besteht zudem die verfahrensbedingte Notwendigkeit, dass die verschiedenen Topside-Prozesse zur Realisierung der Downhole-Prozesse zumindest teilweise innerhalb einer engen Zone um das Well Center (s. Fußnote ²⁹) herum stattfinden müssen, welche dadurch ein **geometrisches Nadelöhr** darstellt.

Als logische Folge sind **Überlappungen der prozessbezogenen Modulgruppen (MG_P)** unvermeidbar (vgl. Abbildung 2-2), wodurch vor allem in Zentrumsnähe Module entstehen, die notwendigerweise durch ihre Funktionen an mehreren, teilweise nahezu allen Topside-Prozessen (die die Hauptfunktionen der Anlage repräsentieren) mitwirken. Diese durch die Partizipation an mehreren überlappenden Modulgruppen entstehende Einbindungskomplexität stellt das **maßgebliche konstituierende Merkmal der Modulart her, die im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht, und für welche im weiteren Verlauf der Begriff „multifunktionale Kernmodule“** verwendet wird. Die *Multifunktionalität* beschränkt sich innerhalb dieser Definition nicht auf die Vielfalt von Funktionen, welche durch ein Modul (im Sinne dessen interner Funktionsstruktur) erfüllt werden, sondern umfasst gleichzeitig und insbesondere die Varietät übergeordneter (System-)Funktionen (oder auch technischer Prozesse), zu denen das Modul durch erstere beiträgt. Ein Beispiel für ein solches multifunktionales Kernmodul stellt der sogenannte Top-Drive dar, dessen Partizipation an unterschiedlichen MG_P aus Abbildung 2-2 ersichtlich ist. Die Weiterentwicklung dieses Moduls stellte den Kontext der Evaluation des in dieser Arbeit entwickelten Lösungsansatzes (Kapitel 7) dar.

Aus den verfahrensbedingt unvermeidlichen Überlappungen der MG_P und der in den Überlappungsbereichen angesiedelten multifunktionalen Kernmodule resultieren **weitere komplexitätssteigernde Aspekte**: Die Relationen der multifunktionalen Kernmodule zu anderen Modulen sind nicht statisch. Bei der Betrachtung verschiedener MG_P, an denen ein multifunktionales Kernmodul partizipiert, ändert sich nicht nur die Existenz von direkten Relationen zu anderen Modulen, sondern es können sich darüber hinaus die Relationsarten zu denselben verbundenen Modulen ändern (beispielsweise die Art übergebener Umsatzprodukte oder -medien). Durch die teilweise nötige und architekturabhängige Umrüstung von Modulen zwischen verschiedenen Topside-Prozessen ergeben sich zudem Änderungen hinsichtlich der Komponenten innerhalb eines Moduls selbst. Die dadurch induzierte **Dynamik auf Modul- sowie auf Systemebene** stellt neben der reinen Vielfalt und Vielzahl von Elementen und Relationen nach der Definition von ULRICH & PROBST [1995] ein wichtiges **Komplexitätskriterium** dar. Diese Vielschichtigkeit und Dynamik haben direkte Auswirkungen auf die Frage nach einem möglichst optimalen **Eigenschaftsgefüge** eines multifunktionalen Kernmoduls im Rahmen seiner Planung und Entwicklung. Je nach betrachtetem Prozess und zugehöriger MG_P ändern sich die **relevanten übergeordneten Eigenschaften**, zu denen das Modul mit seinen Eigenschaften beiträgt, sowie die relevanten

Eigenschaften anderer Module und Systembereiche, mit denen die Moduleigenschaften zusammenwirken und zu ebenjeneren höhergelegenen Eigenschaften aggregieren, woraus sich ein erhöhtes Potenzial für Zielkonflikte ergibt.³⁸

2.2.2 Ebenenabhängiger Systembezug in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken

Wertschöpfungsnetzwerke in Akquise-, Erstellungs- und Nutzungsphase

Die Zusammenhänge innerhalb der Wertschöpfungsnetzwerke zur Erschließung fossiler Energiequellen im Tiefseebereich haben einen essenziellen Einfluss auf die Handlungsmöglichkeiten und -limitationen der System-OEMs. Ein grober Überblick über die wichtigsten Stakeholder (SH) dieser Wertschöpfungsnetzwerke sowie deren Abhängigkeiten sollte mindestens unter der Differenzierung der Akquise- und Erstellungsphase sowie der Nutzungsphase erfolgen (Vgl. Tabelle 2-1):

Tabelle 2-1: Rollen und Hauptaktivitätsphasen der wichtigsten Stakeholder der betrachteten Beispielindustrie

| Stakeholder | Hauptaktivität in | | Anmerkungen Rolle |
|--|----------------------------------|---|---|
| | Projektierung & Systemerstellung | | |
| | Nutzungsphase | | |
| Betreiber / Bohrunternehmen ("Contractor") | ● | ● | > Anlagenbetreiber; Fällt Hauptentscheidungen bzgl. der Topside-Prozesse des Bohrprojekts > Besitzer* der Anlage > Hauptauftragnehmer des Energiekonzerns > Hauptauftraggeber der Werft* oder des System-OEMs |
| Bohrsystem-OEM | ● | | > Hauptauftragnehmer der Werft* oder des Betreibers > Wartungs- / Instandhaltungsdienstleistungen > Datenmanagement-Dienstleistungen |
| Schiffswerft | ● | | > Hauptauftragnehmer des Betreibers > Hauptauftraggeber des OEMs |
| Rumpfdesigner | ● | | > Lizenzgeber des Plattformrumpfdesigns |
| Zertifizierungsbehörden | ● | | > Sicherheitstechnische Abnahme der Anlage |
| Weitere Ausrüstungsanbieter ("3rd Party Equipment") | ● | | > Lieferung von Teilsystemen für Spezialprozesse > Lieferung nicht anlagenzweckbezogener Gewerke (z. B. Wohnbereich) |
| Energiekonzern ("Operator") | ○ | ● | > Als Besitzer der Bohrrechte Auftraggeber für eine Bohrdienstleistung (spätere Förderung, Raffinierung und Verkauf der erschlossenen Rohstoffe) > Fällt Hauptentscheidungen bezüglich der Downhole-Prozesse des Bohrprojekts |
| Neben- und Unterauftragnehmer ("3rd Party Services") | | ● | > Verantwortung für dedizierte Spezialprozesse (z. B. Herstellung und zertifizierte Druckprüfung kritischer Verschraubungen) |
| Lieferanten Ge- & Verbrauchsmaterialien | | ● | > Lieferung z. B. von Bohrköpfen, Bohrgestänge, Einhausungsrohren, Bohrschlammgrundstoffen |

(*unter Annahme der gängigsten Vertragskonstellation → in alternativen Konstellationen teilweise deutlich abweichend)

Neben den in Teilkapitel 2.2.1 genannten Anforderungen, die aus dem Umfang eines Bohrprojekts und den lokalen geografischen Bedingungen an eine Bohranlage resultieren und größtenteils objektivierbar sind, haben die konkrete Konstellation aus direkten **vertraglichen Relationen** zwischen den SH sowie die diesen zugrundeliegenden **Verpflichtungen und Abrechnungsmodelle** einen entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaftsinteressen der einzelnen SH bezüglich des technischen Systems. Erhält beispielsweise in der **Nutzungsphase**

³⁸ Die theoretischen Grundlagen bezüglich der Rolle von Eigenschaften in der Systemtechnik und im Entwicklungsprozess werden in Kapitel 3.3 „Eigenschaften von Systemen und Modulen“ behandelt.

– wie im gängigsten Abrechnungsmodell der Fall – der Betreiber eine pauschale Tagesrate solange die Anlage nicht durch ihn verschuldet stillsteht, ist dieser maßgeblich an Sicherheit und Zuverlässigkeit interessiert und weniger an Effizienzsteigerung. Dies steht im Kontrast zu den Interessen der Energiekonzerne, die in Zeiten eines Nachfrageüberschusses relativ zur im Markt verfügbaren Anlagenkapazität jedoch häufig zu dieser Vertragsart gezwungen sind. Parallel existieren anreizbasierte Vertragsformen, durch die angestrebt wird, die Interessensasymmetrie zu reduzieren. Diese basieren beispielsweise auf Belohnungen für einen Mindestbohrfortschritt pro Tag oder eine Mindestdurchschnittsdauer ausfallloser Zeitintervalle. Die Vereinbarung von Projektpauschalen zur schlüsselfertigen Übergabe ist lediglich im Onshore-Bereich üblich, da die Risiken im Offshore-Bereich im Allgemeinen für einen Betreiber zu hoch sind.

Häufig sind diese für die Anlagenakzeptanz wichtigen Details in der **Projektierungs- und Erstellungsphase** der Anlage noch nicht geklärt, oder den systemgestaltenden SH (insbesondere dem System-OEM und der Werft) nicht bekannt. Im heute vorherrschenden BFE-Modell („Builder Furnished Equipment“) zur projektbezogenen Umsetzung einer Systemneuentwicklung³⁹ ist der Betreiber direkter Kunde der Werft, der eine Integratorenrolle aller in dieser Phase beteiligten SH und ihrer spezifischen Teilsysteme und Gewerke zukommt [HOPE ET AL. 2012]. In dieser Konstellation ist der System-OEM durch die Werft beauftragt, wodurch ihm meist keine direkte Verbindung zum späteren Nutzer – dem Betreiber – zur Verfügung steht, um dessen genaue Interessen projektierungsbegleitend zu akquirieren [HOPE ET AL. 2012]. Die Werft ist dadurch in der Lage ihre spezifischen Interessen in den Vordergrund zu stellen, die hauptsächlich die Minimierung von Investitionen und Dockliegezeiten betreffen und weniger die eigentlichen Nutzungseigenschaften. Diese werden häufig nur auf einer sehr groben Ebene zwischen Werft und Betreiber vereinbart. Gleichwohl entbindet dies den OEM nicht von seiner Verantwortung, diese Eigenschaften möglichst genau zu antizipieren, da sie die Qualitätswahrnehmung der in der Nutzungsphase beteiligten SH entscheidend prägen und deren zukünftige Kaufentscheidungen beeinflussen, gegebenenfalls in einer anderen Projektkonstellation wie beispielsweise dem OFE-Modell (s. u.).

Konstellationen, in denen Werften – selbstiniiziert oder im Dienste völlig industriefremder Investoren oder gar Spekulanten – unbeauftragt eine Anlage erstellen, um diese erst später an Betreiber oder Energiekonzerne zu verkaufen, verstärken diesen Effekt für die OEMs. In Phasen knapper Anlagenverfügbarkeit wird außerdem vielfach auf Systeme zurückgegriffen, die **suboptimal oder gänzlich ungeeignet** sind für den vorgesehenen Einsatzkontext, wobei sich letzterer teilweise gar noch während der Systemerstellung ändert. Daraus resultieren **inakzeptable Effektivitäts- und Effizienzwerte**, die teure Upgrades gar vor dem ersten Einsatz erfordern können. Trotz des allgemeinen Bewusstseins dieser Mechanismen innerhalb der Branche bleiben vielfach **Negativassoziationen bezüglich der Fähigkeiten des systemliefernden OEMs** zurück [ALLAVERDI ET AL. 2014].

Wesentlich direkteren Einfluss auf Systemanforderungen und OEM-Auswahl nimmt der Betreiber im sogenannten OFE-Modell („Owner Furnished Equipment“), das nach wie vor

³⁹ Der Teilbegriff „Neuentwicklung“ enthält in diesem Zusammenhang keinen Bezug zum innovationsbezogenen Neuheitsgrad, sondern ist als Abgrenzung zu Upgrades, Überholungen und Rezertifizierungen zu sehen.

stark vertreten ist [HOPE ET AL. 2012]. In diesem Modell koordiniert der Betreiber selbst die Projektierung und Integration, was ihm einerseits mehr Einfluss auf die Systemeigenschaften gibt, von vielen Betreibern jedoch als eher lästiges Engagement außerhalb ihrer Kernkompetenz angesehen wird (vgl. BFE-Trend). Die Art der Einflussnahme kann dann jedoch bis hin zur **Auswahl konkreter Module** gehen, mit denen gute Erfahrungen verbunden werden oder denen aufgrund guter Erfahrungen mit anderen Modulen eines OEMs Vertrauen geschenkt wird.

Die Koexistenz weniger aber stark unterschiedlicher struktureller SH-Konstellationen stellt eine immense Herausforderung für die OEMs dar, da sie zur Sicherstellung der Gewinngenerierung und Ressourcenauslastung auf Aufträge in sämtlichen Konstellationen angewiesen sind. Insgesamt führt ein stark ausgeprägtes **opportunistisches Verhalten** der beteiligten SH – sowohl während Projektierung und Erstellung, als auch nutzungsbegleitend – zu essenziellen Einbußen der übergeordneten Effizienz und Gesamtwirtschaftlichkeit⁴⁰ von Wertschöpfungssystemen dieser Art.⁴¹

Für die System-OEMs resultiert daraus ein **Dilemma** aus der Bedienung der Interessen des direkten Kunden innerhalb der spezifischen Konstellation eines Projektes und gleichzeitiger Minimierung des Risikos, Negativerfahrungen und Vertrauensverlust bei den übrigen wichtigen SH zu generieren, und damit deren Kaufentscheidungen in Folgeprojekten (innerhalb gegebenenfalls abweichender Konstellationsform) negativ zu beeinflussen. Solche heterogenen und vielschichtigen industriellen Kontexte führen zu einer **hohen Komplexität und Multidimensionalität der Qualitätsbeurteilung des Angebots eines OEMs**. Diese Komplexität zu beherrschen erfordert **spezifische Maßnahmen der Transparenzschaffung in der Planung und Entwicklung** sowohl von Gesamtsystemen als auch der zentralen **Kernmodule**, welche eine Schlüsselrolle für die wahrgenommene Qualität und Innovativität der OEMs spielen.

Hemmfaktoren innovationsbezogener Handlungsfähigkeit von OEMs auf Systemebene

Die systemhierarchische Innovationsebene der Gesamtsystementwicklung der Offshore-Bohrindustrie ist durch die im Folgenden beschriebenen Zusammenhänge geprägt, welche sich auf Sach-, Handlungs- und Zielsystem⁴² beziehen und sich von jenen der Modulentwicklung stark unterscheiden (s. u.). Trotz bekannter und von Kundenseite beklagter Schwächen und

⁴⁰ Nur sehr langsam setzt sich in der hier betrachteten Industrie die Erkenntnis durch, dass für Verbesserungen auf Gesamtwirtschaftlichkeitsebene kollaborative, ganzheitliche Systemanalysen (inkl. der Auswirkungen von Vertragsrelationen im Wertschöpfungsnetzwerk) und eine integrierte Gestaltung der technischen Anlagen und Vertragssysteme nötig sind.

⁴¹ In der vom Autor dieser Dissertation angeleiteten Diplomarbeit [MÜNCH 2013] findet eine ausführliche Auseinandersetzung mit den spezifischen Interessens- und Beziehungsebenen der Offshore-Bohrindustrie statt, sowie deren Analyse im Kontext der betriebswirtschaftlichen Theorien der Neuen Institutionenökonomik (mit ihren Kernelementen Principal-Agent-Theorie, Transaktionskostentheorie und Property-Rights-Theorie), der Stakeholder Theorie sowie der Kooperationstheorie. Grundlagen zu diesem Themenfeld finden sich außerdem in PETERMANN [2011, S. 20–27].

⁴² Vgl. Kapitel 3.1.3 und 3.1.4 zu den Systemarten der Systemtechnik.

ungenutzter Optimierungspotenziale – unter anderem eine Folge des angesprochenen opportunistischen Stakeholderverhaltens – der evolutiv gewachsenen und heute stark verfestigten Architekturen, sehen sich die **OEMs starken Hemmfaktoren** gegenüber, diesen Status Quo durch weitreichende **Systeminnovationen** überwinden zu können. Stattdessen erfolgen **inkrementelle Weiterentwicklungen auf Basis der etablierten Architekturen** im Rahmen auftragsinduzierter Projekte. Abbildung 2-3 (links) zeigt einen stark vereinfachten Zusammenhang der wichtigsten externen und internen Hemmfaktoren:

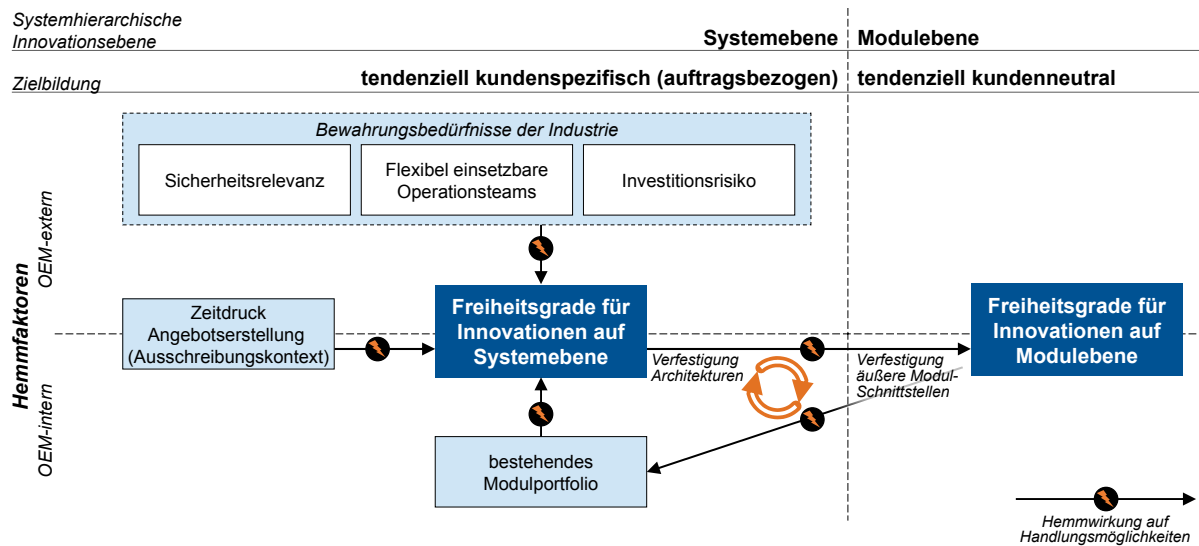


Abbildung 2-3: Zusammenspiel von Hemmfaktoren und Verstärkung des Status Quo

Einerseits befinden sich die SH der Nutzungsphase selbst in einem Zwiespalt, da die Bewahrung des Status Quo viele Vorteile mit sich bringt. So ist eine konservative Haltung gegenüber Änderungen durch eine bedingungslose **Sicherheitsabhängigkeit** der gesamten Industrie geprägt.⁴³ Die ohnehin immensen **Investitionshöhen und -risiken** werden darauf konzentriert, die Hauptfunktionalität im Kontext stets extremer werdender **Umgebungsbedingungen** (Wasser- / Bohrtiefen, meteorologische und geologische Bedingungen) unter Wahrung erreichter Sicherheits- und Effizienzniveaus der Systeme sicherzustellen, möglichst auch unter Beibehaltung bewährter Lösungsprinzipien.⁴⁴ Wirkliche Basisinnovationen, durch welche nach PLESCHAK & SABISCH [1996, S. 4] auf gänzlich neue Aufgabenstellungen und Probleme mit neuen Lösungsprinzipien reagiert wird, sind aufgrund

⁴³ Unfälle können zu immensen Umweltbeeinträchtigungen führen und – neben erheblichen Geldstrafen – Bohr- und Förderstopps in weiten Gebieten, und damit beträchtliche Gewinneinbußen für alle beteiligten Stakeholder zur Folge haben.

⁴⁴ Bezüglich des Klassifikationsmerkmals „Neuheitsgrad“ fallen Innovationen dieser Art nach PLESCHAK & SABISCH [1996, S. 4] in den Bereich der Anpassungsinnovationen.

der Reife der betrachteten Industrien quasi inexistent und auch nicht gefordert.⁴⁵ Letztlich stellt die **flexible Einsetzbarkeit des Betriebspersonals** auf möglichst vielen Anlagen ohne zu große, schulungsbedingt verursachte Kosten und Verzögerungen einen essenziellen Wirtschaftlichkeitsaspekt dar, welchem eine hohe Anlagendiversität entgegensteht. Die Notwendigkeit des Aufbaus auf bestehenden und bewährten Architekturen ist jedoch auch OEM-intern begründet. Im Rahmen von – vor allem im Zusammenhang mit staatlichen Energiekonzernen gesetzlich vorgeschriebenen **Ausschreibungsverfahren** – muss innerhalb kürzester Zeit durch Vorlage eines Angebots im Wettbewerb zu Konkurrenzunternehmen reagiert werden. Darüber hinaus ist die Bereitschaft für Architekturveränderungen auf Gesamtsystemebene gehemmt durch die **Existenz eines bestehenden Portfolios etablierter Module**. Deren Eignung als Konfigurationsbaustein wäre durch solche Innovationen – diese erfordern die Infragestellung der gesamten bestehenden Modulstruktur, mindestens jedoch die schnittstellenübergreifende Veränderung mehrerer Module (vgl. Kapitel 3.4.2) – gefährdet, gleichzeitig setzt ihre Entwicklungsrentabilität jedoch ihre Mehrfachverwendung voraus (insbesondere bei hochkomplexen Modulen). Folge der durch die beschriebenen Faktoren verfestigten Architekturen ist eine parallele Verfestigung der Module hinsichtlich ihrer funktionalen Rolle sowie ihrer schnittstellenbezogenen Einbettung in die Systeme, woraus insgesamt der in Abbildung 2-3 dargestellte selbstverstärkende Kreisschluss resultiert, der als Kontinuitätstreiber des beschriebenen Trends wirkt.

Rolle der Modulebene für die Innovationsfähigkeit von OEMs

Der Strategische Stellenwert der Modulebene ergibt sich vor allem aus ihrer Betrachtung in Relation zu den Limitationen der Handlungsmöglichkeiten auf Systemebene. Zu der aufgrund oben angeführter Hemmfaktoren marktseitigen Trägheit, weitreichende Systemveränderungen einzufordern und anzustoßen, kommt die sich für OEMs darstellende Alternativlosigkeit zur **kundenspezifischen Zielbildung**⁴⁶ im Rahmen von Entwicklungsprojekten auf Systemebene. Selbst initiierte und strategisch ausgerichtete Entwicklungsanstrengungen für OEMs stehen hier allein durch die damit verbundenen hohen Finanzvolumina außer Frage, da immensen Investitionen bei einem Scheitern keinerlei Einnahmen gegenüber stünden. Auf Systemebene ansetzende Innovation hängt daher gänzlich von der – **stark gehemmten** – Triebfeder kundeninitiierten Projekte ab.

⁴⁵ Da die Hauptfunktionen der Anlagen reifer Industrien und damit auch deren Hauptproblemstellung keine Betrachtungsvariable darstellen, beschränkt sich die Möglichkeit außerdem auf die diese befähigenden Funktionen und damit einhergehenden Problemstellungen. Auch diese sind jedoch durch die etablierten Verfahren häufig faktisch konstant. Im betrachteten Kontext ist theoretisch vorstellbar, dass das Bohren mittels Wasserdruck erfolgt oder Horizontalsektionen durch miniaturisierte, autarke Tunnelbohrmaschinen bearbeitet werden – beides ist aus heutiger Sicht der Industrie jedoch praktisch unvorstellbar.

⁴⁶ Nach [GERST 2002, S. 45 ff.] ist zur Sicherung sowohl aktueller als auch langfristiger Produktivität jedoch sowohl kundenspezifische als auch kundenneutrale Zielbildung erforderlich. Mittelpunkt der **kundenspezifischen Zielbildung** ist die Produktentscheidung des Kunden mit dem damit verbundenen Auftrag. Sie steht im direkten Zusammenhang mit dem kurz- und mittelfristigen Unternehmensumsatz. Von zentraler Bedeutung für die langfristige Sicherung des Unternehmenswachstums hingegen ist die **kundenneutrale Zielbildung** im Rahmen strategischer Produktentscheidungen des eigenen Unternehmens.

Als logische Folge dieser Konstellation fällt der **auftragsunabhängigen, im Allgemeinen auf kundenneutraler Zielbildung basierten Modulentwicklung** die zentrale Rolle zu, über sie die Sicherung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit proaktiv zu gestalten – unabhängig davon, ob dieser strategisch erkannt und durch eine klare Ausrichtung genutzt wird (wo der Lösungsansatz dieser Arbeit ansetzt) oder als Weg des geringsten Widerstandes implizit gegangen wird. Hinzu kommt die Hebelwirkung von Modulentwicklungen im Sinne von Skaleneffekten, da die Module in mehreren, teilweise sehr unterschiedlichen Gesamtsystemen, sowohl in Neuprojekten, als auch im Rahmen von Upgrades, eingesetzt werden.

Die hiermit hergeleitete **Relevanz der systemhierarchischen Innovationsebene von Modulentwicklungen** für System-OEMs des betrachteten Anwendungsbereichs einerseits, sowie die oben dargestellte Schlüsselrolle **multifunktionaler Kernmodule** andererseits repräsentieren das Fundament der Motivation, gezielt in diesem Bereich den methodischen Unterstützungsbedarf der Planung und Entwicklung zu untersuchen und durch geeignete Lösungsansätze zu adressieren. Die Schlüsselrolle multifunktionaler Kernmodule resultiert dabei aus verschiedenen Aspekten, die hier nochmals resümiert werden:

- Die Zugehörigkeit zu mehreren Modulgruppen und folglich die Partizipation an mehreren Hauptfunktionen des Gesamtsystems und die daraus resultierende zentrale Bedeutung für die Systeme
- Die mit dieser hohen Einbindungskomplexität verbundene Beeinflussung der Gesamtsystemeigenschaften durch die Moduleigenschaften auf diversen Aggregationspfaden
- Die im allgemeinen daraus resultierende hohe interne Komplexität multifunktionaler Kernmodule, sowie die damit verbundenen hohen Entwicklungs- und Herstellkosten
- Die multiplikativen Effekte durch den Einsatz in verschiedenen Gesamtsystemarchitekturen sowie durch die Heterogenität der Wahrnehmungsperspektiven innerhalb variierender Wertschöpfungsnetzwerke

Die Herausforderungen dieser Aspekte liegen insbesondere in der Transparenzschaffung dieser Zusammenhänge, um das Risiko unerwünschter Effekte, verschwendungsinduzierende Eigenschaftsübererfüllungen oder falscher Schwerpunktsetzungen zu minimieren. Die diesbezügliche Beherrschung der im Rahmen von Modulentwicklungsprojekten generierten Eigenschaftsgefüge – insbesondere auch hinsichtlich der in den Übersystemen der Kernmodule beeinflussten und wahrgenommenen Eigenschaften – sind dabei in den Bereich der **Qualitätsorientierung** einzuordnen. **Der Fokus hinsichtlich der Erarbeitung des methodischen Unterstützungsbedarfs sowie des Lösungsansatzes wird folglich auf die qualitätsorientierte Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule gelegt.**

2.3 Teilfazit

Ausgehend von einer allgemeinen Einführung in den Anlagenbau wurde in diesem Teilkapitel der **Zielbereich dieser Arbeit auf Industrien eingegrenzt, deren Systeme multifunktionale Kernmodule aufweisen, und für deren System-OEMs die Weiterentwicklung derselben einen essenziellen Stellhebel zur Sicherstellung ihrer Wettbewerbsfähigkeit und Innovativität darstellt.** Die Bedeutung dieser systemhierarchischen Innovationsebene ergibt sich dabei einerseits aus der der Modulebene vorbehaltenen **kundenneutralen Zielbildung** sowie andererseits aus innerhalb etablierter Wertschöpfungsnetzwerke häufig vorliegender,

industriespezifisch unterschiedlich gelagerter Limitationen durch marktseitig und unternehmensintern vorhandene Hemmfaktoren hinsichtlich des durch die Systementwicklung gebotenen Handlungsspielraums.

Die Fokussierung multifunktionaler Kernmodule ist in der **besonderen Komplexität** dieser Module begründet, welche sich folglich in den Anforderungen und Merkmalen des Lösungsansatzes niederschlägt. Trotz theoretischer Anwendbarkeit auch für Module geringer Einbindungskomplexität, wäre jedoch von einer anzunehmenden Überdimensionierung einer unterstützenden Methodik sowie einer inadäquaten Schwerpunktsetzung und dadurch von einem schlechten Aufwand-Nutzen-Verhältnis auszugehen. Eine a priori festgelegte Fokussierung hingegen ermöglicht eine auf den Zielbereich konzentrierte Analyse der Problemstellung, eine zielgerichtete Unterstützungsentwicklung sowie eine effiziente Anwendung des zu entwickelnden Lösungsansatzes im Zielbereich.

Weiter wurde die besondere Bedeutung der **Transparenzschaffung** (inklusive der spezifisch relevanten Ebenen) bei der Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule aufgezeigt, woraus sich der Fokus auf die **Qualitätsorientierung** im Rahmen der tieferen Untersuchung des Handlungsbedarfs sowie der Entwicklung des Lösungsansatzes motiviert.

Die Einnahme einer **konsequent modulzentrierten Perspektive** erfolgt in dem klaren Bewusstsein, dass dabei keine Kongruenz zum theoretischen Ideal der Top-Down-Systementwicklung besteht (vgl. Teilfazits des folgenden Kapitels, sowie Kapitel 5). Letztere setzt grundsätzlich auf Gesamtsystemebene an und geht von einer holistischen Problemanalyse, sowie einem Synthesevorgehen aus, basierend auf einer problemorientierten Systemdekomposition ausgehend von dieser Ebene. Problemlöseverfahren, die diese Prämissen nicht ins Zentrum des Handelns stellen, werden häufig hinsichtlich ihres Innovationspotenzials und der Nachhaltigkeit möglicher Problemlösungen kritisiert (z. B. [HABERFELLNER ET AL. 2012]). Dies muss als einer der Gründe dafür angesehen werden, dass entsprechende Vorgehen in Forschung und Wissenschaft ein Schattendasein fristen. Wie die Ausführungen dieses Kapitels gezeigt haben, existieren jedoch gerade in etablierten Industrien⁴⁷ vielfach industrieinhärente Barrieren – in Form verfestigter Strukturen der technischen Systeme, der Marktzyklen sowie der Akteursnetzwerke – welche **einem dem theoretischen Ideal entsprechenden Vorgehen entgegenstehen**. Daher wird es als überfällig angesehen, durch eine systemtechnische Auseinandersetzung mit alternativen, hoch praxisrelevanten Perspektiven – im vorliegenden Fall mit der modulzentrierten Perspektive – einen Beitrag zur Schließung dieser Lücke zu leisten.

Zuletzt soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass durch die Eingrenzung des Zielbereichs – vom Anlagenbau her kommend – zunächst die Absicht verfolgt wird, Problemverständnis und Lösungsentwicklung möglichst zielgerichtet zu erarbeiten. Dennoch wurde auf eine gewisse kategorisierende Abstraktion bei der Beschreibung der Charakteristika des Zielbereichs Wert gelegt, um **Anknüpfungspunkte** zur Übertragung des Lösungsansatzes in die Modulplanung- und Entwicklung **weiterer Anwendungsbereiche außerhalb des Anlagenbaus** zu bieten. Diese werden in der Reflexion dieser Arbeit (Kapitel 8) wieder aufgegriffen.

⁴⁷ Aus der Etabliertheit der betrachteten Industrien kann dabei keinesfalls abgeleitet werden, dass nicht dennoch zahlreiche Schwachstellen und ungenutzte Verbesserungspotenziale vorliegen, und diese auch bekannt sind.

3. Die Rolle des Moduls in der Systemtechnik

Um ergründen zu können, worin genau die Konsistenzdefizite bestehender, systemtechnisch fundierter Theorien, Vorgehensweisen und Modelle hinsichtlich der Auffassung von Modulen als zentrale Entwicklungsgegenstände begründet sind (vgl. zweite Eingangshypothese, Abbildung 1-1), wird in diesem Kapitel der diesbezügliche Stand der Technik erfasst und beschrieben. Dabei steht die Rolle und Auffassung von Modulen innerhalb der untersuchten Felder im Fokus, sowie die Berücksichtigung einer explizit modulzentrierten Perspektive. Auch die Potenziale und Ansatzpunkte, eine solche einzunehmen, werden dabei analysiert.

Nachdem in Teilkapitel 3.1 die Grundlagen der Systemtechnik hergeleitet werden, widmet sich Teilkapitel 3.2 dem Feld der Architektur und den Kernkonzepten der Modularität. In diesem Kontext wird die Definition des zentralen Begriffs „multifunktionales Kernmodul“, der im vorigen Kapitel bereits praktisch-exemplarisch hergeleitet wurde, theoretisch hinterlegt. Theorien und Modelle, bei denen Eigenschaften im Zentrum des Interesses stehen, werden in Teilkapitel 3.3 adressiert, wobei auch hier der Frage der systemhierarchischen Differenzierung von Eigenschaftsträgern nachgegangen wird, und welche Zusammenhänge zu anderen Klassifikationsschemata bestehen. Durch die systemtechnische Auseinandersetzung mit Eigenschaften werden zudem wichtige Grundlagen für Kapitel 4 erarbeitet, das sich der Qualitätsorientierung mit Eigenschaften als wichtigem definitorischem Element widmet.

Während in Teilkapitel 3.4 eine Annäherung an das Modul als Betrachtungsgegenstand im Innovationskontext stattfindet, stehen in 3.5 Vorgehensmodelle des Systems Engineerings und der Konstruktionsmethodik im Vordergrund. Dabei wird herausgearbeitet, dass insbesondere in der Prozessperspektive eine sehr einseitige Auffassung des Moduls als Dekompositionsergebnis – ausgehend von einem Gesamtsystem als Entwicklungsgegenstand – dominiert, worin der Keim des in dieser Arbeit adressierten Defizits liegt.

3.1 Systemtechnische Grundlagen

3.1.1 Systembegriff

PATZAK [1982, S. 19] definiert den **Systembegriff** als „Menge von Komponenten, welche Eigenschaften besitzen und durch Beziehungen miteinander zur Verfolgung gesetzter Ziele verknüpft sind“. LINDEMANN ET AL. [2009, S. 23] betonen die Voraussetzung der Kompatibilität der Komponenten, sowie die Struktur des Systems infolge der Komponentenbeziehungen als wichtige Systemeigenschaft. Sie fassen zudem aus weiteren Definitionen zusammen, dass ein System durch seine Systemgrenze von der Umgebung abgegrenzt wird und mit dieser durch Ein- und Ausgangsgrößen in Beziehung steht.

Komponenten können als Teilsysteme übergeordneter Systeme, wie auch als Ausgangspunkt einer weiteren Aufgliederung in Teilsysteme angesehen werden [EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 23]. Auf Basis dieser **vertikalen Relationen** [SIMON 1977] entsteht die **Aufbaustruktur** des Systems [PATZAK 1982, S. 40]. Die Stufenweise Auflösung eines Systems

macht sich das systemhierarchische Denken zunutze, das es erlaubt, den Detaillierungsgrad der Systembetrachtung dem Betrachtungszweck anzupassen, oder auch zwischen Grob- und Feinbetrachtungen hin- und herzuspringen [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 46].

Mit fortschreitender Dekomposition steigt auch der Detaillierungsgrad der **Ablaufstruktur** des Systems, welche die zeitlich / logische Anordnung der Komponenten zur Zweckerfüllung repräsentiert [PATZAK 1982, S. 40]. Sie entsteht durch die **horizontalen Relationen** [SIMON 1977] zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen der einzelnen Komponenten, welche deren jeweilige Funktion charakterisieren [EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 24].

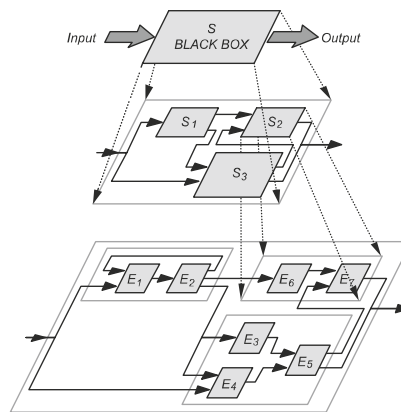


Abbildung 3-1: Systemstruktur in unterschiedlicher hierarchischer Detaillierung (nach EHRENSPIEL & MEERKAMM [2013, S. 23])

In ähnlicher Weise differenziert ROPOHL [2009, S. 75 ff.] drei Aspekte des Systembegriffs:

- das **strukturelle Systemkonzept**, das das System als Ganzheit miteinander verknüpfter Elemente auffasst, wobei die holistische Bedeutung der Ganzheit betont wird, nach der das System mehr als die Summe seiner Teile ist. Verschiedene mögliche Relationsgeflechte rufen verschiedene Systemeigenschaften hervor. Von der Beschaffenheit der Elemente hängt die „integrale Qualität“ ab, also wie gut sich ein System integrieren lässt.
- das **funktionale Systemkonzept** konzentriert sich auf das Verhalten des Systems als Black-Box und blendet dessen materielle Konkretisierung und inneren Aufbau aus.
- das **hierarchische Systemkonzept**, das es ermöglicht, Systemelemente selbst als Systeme beziehungsweise ein System als Element eines umfassenderen Systems aufzufassen, und damit gewissermaßen als Rekursion des strukturalen Konzepts gedeutet werden kann. Eine Abwärtsbewegung in der Hierarchie fördert detailliertere Erkenntnisse über das System während eine Aufwärtsbewegung das Verständnis seiner Bedeutung fördert. Diese Erkenntnisstrategien sind zentral für das Systemdenken, das im folgenden Abschnitt adressiert wird.

3.1.2 Systemdenken

Das systemhierarchische Denken ermöglicht nach HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 47] zwei prinzipielle **Denkrichtungen**: Untersystembetrachtung (ausgehend vom Element nach unten)

und Übersystembetrachtung (ausgehend vom Element nach oben). Bei der **Untersystembetrachtung** geht es um die Zusammensetzung eines betrachteten Systems, Untersystems, etc., wobei die Komponenten jedes Auflösungsgrads wiederum selbst unter den Gesichtspunkten ihrer Struktur, ihrer Wirkung und ihrer Umgebung betrachtet werden können. Im Rahmen der **Übersystembetrachtung** werden Fragen der Zugehörigkeit einer Komponente zu einem oder verschiedenen Systemen betrachtet und größere Zusammenhänge untersucht. Ziel sei hierbei häufig die Identifikation der geeigneten Einstiegsebene für die Systemanalyse.

Die systemhierarchische Betrachtungsweise erlaubt gewissermaßen die Einstellung des Auflösungsgrads, mit dem ein System für einen bestimmten Zweck untersucht oder dargestellt wird. Dieser Zweck kann wiederum abhängig sein vom Beobachter, seinen Interessen und Zuständigkeiten [ISO/IEC 15288:2008, S. 7 f.]. Dabei kann das **Zielsystem** eines Beobachters *A*, **Element des Zielsystems** von Beobachter *B* und zugleich **Teil der Einsatzumgebung des Zielsystems** von Beobachter *C* sein. Analog besteht eine weitere Perspektive des Systemdenkens darin, bestimmte Aspekte oder Eigenschaften in den Vordergrund zu stellen oder zu vernachlässigen, ähnlich einem Filter [DAENZER 1989, S. 18]. HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 39] sprechen bezüglich der Systemhierarchie von „Untersystemen“ zunehmender Ordnung⁴⁸ und hinsichtlich spezifisch betrachteter Aspekte von „Systemtypen“. DAENZER [1989, S. 19] weist darauf hin, dass diese Sichtweisen sich nicht ausschließen, sondern sich gegenseitig ergänzen.

LINDEMANN [2009, S. 15] beschreibt das Systemdenken als wesentliches Element im Umgang mit der Komplexität von Produkten und Prozessen, das auf ganzheitlichem Denken in Wirkzusammenhängen beruht und bei dem die Verwendung von Modellen und anderen Strukturierungshilfen typisch ist. Systemdenken geschieht laut HASKINS [2010, S. 7 f.]⁴⁹, „*wenn die betrachteten Dinge hinterfragt, Zusammenhänge modelliert, Wechselwirkungen erklärt und diese sprachlich und modellhaft ausgedrückt und diskutiert werden, so dass das Verständnis und die Arbeit mit Systemen verbessert wird. Systemdenken stellt eine besondere Sicht auf die Wirklichkeit dar, die unsere Sinne schärft für die Wahrnehmung von Ganzheiten und die Wechselwirkungen zwischen deren Bestandteilen. Ein Systemdenker versteht, wie Systeme in ihren größeren Zusammenhang des täglichen Lebens eingebettet sind, wie sie sich verhalten und wie man mit ihnen umgeht. Systemdenken erkennt die kausalen Schleifen, in denen Größen sowohl Ursache, als auch Folge sind und betrachtet vordringlich die Wechselwirkungen, die zu nichtlinearem und organischem Systemverhalten führen – eine Denkweise, die das Ganze in den Mittelpunkt stellt.*“

3.1.3 Systemarten der Systemtechnik

Ein etabliertes Differenzierungsschema von Systemarten beziehungsweise -sichtweisen stellt die Unterscheidung nach ROPOHL [1975, S. 32 ff.] in **Sachsysteme**, **Handlungssysteme** und

⁴⁸ Bezüglich des in dieser Arbeit beispielhaft betrachteten Systems Offshore-Bohranlage sind Top-Drive und Top-Drive-Getriebe Beispiele für Untersysteme 1. und 2. Ordnung während das kinematische System, das hydraulische System, die Energieversorgung und das Steuerungssystem Beispiele für Systemtypen sind.

⁴⁹ Übersetzung: Gesellschaft für Systems-Engineering e.V. German Chapter of INCOSE [GfSE 2013]

Zielsysteme dar, welches von zahlreichen Autoren aufgegriffen und teilweise weiterentwickelt wurde. Sachsysteme stellen die technischen Hervorbringungen von Handlungssystemen dar und erfüllen durch Zustandsänderung bestimmter Inputs in bestimmte Output einen definierten Zweck [ROPOHL 2009, S. 117 ff.]. Sie können verschiedenen Hierarchiestufen zugeordnet werden (z. B. Einzelteil, Baugruppe, Anlage) und durchlaufen in ihrer Entstehung unterschiedliche Entwicklungsstufen (z. B. Modell der Funktion, Konstruktionsentwurf, Prototyp des Sachsystems) ROPOHL [2009, S. 122 ff.; 273]. Handlungssysteme beinhalten Handlungen und Handlungsträger als Elemente, die die Ablauf- und Aufbauorganisation abbilden. Im sogenannten ZOPH-Modell nach KLEEDÖRFER [1998, S. 59 ff.] werden diese durch eine weitere Unterscheidung von Handlungs- und Prozesssystem explizit differenziert. Handlungssysteme können ebenfalls auf verschiedenen Hierarchiestufen betrachtet werden, wodurch die handlungsvollziehende Instanz eine Einzelperson, eine Organisation(seinheit) oder auch ein ganzer Staat sein kann [ROPOHL 2009, S. 93 f.]. Handlungssysteme sind an Zielsystemen ausgerichtet. Diese beinhalten Anforderungen an das Sachsystem (nach denen dieses bewertet wird), sowie Vorgaben und Leitlinien, die der Planung der für deren Erreichung notwendigen Handlungen dienen.

3.1.4 Teilfazit

Im Zusammenhang mit der Zielsetzung dieser Arbeit stellt vor allem die Differenzierung zwischen **Untersystem- und Übersystembetrachtung** einen bedeutenden Aspekt dar. Zielt ein Entwicklungsproblem auf ein Gesamtsystem als Ganzes ab, liegt der Bereich der gestalteten Systemeigenschaften gänzlich in der Untersystembetrachtung. Die Übersystembetrachtung dient hingegen der Untersuchung der Interaktion zwischen Gesamtsystem und Umwelt. Wie die folgenden Kapitel zeigen werden, stellt diese Perspektive die gängige, durch die Modelle und Vorgehensweisen der Systemtechnik repräsentierte Problemsicht dar. Die im Rahmen dieser Arbeit eingenommene modulzentrierte Perspektive macht es hingegen erforderlich, das Gesamtsystem, in welches das Modul als Gegenstand des **Sachsystems** eingebettet ist, in der Übersystembetrachtung zu fassen. Dies wird zwar durch die allgemeine Systemtheorie keineswegs ausgeschlossen. Ein explizites Einnehmen dieser Perspektive – beispielsweise durch die integrale Berücksichtigung der beeinflussten Systemeigenschaften, die durch das Zusammenwirken mit Eigenschaften anderer Systembestandteile (z. B. Module) außerhalb des Gestaltungsbereichs entstehen – lassen die gängigen Ansätze jedoch vermissen.

Neben den das Sachsystem betreffenden Fragestellungen der systemhierarchischen Innovationsebenen eines Unternehmens sind im Rahmen dieser Arbeit auch die Implikationen auf Ziel- und Handlungssystem relevant. So setzen sich **Handlungssysteme** zur Erstellung von Sachsystemen auf Gesamtsystemebene (im Sinne von Anlagen) aus **einer Vielzahl von Unternehmen und weiteren Stakeholdern** zusammen, deren Interessen in einem vielschichtigen – nicht zuletzt durch Machtstrukturen geprägten – Zielsystem münden, welches den relativen Handlungsspielraum eines System-OEMs unter Umständen stark einschränkt (vgl. Kapitel 2.2.2). Bei Sachsystemen auf Modulebene hingegen, steht das **einzelne Unternehmen des OEMs als Handlungssystem** im Vordergrund, sowie ein Zielsystem, das sich primär aus der Rolle des Moduls im Modul- und Systemportfolio des Unternehmens ableitet.

3.2 Das Modul als zentrales Architekturkonzept

3.2.1 Die Architektur von Systemen und Produkten

Zur Betrachtung eines Systems oder Produkts hinsichtlich seines strukturellen Aufbaus hat sich der **Begriff der Architektur** etabliert. Die Architektur eines Systems repräsentiert die Gesamtheit seiner vertikalen und horizontalen Beziehungen [KOPPENHAGEN 2014, S. 117] (vgl. Abbildung 3-1), bzw. die Gemeinsamkeit aus hierarchischer Struktur und Beziehungsstruktur [GÖPFERT 2009, S. 22]. Allein die Existenz von Elementen und Relationen zwischen diesen resultiert automatisch in einer Architektur⁵⁰ [MAURER 2007, S. 31]. Daher hat jedes System eine Architektur, ob bewusst gestaltet oder durch Evolution aus Vorgängersystemen unter Vererbung dessen Randbedingungen entstanden [CRAWLEY ET AL. 2004, S. 2]. Nach CRAWLEY ET AL. [2004, S. 2 f.] determiniert die Architektur eines Systems dessen Komplexität und hat starken Einfluss auf dessen Verhalten.

Wird die Architektur eines Produktes betrachtet, ist in vielen Definitionen von funktionalen und physischen Elementen die Rede. Während die häufig referenzierte Definition nach ULRICH [1995] – „die Produktarchitektur beinhaltet die Anordnung funktionaler Elemente, deren Zuordnungsschema auf physische Komponenten sowie die Spezifikation der Schnittstellen zwischen interagierenden physischen Komponenten“ – jedoch nur auf die horizontalen Beziehungen Bezug nimmt, betrachtet GÖPFERT [2009, S. 78 f.] gleichzeitig die hierarchische Struktur beider Domänen, indem er die Produktarchitektur als „Funktionsstruktur, Baustruktur sowie die Transformationsbeziehungen zwischen diesen beiden Strukturen“ definiert (Abbildung 3-2):

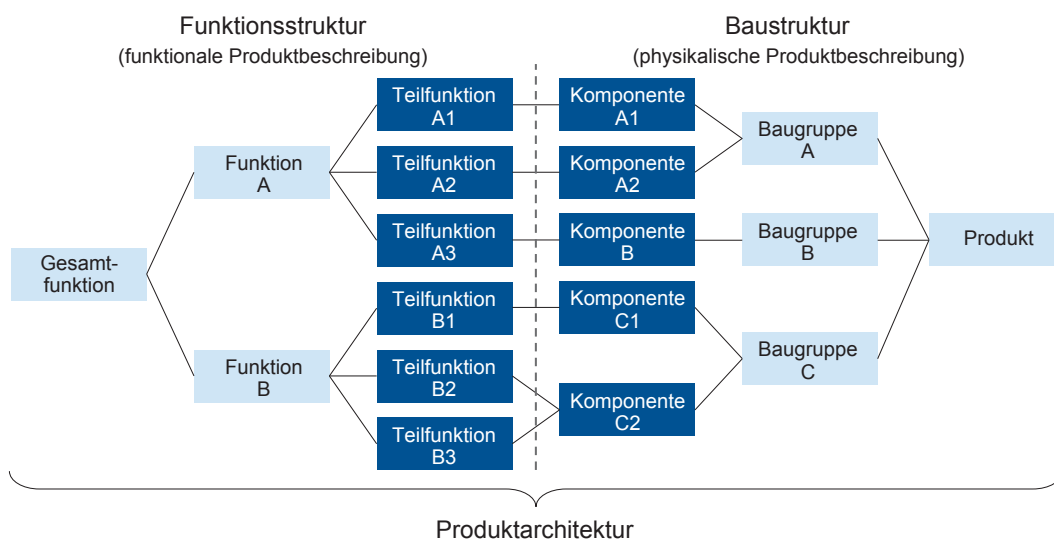


Abbildung 3-2: Produktarchitektur aus Funktions- und Baustruktur (in Anlehnung an GÖPFERT [2009, S. 79], modifiziert nach KISSEL [2014, S. 22])

⁵⁰ MAURER benutzt bewusst den Begriff „Struktur“ anstelle von „Architektur“, da letzterer sehr stark mit dem Merkmal der Hierarchie verknüpft sei, von dem er sich bewusst lösen möchte [MAURER 2007, S. 31].

CRAWLEY ET AL. [2004, S. 5 f.] spezifizieren das Spektrum an **Relationen**, welche Bestandteil einer Architektur sein können. Es umfasst **geometrische**, **zeitliche** und **logische** Relationen sowie Relationen, die sich aus dem **Austausch von Stoff, Energie, Information oder Werten** ergeben. Die häufig sehr statischen Beschreibungen (z. B. [ULRICH 1995], s. o.) werden hier bewusst um temporale Zusammenhänge in Form einer expliziten „**dynamischen, operationalen Architektur**“ ergänzt, welche beschreibt, wie die Elemente im Zeitverlauf operieren und interagieren, um die Systemziele zu erreichen.

Architekturentscheidungen werden immer häufiger nicht mehr im Rahmen isolierter Entwicklungsprojekte getroffen, sondern im Hinblick umfassenderer produktstrategischer Zielsetzungen, beispielsweise als Basis einer modularen Produktfamilienplanung (vgl. hierzu nachfolgende Teilkapitel zum Thema Modularität). Die Begriffskonzepte **Produktportfolioarchitektur** [KISSEL 2014, S. 22 f.] beziehungsweise **Produktfamilienarchitektur** [MARTIN & ISHII 2002] tragen diesem Rahmen systemtechnisch Rechnung, indem sie eine Erweiterung der Element- und Relationstypen um beispielsweise die Einbindung von Komponenten in Produkte und Produktfamilien sowie unterschiedliche Aggregationsstufen (Produktfamilie – Produkt – Komponente) vorsehen. Übergreifende Gestaltungsprinzipien und Architekturstandards tragen ebenfalls zur Spezifizierung der Produktportfolioarchitektur bei.

HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 137 f. & 189 f.] bieten eine Auswahl **genereller Gestaltungsprinzipien**⁵¹ an, deren Anwendung bei der Lösungssuche mit dem Ziel einer „guten“⁵², auf die Zukunft ausgerichteten Architektur“ angestrebt werden sollte. Der modulare Aufbau der Architektur beziehungsweise deren Modularität wird dabei von zahlreichen Autoren als zentrales, möglicherweise wichtigstes Merkmal einer Architektur beschrieben [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 165; BALDWIN & CLARK 2000]. Für CRAWLEY ET AL. [2004, S. 10] stellt sie gar ein Kriterium für die Anwendbarkeit der Systemtheorie im Engineering dar. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel das Konzept der Modularität näher beleuchtet und von seinem Gegenstück, der Integralität, abgegrenzt.

3.2.2 Modularität und Integralität

Modularität ist ein strukturbeschreibendes Merkmal von Systemen und Systemarchitekturen [KOPPENHAGEN 2014, S. 117]. Sie setzt voraus, dass die Beziehungen zwischen den Komponenten eines Systems nicht alle gleich stark ausgeprägt sind, sondern eine heterogene Beziehungsstruktur vorliegt [GÖPFERT 2009, S. 30]. Insgesamt lassen sich folgende Charakterisierungs- und Abgrenzungskriterien zusammenfassen, welche auch als definitorische Grundlage dieser Arbeit gelten soll [BALDWIN & CLARK 2000, S. 63; GÖPFERT 2009, S. 30–

⁵¹ Idealität, Unabhängigkeit, modularer Aufbau, Piecemeal Engineering, minimale Präjudizierung

⁵² Die Frage nach einer „guten Architektur“ ist nach HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 188] zwar nur im Kontext der Zielsetzung zu beantworten. Verallgemeinernd fordern die Autoren jedoch von einer „guten Architektur“, dass diese „*wettbewerbsfähige Produkte ermöglicht, die Erfüllung strategischer Unternehmensziele berücksichtigt, die Einhaltung aktueller und zukünftiger Gesetze und Regularien sicherstellt, effizient betreibbar, wartbar und nachhaltig ist, mit wenig Aufwand erweiterbar oder anpassbar ist, aus ihr im erforderlichen Zeit- und Ressourcenrahmen Produkte weiterentwickelt werden können, [sowie dass] sie „elegant“ ist*“.

42]: Eine **modulare Systemarchitektur** zeichnet sich durch starke Beziehungen innerhalb und schwache Beziehungen zwischen Subsystemen aus, wodurch die Subsysteme als relativ autonom⁵³ betrachtet werden können.^{54/55} Im Gegensatz dazu ist eine integrale Systemarchitektur durch relativ stark gekoppelte und daher nicht als autonom zu betrachtende Subsysteme charakterisiert. Da sich der Architekturtypus aus dem Verhältnis zwischen den Beziehungsstärken der externen und internen Beziehungen ableitet, stellen modulare und integrale Systemarchitekturen keine diskreten Ausprägungen dar, sondern besitzen graduellen Charakter. Abbildung 3-3 illustriert charakteristische Ausprägungen innerhalb dieses Spektrums.⁵⁶

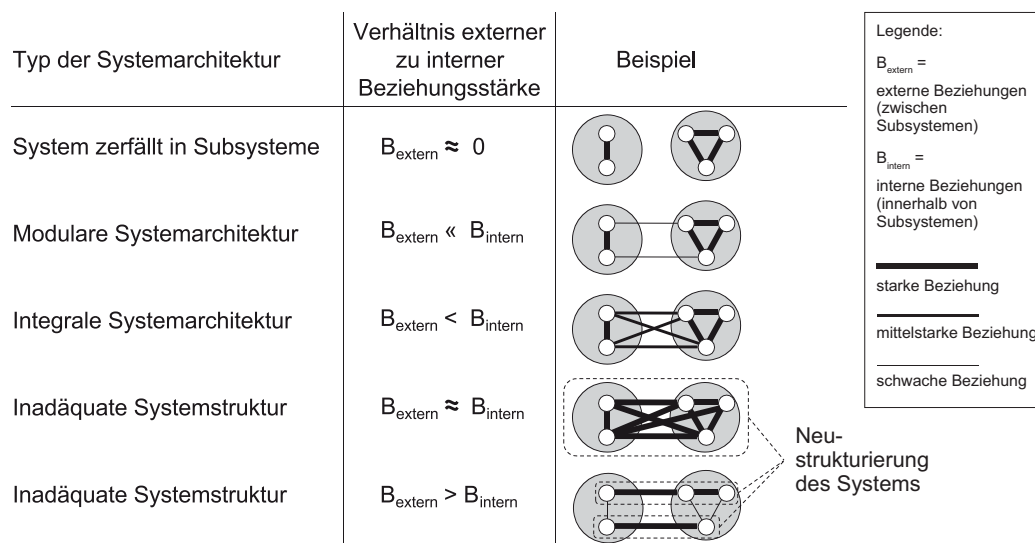


Abbildung 3-3: Ausprägungen der Systemarchitektur in Abhängigkeit vom Verhältnis interner und externer Beziehungsstärken (nach GÖPFERT [2009, S. 35], Modifikation in Anlehnung an KOPPENHAGEN [2014, S. 118])

Aus obigen Überlegungen leitet sich die **Definition eines Moduls** als Subsystem ab, welches aufgrund starker Verbindungen seiner Elemente und relativ schwacher Verbindungen zu Elementen anderer Subsysteme als relativ autonom betrachtet werden kann.

Modularität ist ein wichtiges Konzept der Komplexitätsreduzierung, sowohl bei der Entwicklung einzelner Systeme als auch im Umgang mit Produktfamilien oder Produktsystemen [SCHUH 2005; KOPPENHAGEN 2014; GÖPFERT 2009; KISSEL 2014]. Ein einfaches Beispiel von

⁵³ Diese relative Autonomie gilt sowohl gegenüber anderen Subsystemen derselben Systemebene als auch gegenüber dynamischen Veränderungen auf über- oder untergeordneten Systemebenen [GÖPFERT 2009, S. 42].

⁵⁴ Grundlage dieser Definition ist die Beschreibung von Systemen als „nearly decomposable“ (übersetzt ungefähr „beinahe zerlegbar“), welche auf SIMON [1962] zurückgeht.

⁵⁵ Eine sehr limitierende Alternative zu dieser Definition bietet beispielsweise ULRICH [1995] an, nach welcher eine modulare Architektur dann vorliegt, wenn eine Eins-zu-eins-Zuordnung von Funktionselementen und physischen Komponenten vorliegt.

⁵⁶ Dieses Spektrum hat an seinen Rändern allerdings nur theoretische Bedeutung, da beispielsweise das Nichtvorhandensein von Beziehungen zwischen Subsystemen (ganz oben) eine notwendige Bedingung zur Existenz eines Systems negiert.

[1969] aus Untersuchungen dieses Phänomens, dass die Module, welche sich auf Basis spezifischer Dimensionen herauskristallisieren, häufig ähnlich bis deckungsgleich sind und sich gar gegenseitig verstärken (was GÖPFERT [2009, S. 41] dazu veranlasst, seine Definition von Modularität auf das Vorliegen von Kongruenz bezüglich der Beziehungsstrukturen unterschiedlicher Beziehungsdimensionen zu erweitern). Gleichzeitig merkt er jedoch auch an, dass diese Ähnlichkeit oder Kongruenz nicht immer und in allen Systembereichen vorliegt, und gerade inkongruente Bereiche schwieriger zu fassen sind und besonderer Aufmerksamkeit bedürfen.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

Die untere Zeile in Abbildung 3-4 zeigt zusätzlich zu den geometrischen Beziehungen, auf die die Betrachtung zuvor reduziert war, funktionale Beziehungen⁵⁹. Mit α und β ergeben sich von den geometrischen Modulen abweichende Komponentenmengen, welche beispielsweise zur Realisierung zweier unterschiedlicher Hauptfunktionen zusammenwirken.⁶⁰ Für die Hauptfunktion, an welcher die Komponentenmenge α beteiligt ist treten die geometrischen Module A und B in (gegebenenfalls temporäre) Interaktion, auch wenn jeweils nicht alle Modulkomponenten von A und B für die betrachtete Funktion benötigt werden (analog gilt dies für B und C bei der Komponentenmenge β – gegebenenfalls zu einem anderen Zeitpunkt). B ist in dieser exemplarischen Konstellation an beiden Hauptfunktionen mit unterschiedlichen Elementen beteiligt und stellt daher im Sinne dieser Arbeit ein multifunktionales Kernmodul dar.

Inkongruente Beziehungsstrukturen oder lediglich teilweise Modularität von Systemen kann die Folge fehlender Umsetzbarkeit (auf Basis bekannter Lösungsprinzipien oder Technologien) oder die Folge bewusster Kompromisse sein. So beschreiben CRAWLEY ET AL. [2004, S. 4] ein Spannungsfeld zwischen technischen Gründen, die häufig für integrale Systeme sprechen (z. B. Vorteile hinsichtlich einer geringen Masse oder einer hohen Energieeffizienz) und nicht-technischen Gründen, die für modulare Systeme sprechen (z. B. die Möglichkeit von Upgrades oder kundenspezifischer Anpassung). Bezüglich dieses Spannungsfelds sei auch an das in Kapitel 2.2.1 eingeführte Industriebeispiel von Offshore-Bohranlagen erinnert, welche aufgrund des verfahrensbedingt unvermeidlichen Nadelöhrs des Well Centers (vgl. Fußnote ²⁹) inhärenten räumlichen Restriktionen unterworfen sind. Auch KOPPENHAGEN [2014, S. 123 f.] sieht einen Konflikt zwischen dem Bestreben nach Modularität und Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich funktional relevanter Parameter, häufig Bauraum und Masse (vgl. folgendes Unterkapitel).

Auf die Ziele, welche mit dem Instrument der Modularität verfolgt werden, sowie auf Ansätze zur Modularisierung wird im Folgenden Abschnitt allgemein eingegangen.

3.2.3 Modulbildung und ihre Ziele

Bisher wurde das Thema der Modularität als strukturbeschreibendes Merkmal von Systemen und Systemarchitekturen und daraus hervorgehende Aspekte bezüglich einzelner Module aufbereitet. Diese systemtheoretischen Grundlagen sind essenziell für den Fokus dieser Forschungsarbeit, die sich der Thematik der (Weiter-)Entwicklung komplexer Module im Anlagenbau annimmt. Als Randbedingung wurde das Vorliegen etablierter Systemarchitekturen definiert. Daher steht die eigentliche Modularisierung von Systemarchitekturen nicht im Zentrum des Betrachtungsbereichs dieser Arbeit. Um die Bedeutung und Vielschichtigkeit des Themas „Modularität“ einordnen zu können, erscheint es dennoch wichtig

⁵⁹ Zur besseren Übersichtlichkeit ist lediglich eine exemplarische Teilmenge dargestellt.

⁶⁰ PATZAK [1982, S. 46] beschreibt mit der Unterscheidung zwischen *objektorientierter* und *verrichtungsorientierter Gliederung* eine ähnliche Differenzierung von Beziehungsdimensionen.

auf die vielfältigen, damit verbundenen Ziele, sowie Aspekte und spezifische Ansätze zu Modularisierungsvorgehen zumindest kompakt einzugehen.

KISSEL [2014, S. 37] resümiert die Ausführungen von RAPP [2010, S. 93 ff.] zur Produktstruktur als „zentrales, das Gesamtunternehmen betreffendes Planungs- und Entwicklungsinstrument“ damit, dass ein Unternehmen durch eine effektive Strukturierung seiner Produkte die Voraussetzungen schafft, seine Unternehmensstrategie umzusetzen. Er betont den großen Einfluss auf Kostenstruktur, Organisation, Innovationsfähigkeit und Flexibilität eines Unternehmens. Bei ERICSSON & ERIXON [1999, S. 19] ist die Unternehmensstrategie Bestandteil der Definition von Modularisierung: „*Modularization is the decomposition of a product into building blocks (modules) with specific interfaces, driven by company-specific strategies*“. Da diese über produktbezogene Maßnahmen adressiert werden, ist häufig von „produktstrategischen Zielen“ die Rede [ERIXON 1998; KRAUSE & RIPPERDA 2013; KOPPENHAGEN 2014; STAKE 2000].

Tabelle 3-1: Vorteile und Potenziale modularisierter Produktarchitekturen (extrahiert aus KOPPENHAGEN [2014, S. 122 ff.] mit entsprechenden Primärquellen, sofern angegeben)

| Vorteile und Potenziale modularisierter Produktarchitekturen | Primärquelle (sofern zitiert) |
|---|---|
| Realisierungsmöglichkeit einer modularen Produktfamilie, innerhalb welcher unterschiedliche Gesamtfunktionalitäten durch Konzentration variabler Funktionalitäten auf bestimmte, austauschbare Module erreicht werden können. Gleichzeitige Standardisierung produktspezifisch unveränderlicher Module führt zur Ausnutzung von Skaleneffekten trotz hoher Variantenvielfalt. | Franke et al. 1996 Kersten & Kopenhagen 2002 |
| Möglichkeit der Konzentration von Entwicklungsrisiken, prozessualen Risiken bei der Produktherstellung oder Ausfallrisiken im Betrieb auf einige wenige Module, und dadurch risikoorientierte Zuordnung von Managementressourcen. | Müller 2000 |
| Möglichkeit der schrittweisen Integration neuer Technologien und dadurch der sukzessiven Erweiterung der Produktfunktionalitäten auf Basis einer unveränderlichen Architektur. Dabei Berücksichtigung unterschiedlicher Modullebenszyklen. | Kersten 2002 |
| Begrenzbarkeit der Änderungsdynamik auf bestimmte Module. | |
| Entkopplung von Entwicklungsaufgaben bei entsprechender organisatorischer Gestaltung: > Reduktion der Komplexität von Einzelaufgaben sowie des Koordinations- & Kommunikationsaufwands. > Entwicklungszeitverkürzung durch Parallelisierung der Modulentwicklungsprozesse. | Reinertsen 1992 Verho & Salminen 1993 Göpfert 2009* Sosa et al. 2000 |
| Entkopplung von Fertigungsaufgaben bei entsprechender organisatorischer Gestaltung: Durchlaufzeitverkürzung durch Parallelisierung von Fertigungs- und Montageprozessen. | Gausemeier & Riepe 2000 Kontny et al. 2001 |
| Potenzial zu einer hohen funktionsspezifischen Anpassung der Module. | |
| Frühzeitige Erkennung von Funktionsfehlern und Vermeidung von Nacharbeit durch separate Testbarkeit der Module. | Kontny et al. 2001 |
| Hohe Innovationsgeschwindigkeit des Produktes durch die Einbindung spezialisierter Lieferanten von Modulen und Modulentwicklungsleistungen. | Baldwin & Clark 1998 Baldwin & Clark 2000 |
| Beschaffung vormontierter und vorgeprüfter Module. | |
| Erleichterung der Produktwartung durch Konzentration fehleranfälliger Teile oder Verschleißteile auf wenige, leicht austauschbare Module. | Müller 2000 |
| Vergrößerung des Anwendungsbereichs und dadurch Erhöhung des Kundennutzens durch flexible Konfiguration und Erweiterung der Module auch während der Nutzungsphase. | Gausemeier & Riepe 2000 |
| Wiederverwendung von Modulen. | |
| Einfache Entsorgung von Modulen. | |

(* nach Überprüfung auf inhaltliche Übereinstimmung auf aktuelle, im Kontext dieser Arbeit verwendete Auflage der Quelle angepasst)

In Folge der durch die Modularisierung erzielbaren Komplexitätsreduktion [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 138] wird die Erreichung dieser produktstrategischen Ziele erleichtert oder teilweise gar erst ermöglicht. KOPPENHAGEN [2014, S. 122 ff.] diskutiert ausführlich die zur Verfolgung produktstrategischer Ziele nutzbaren Vorteile und Potenziale modularisierter Produktarchitekturen. Tabelle 3-1 fasst diese inklusive der vom Autor referenzierten Primärquellen zusammen.⁶¹ Der Autor betont jedoch auch, dass es zur Beherrschung komplexer Entwicklungsaufgaben – und damit zur Ausschöpfung dieser Potenziale – nicht ausreichend ist, die Gestaltungsaufgabe des Produktes und seiner Architektur zu betrachten. Vielmehr erstreckt sich durch die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen der Produktarchitektur, der Entwicklungsorganisation und dem Entwicklungsprozess das Gestaltungsproblem auf die Gesamtheit dieser drei Dimensionen [KOPPENHAGEN 2014, S. 115].⁶² Dabei haben sich in den Einzelansätzen der verschiedenen Bereiche, welche ursprünglich eher isoliert in den Ingenieurwissenschaften (technische Gestaltungsprobleme) oder der Organisationstheorie (organisatorische Gestaltungsprobleme) adressiert wurden, bereits zahlreiche modulare Ansätze herausgebildet, während integrative Ansätze Gegenstand der aktuellen Forschung sind [GÖPFERT 2009, S. 2].

Von 16 von KRAUSE & RIPPERDA [2013] verglichenen Modularisierungsansätzen zielen 12 darauf ab, nicht nur Potenziale nutzbar zu machen, die sich auf ein einzelnes Produkt oder System beziehen (beispielsweise durch die Befähigung von Prozessparallelisierungen), sondern den Umgang mit mehreren Produktvarianten beziehungsweise ganzen Produktfamilien, und der dadurch entstehenden vielfaltsbezogenen Komplexität zu verbessern. Das Potenzial, als Basis einer modularen Produktfamilie zu dienen, und dadurch trotz hoher Variantenvielfalt von Skaleneffekten zu profitieren, kann daher als eines der Hauptvorteile modularer Produktarchitekturen gesehen werden. Sie stellt den Schlüssel zur Abgrenzung variantenarmer von variantenreichen Baugruppen sowie zur Vereinheitlichung dabei auftretender Schnittstellen dar [SCHUH ET AL. 2012, S. 119]. Allerdings gibt es viele verschiedene Möglichkeiten der Modularisierung, selbst bei vergleichbaren Unternehmens- und Produktbedingungen [ERICSSON & ERIXON 1999, S. 19]. Letztlich ist die Ermittlung des für ein Unternehmen bestgeeigneten Wegs zur Modularisierung sowie der realisierbare Modularisierungsgrad von zahlreichen Faktoren abhängig wie den produktinhärenten Randbedingungen (vgl. voriger Abschnitt), den verfügbaren Technologiealternativen [SCHUH ET AL. 2009], der unternehmenstypologischen Einordnung und den damit verbundenen strategischen Handlungsmöglichkeiten und Limitationen⁶³ sowie von den mit der Modularisierung verbundenen Nachteilen und Risiken ab. Letztere diskutiert KOPPENHAGEN [2014, S. 123 ff.] in seiner Studie ebenfalls ausführlich (s. Tabelle 3-2) und stellt sie o. g. Vorteilen gegenüber.

⁶¹ Ähnliche / ergänzende Übersichten sind z. B. in GÖPFERT [2009, S. 131] oder SCHUH ET AL. [2012, S. 149] zu finden.

⁶² Vgl. Kapitel 3.1.3 zu den Abhängigkeiten zwischen Ziel, Sach- und Handlungssystem.

⁶³ Vgl. exemplarische Ausführungen anhand der Offshore-Bohrindustrie zu diesem Thema in Kapitel 2.2.2.

Tabelle 3-2: Übersicht über die von KOPPENHAGEN [2014, S. 123 ff.] diskutierten Nachteile modularisierter Produktarchitekturen (mit entsprechenden Primärquellen, sofern angegeben)

| Nachteile modularisierter Produktarchitekturen | Primärquelle (sofern zitiert) |
|--|-------------------------------|
| Gesteigertes Risiko durch erheblichen Initialaufwand sowie beträchtliche Auswirkungen auf Wirtschaftlichkeit und Kundennutzen. | Ley & Hofer 1999 |
| Gesteigerte Bedeutung der Prognostizierbarkeit von Anforderungen an die Funktionsvarianten im zeitlichen Verlauf aufgrund der längeren Produktlebenszyklen modularer Produktfamilien. | Kohlhase 1997 |
| Gefahr von Kannibalisierungseffekten durch zu geringe Differenzierung der angebotenen Varianten aus Marktsicht. | Rother 1999 |
| Geringere Eignung im Hinblick auf die Gesamtfunktionsoptimierung eines Produktes im Gegensatz zu integralen Produktarchitekturen. | |
| Größere Bauraumminimierungsrestriktionen aufgrund geringerer geometrischer Integration der Komponenten im Gegensatz zu integralen Produktarchitekturen, welche eine stärkere "geometrische Verschachtelung" ermöglichen. | Ulrich 1995 |
| Grenzen der Gewichtsoptimierung gegenüber integraler Produktarchitekturen durch logisch aus der Modularität folgende physische Redundanzen. | |
| Aus physischen Redundanzen folgendes geringeres Potential zur Materialkostenminimierung im Vergleich zu integralen Produktarchitekturen. | |
| Einfachere Nachahmbarkeit durch Reflektion der Funktionsstruktur in der Baustruktur, wodurch sowohl die Komponentenfunktionen als auch deren Interaktion offensichtlich werden. | Kersten 2002 |

Das Vorgehen zur Erstellung der eigentlichen Produktarchitektur – also nach der Definition auf Seite 37 die Generierung von Funktionsstruktur, Baustruktur sowie der Transformationsbeziehungen zwischen diesen beiden Strukturen – ist Kernbestandteil jedes Modularisierungsvorgehens, da die Produktarchitektur Kernergebnis ist. Viele Arbeiten beschäftigen sich mit der inhaltlichen und prozessualen Verflechtung der Entwicklung von Funktions- und Baustruktur. SUH [1990, S. 36] vertritt die Auffassung, dass die Dekomposition funktionaler und physischer Struktur nur alternierend erfolgen kann, da die $i+1$ te Ebene der funktionalen Hierarchie nicht Definiert werden kann, ohne die Elemente der physischen Domäne, welche die Funktionsanforderungen der i -ten Ebene erfüllen, ermittelt zu haben (Abbildung 3-5).⁶⁴

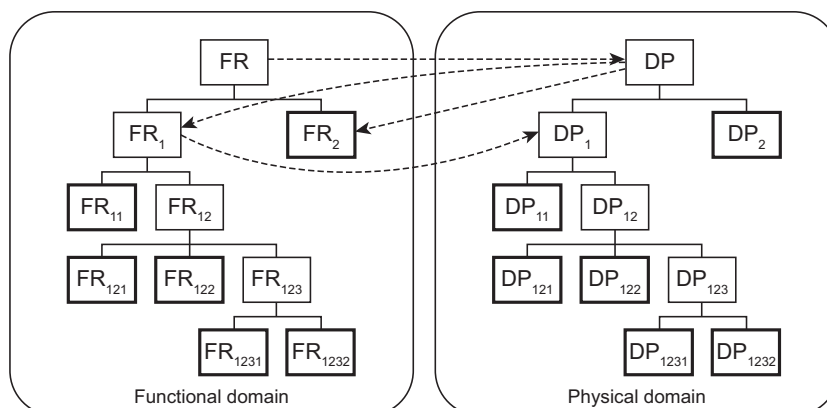


Abbildung 3-5: Dekomposition der funktionalen und der physischen Struktur nach dem sogenannten „Zick-Zack-Prinzip“ (nach SUH [2001, S. 30])

⁶⁴ Der Ansatz des Axiomatic Design nach SUH [1990] wird in Kapitel 3.3.2 näher beschrieben.

PIMMLER & EPPINGER [1994] hingegen sehen es prinzipiell als möglich an, die der Modularisierung vorausgehende Dekomposition des Systems sowohl auf Basis funktionaler als auch physischer Elemente anzugehen und ausgehend von dieser Basis die Gesamtarchitektur zu erarbeiten. Hierbei kommt erstere Vorgehensweise tendenziell eher bei der Entwicklung neuartiger Produkte zum Einsatz und letztere bei der inkrementellen Weiterentwicklung bereits existierender Produkte. Ähnlich schlägt KOPPENHAGEN [2014, S. 129] in Anlehnung an PAHL ET AL. [2007] vor, bei der Weiterentwicklung bestehender Produkte die funktionale Gliederung aus der Analyse der Baustruktur auszuleiten und dann auf Basis der Anforderungen zu variieren. PIMMLER & EPPINGER [1994] erwähnen zudem Mischformen, so können beispielsweise im Weiterentwicklungsfall bestimmte physikalische Module funktional abstrahiert werden, um für die **lokale Modulentwicklung** den Spielraum für innovative Lösungsvorschläge zu vergrößern.

Die meisten Modularisierungsansätze⁶⁵ haben ein systemtechnisches Fundament, wodurch die technisch-funktionale Sicht einen Hauptaspekt der Modularisierung darstellt. Hierzu werden beispielsweise die Abhängigkeiten und Interaktionen (beispielsweise stoffliche, energetische, informationelle und räumliche) zwischen den Elementen der Funktionalen und / oder physischen Elemente modelliert und zur Bildung alternativer zusammengefasster Teilstrukturen (Cluster) herangezogen [PIMMLER & EPPINGER 1994]. Die technisch-funktionale Betrachtung wird – je nach Ziel und Schwerpunkt des angewendeten Modularisierungsvorgehens – mit weiteren Betrachtungsebenen verschränkt, um das Gesamtergebnis der Modularisierung zu erreichen. Als ergänzende Betrachtungsebenen werden beispielsweise Kundenanforderungsprofile und produktstrategische Profile (z. B. „Modular Function Deployment (MFD)“ nach ERIXON [1998] sowie „Modular Engineering“ nach KOPPENHAGEN [2014])⁶⁶, montage- und vertriebsbezogene Erzeugnisgliederungen (z. B. Produktstrukturmanagement nach RAPP [2010]) oder organisatorische Gestaltungsalternativen (z. B. „METUS“-Verfahren nach GÖPFERT [2009]) aufgenommen.

3.2.4 Teilfazit und weitere Begriffsschärfung

Der im Kapitel 3.2 gegebene Überblick über Modularität als strukturbeschreibendes Architekturmerkmal sowie über die Möglichkeiten, die Verfolgung produktstrategischer und entwicklungsorganisatorischer Zielsetzungen über spezifische Formen der Modularität zu unterstützen, zeigt die hohe Bedeutung dieser Themen. Dennoch führt dieser Überblick auch vor Augen, dass das Forschungsfeld der **Gestaltung von Modularität** (Modularisierung) in den letzten zwei Dekaden sehr vielseitig bearbeitet wurde, während der **Umgang mit bestehender Modularität** als Rahmenbedingung planerischen und entwicklerischen Handelns

⁶⁵ Vgl. hierzu ebenfalls die auf Seite 45 erwähnte Studie von KRAUSE & RIPPERDA [2013].

⁶⁶ Die beiden matrixbasierten Ansätze basieren auf ähnlichen Bausteinen (KOPPENHAGEN [2014] nutzt gar eine Modifikation des Modultreiber-Sets von ERIXON [1998]), unterscheiden sich aber in der Informationsverarbeitung: Während *MFD* ein sequentielles Vorgehen darstellt, werden im *Modular Engineering* die Informationen der drei Betrachtungsebenen parallel akquiriert und modelliert und mithilfe eines Transformationsalgorithmus auf Basis eines Clusteranalyseverfahrens in eine resultierende Beziehungsmatrix überführt (vgl. hierzu auch Kapitel 4.3.6 zu verwandten Ansätzen des QFD).

wenig Aufmerksamkeit erfahren hat. Zwar werden beispielsweise die Existenz historisch gewachsener Produktarchitekturen oder auch die Unterscheidung zwischen Neu- und Weiterentwicklungen angesprochen, ein wahrnehmbares Angebot an unterstützenden Methoden und Maßnahmen, welche diese praxisseitig sehr relevanten Fälle explizit unterstützen, ist jedoch nicht erkennbar. Stattdessen wird ein prinzipieller Freiheitsgrad bezüglich der Frage angenommen, wie modular ein zu entwickelndes Produkt auf Basis der Abwägungen von Vor- und Nachteilen, sowie auf Basis systeminhärenter Zwänge gestaltet werden sollte, der durch genannte Randbedingungen jedoch häufig gar nicht vorhanden ist. Ähnliches gilt für die Betonung mancher Vorteile – z. B. die Parallelisierbarkeit der Entwicklung der einzelnen Modulentwicklungsprozesse – deren Mehrwert jedoch nur zum Tragen kommt, wenn die Modulentwicklung auch wirklich Teil der Entwicklung des Produkts als Gesamtsystem ist (was, wie gezeigt wurde im Anlagenbau im Allgemeinen nicht der Fall ist).

Auch die Perspektive auf die reine **Modulentwicklung** im Rahmen einer (strategisch oder durch historisch gewachsene Strukturen) vorgegebenen Modularität der Systemarchitektur, wird nicht eingenommen. Es ist festzustellen, dass die Literatur im Bereich Architektur und Modularität den abstrakten, strukturbezogenen Bereich nicht entscheidend verlässt. Es findet keine Auseinandersetzung damit statt, welche Konsequenzen die verschiedenen strukturellen Ausprägungen im Detail für einzelne Module und deren Entwicklung haben (beispielsweise welche Herausforderungen sich daraus ergeben, ob die mehrdimensionale Beziehungsstruktur, in die ein Modul eingebettet ist, kongruent ist oder nicht). Dies ist zwar per Definition nicht Inhalt dieses Forschungsbereichs, sondern fällt in den Bereich der systematischen Produktentwicklung (vgl. Kapitel 3.5.2); andererseits findet auch dort keine ausreichende Differenzierung statt, da das Thema Systemstrukturierung dort wiederum nur sehr allgemein behandelt wird. Zusammenfassend kann dies als **mangelnde Durchgängigkeit zwischen den Bereichen der Architekturgestaltung und der Entwicklungsmethodik** herausgestellt werden.

Zur Schärfung des Verständnisses des in Unterkapitel 3.2.2 theoretisch hergeleiteten Konzepts der Koexistenz beziehungsweise Überlagerung von Strukturen, welche aus unterschiedlichen Beziehungsdimensionen resultieren, kann an dieser Stelle wieder das Eingangsbeispiel der Systeme der Offshore-Bohrindustrie aufgegriffen werden.⁶⁷ Da die Hauptfunktionen einer Offshore-Bohranlage selbst stark prozessualen Charakter aufweisen, also jeweils auf einer (teilweise zyklischen) Abfolge zahlreicher Unterfunktionen basieren, wurde in diesem Zusammenhang der Begriff der „**prozessbezogenen Modulgruppen**“ geprägt.⁶⁸ Diese fassen jene Module zusammen, die für die Dauer eines solchen Prozesses temporär interagieren. Zusätzlich wurde im Eingangsbeispiel ebenfalls bereits der Begriff „**multifunktionales Kernmodul**“ eingeführt, der sich auf Module in Überschneidungsbereichen von Modulgruppen bezieht (vgl. Modul B in Abbildung 3-4). Das Präfix „Kern“ zielt dabei auf jene Module ab, die durch ihre hohe Einbindungskomplexität an besonders vielen Hauptfunktionen/ Prozessen beteiligt sind oder in

⁶⁷ Im Zusammenhang der Einführung dieses zentralen Industriebeispiels der vorliegenden Arbeit wurde bereits auf das hier theoretisch hergeleitete Thema vorgegriffen (vgl. Unterkapitel 2.2.1).

⁶⁸ Die Gebräuchlichkeit des Begriffes „Prozess“ im Kontext übergeordneter Funktionen in zahlreichen Branchen (insbesondere des Anlagenbaus) ist als Zeichen der Bedeutung der zeitlichen Komponente des Architekturbegriffs zu sehen (vgl. die auf Seite 33 referenzierte Architekturdefinition von CRAWLEY ET AL. [2004, S. 5]).

sehr unterschiedlicher Weise zu diesen beitragen (beispielsweise mit unterschiedlichen Subfunktionen oder prozessrelevanten Eigenschaftsausprägungen).

Auch auf den ebenfalls in Unterkapitel 3.2.2 beschriebenen Aspekt einer potenziellen mangelnden Umsetzbarkeit erwünschter Modularität infolge **inhärenter Systemzwänge** wurde bereits im Eingangsbeispiel Bezug genommen. Das geometrische Nadelöhr des Well Centers (vgl. Fußnote ²⁹), durch welches sämtliche Prozesse realisiert werden müssen, repräsentiert verfahrensbezogene Zwangsbedingungen, die es erfordern, dass Module in Zentrumsnähe an der Realisierung besonders vieler Prozesse beteiligt sind (bzw. dort temporär in Stellung gebracht werden). Hier liegt eine systeminhärente Umsetzungsbarriere bezüglich einer „vollständigen“ Anlagenmodularität (im Sinne der Kongruenz der geometrischen und funktional-interaktionsbezogenen Beziehungsstruktur), und damit bezüglich der potenziellen Nutzung mit dieser verbundener Vorteile vor.

3.3 Eigenschaften von Systemen und Modulen

3.3.1 Beschreibungsbezogene Eigenschaftssystematiken

Die Beschreibung eines Systems basiert nicht nur auf der Kenntnis der Systemelemente und deren Relationen, wie sie im vorigen Teilkapitel schwerpunktmäßig betrachtet wurden, sondern darüber hinaus „auf der Kenntnis der zeitpunktbezogenen Kombination aller Eigenschaften der systembildenden Elemente“ [PATZAK 1982, S. 32]. In der Vervollständigung seiner Systemdefinition um deren „zweites Bestimmungsstück“ beleuchtet PATZAK [1982, S. 32–39] das Thema Eigenschaften hinsichtlich verschiedener Gesichtspunkte und überführt diese in eine umfassende Eigenschaftssystematik. Allgemein definiert er Eigenschaften als die „*Beschaffenheit einer Sache in einer bestimmten Hinsicht*“. Die grundsätzliche Untergliederung seiner Eigenschaftssystematik unterscheidet nach den Kategorien Zustandseigenschaften, Wirkeigenschaften und Verhaltenseigenschaften. Zustands- und Wirkeigenschaften stellen **elementar erfasste, direkte Eigenschaften** dar und sind dem betrachteten unbelebten System unmittelbar zu eigen. Verhaltenseigenschaften hingegen sind **ganzheitlich erfasste, abgeleitete Eigenschaften**, die sich erst aus der Beziehung des betrachteten unbelebten Systems mit der Umwelt ergeben.

- **Zustandseigenschaften** (Beschaffenheit) sind originäre, unmittelbare Eigenschaften und stellen die Basis für alle weiteren Beschreibungsgrößen des Systems dar. Beispiele sind Abmessungen, Festigkeiten oder Struktureigenschaften (Anzahl, Anordnung).
- **Wirkeigenschaften** (Funktionen) bauen auf Zustandseigenschaften auf und beschreiben das Übertragungspotenzial eines Systems (Input-Output). Sie können sich auf die erwünschten Funktionen (Zweck) sowie unerwünschte Wirkungen oder Bedingungen (Nebenoutputs) beziehen.
- **Verhaltenseigenschaften** sind zusammengesetzte Eigenschaften, die auf den (elementar erfassten) Zustands- und Wirkeigenschaften eines Systems aufbauen, und sich erst aus dessen Auseinandersetzung mit der Umwelt ergeben. Beispiele sind Leistungsfähigkeit, Verfügbarkeit oder Betriebskosten.

Als **holistische Eigenschaften** beschreibt PATZAK Eigenschaften, die ein System als Ganzes besitzt, die jedoch als solche nicht in seinen Komponenten erfassbar sind.⁶⁹ Zur tatsächlichen Charakterisierung eines Systems werden die interessierenden **Eigenschaften** in Form einer Kombination aus **Merkmal** und zugehöriger **Ausprägung** dargestellt. Die vorgeschlagene Systematik enthält weitere Unterkategorien und Beispiele zur Verdeutlichung. Den Hauptnutzen sieht der Autor im Rahmen der Systemanalyse und Problemdefinition. Die Verwendung im Sinne einer Checkliste bietet sich beispielweise im Rahmen der Anforderungsklä rung an, welche durch eine problemspezifische Auswahl von Merkmalskomplexen mit jeweils geforderten Ausprägungen erfolgt.

Unter Bezugnahme auf [DIN 2330:1979] bieten EHRENSPIEL & MEERKAMM [2013, S. 30] mit der Unterteilung in **Beschaffenheitsmerkmale**, **Funktionsmerkmale** und **Relationsmerkmale** eine inhaltlich nahezu identische Systematisierung, jedoch mit abgewandelter Terminologie.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

Die Bezeichnung „**Relationsmerkmale**“ wird im Rahmen des Lösungsansatzes dieser Arbeit zur Modulentwicklung wieder aufgegriffen, da sie den Kern der Problemstellung verkörpert, die Eigenschaften des betrachteten Moduls hinsichtlich modulinterner Relationen, aber auch hinsichtlich der Relationen zu den Eigenschaften interagierender Module beziehungsweise des übergeordneten Systems durchgängig darzustellen. Dennoch wird hier klar herausgestellt, dass die inhaltliche Basis dieser Arbeit bezüglich der Unterscheidung von Eigenschaftsarten die Systematik von PATZAK darstellt, da diese umfangreicher und hinsichtlich der Definition präziser ist, und zudem der Bezug zur genannten Norm nicht mehr sinnvoll herzustellen ist.⁷⁰

3.3.2 Festlegungsbezogene Eigenschaftsdifferenzierung

Während die zuvor diskutierte Sichtweise auf Eigenschaften deren Erfassbarkeit zur Systembeschreibung in den Mittelpunkt stellt, richtet sich eine alternative Sichtweise nach der Frage der **direkten oder indirekten Gestaltbarkeit** von Eigenschaften durch den Entwickler. Diese Sichtweise ist weit verbreitet und stellt die Grundlage verschiedener Modellierungs- und Entwicklungsansätze dar. Unter Verwendung unterschiedlicher Begriffspaare unterscheiden die Autoren dabei prinzipiell zwischen Eigenschaften, die vom Entwickler unmittelbar beeinflusst beziehungsweise festgelegt werden können, und solchen, die das Verhalten beschreiben und nicht direkt festgelegt werden können.

Auf ANDREASEN [1980] geht dabei die begriffliche Unterscheidung zwischen *Characteristics* (**Merkmalen**) und *Properties* (**Eigenschaften**) zurück, die WEBER als Basis für seine eigenschaftsgetriebene Entwicklungsmethodik nutzt [WEBER ET AL. 2002; WEBER 2005]. Merkmale sind direkt beeinflussbar und beschreiben Struktur, Gestalt und Beschaffenheit eines Produkts während Eigenschaften dessen Verhalten beschreiben (z. B. Masse, Funktion,

⁶⁹ Auf diesen Aspekt wird in Abschnitt 3.3.3 noch näher eingegangen.

⁷⁰ Die aktuelle Ausgabe der Norm DIN 2330 [2013] führt nur noch Beschaffenheitsmerkmale und Relationsmerkmale auf und hat sich auch hinsichtlich der Begriffsinhalte stark von dem ursprünglichen Verständnis wegentwickelt.

Zuverlässigkeit, Kosten). Die Methodik setzt sich aus dem Produktmodellierungsansatz „**Characteristics-Properties Modeling**“ (CPM) und dem darauf aufbauenden Entwicklungsprozessmodell „**Property-Driven Development**“ (PDD) zusammen.

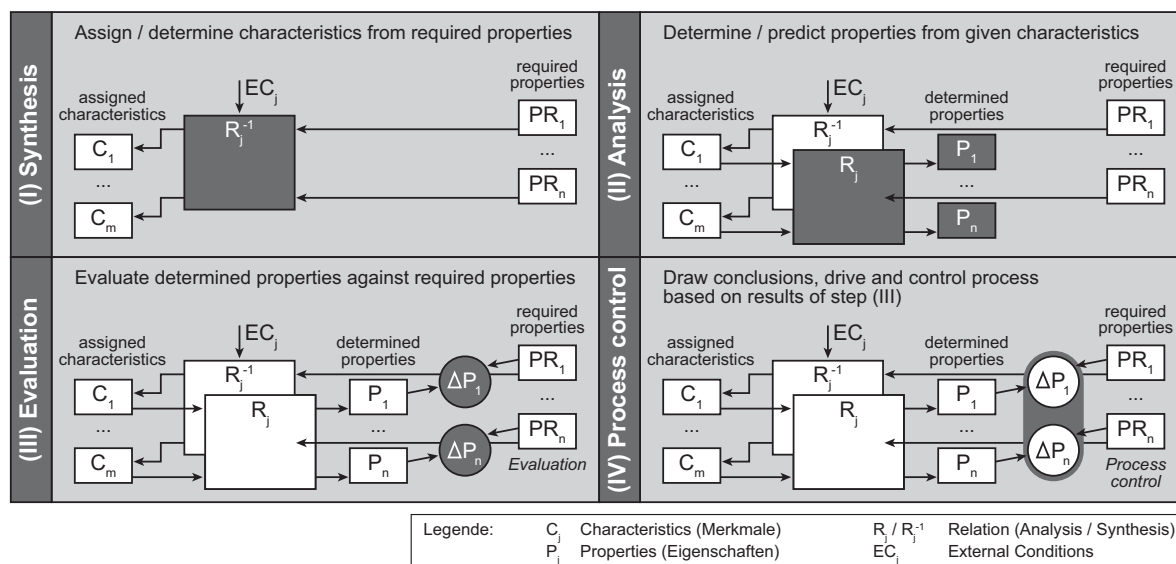


Abbildung 3-6: Grundprinzip des CPM-Ansatzes und dessen Nutzung im Entwicklungsprozess nach dem PDD (ein Zyklus dargestellt; Abbildung in Anlehnung an WEBER [2005])

Im Produktmodell des CPM, das den Ordnungsrahmen für die Methodik darstellt, spielen die Relationen, welche jede Eigenschaft mit den Merkmalen verbindet, aus deren Zusammenwirken sie resultieren, eine zentrale Rolle. Sie enthalten die Information oder das Wissen, welche notwendig sind, um im Analysefall aus den bekannten oder festgelegten Merkmalen eines Produkts dessen Eigenschaften zu bestimmen beziehungsweise vorauszusagen. Im Synthesefall, der die Kernaktivität der Produktentwicklung darstellt, müssen ausgehend von geforderten Eigenschaften – denn diese sind in erster Linie kundenrelevant – die Produktmerkmale so festgelegt werden, dass aus ihrem Zusammenwirken ebenjene Eigenschaften in der geforderten Ausprägung resultieren. Zur Bestimmung der Relationen bei Analyse und Synthese wird auf Modelle sowie Methoden- und Werkzeugunterstützung zurückgegriffen.⁷¹ Eine Herausforderung bei der Synthese stellen die Zielkonflikte dar, die daraus resultieren, dass verschiedene SOLL-Eigenschaften die gleichen Merkmale in unterschiedlicher Ausprägung fordern.

Neben weiteren Aspekten, die der CPM-Ansatz abbildet⁷², bildet er vor allem die Grundlage für das „Property-Driven Development“ (PDD). In dieser Interpretation des

⁷¹ Beispiele dazu finden sich in [WEBER 2005; WEBER ET AL. 2002; DEUBEL 2007; KÖHLER 2009].

⁷² Die wichtigsten sind: externe Bedingungen der Entwicklung; Abhängigkeiten der Merkmale untereinander (innere Abhängigkeiten); zusätzliche Eigenschaften, die gegenüber den ursprünglich geforderten im Lauf der Produktentwicklung an Relevanz gewinnen; Lösungsmuster zum Umgang mit wiederkehrenden Lösungselementen; Wechselwirkungen zu Partnersystemen (z. B. Fertigungssystem) im Sinne eines Design for X und eines Design of X; Einfluss von Modellierungsbedingungen. Details können ebenfalls den in der vorigen Fußnote genannten Quellen entnommen werden.

Produktentwicklungsprozesses werden Zyklen bestehend aus sequenziellen Synthese-, Analyse- und Evaluationsschritten durchlaufen. Basierend auf einem Abgleich der ermittelten Eigenschaften der aktuellen Lösung mit den geforderten Eigenschaften werden Schlussfolgerungen hinsichtlich der als nächstes zu betrachtenden oder zu verbessernden Eigenschaften getroffen. Die ermittelte Abweichung zwischen *SOLL*- und *IST*-Eigenschaften kann somit als Antrieb des Entwicklungsprozesses gesehen werden.

In ähnlicher Weise werden Eigenschaften im **Axiomatic Design** nach SUH [1990] unterschieden, wobei **functional requirements (FR)** die funktionale Domäne repräsentieren und beschreiben „*was erreicht werden soll*“ und **design properties (DP)** die physische Domäne („*wie es erreicht werden soll*“). Ziel des Entwicklungsprozesses ist die Verknüpfung dieser Domänen auf allen Hierarchieebenen durch das Festlegen der DPs, sodass alle FRs erfüllt sind. Dies geschieht in einem Wechselspiel zwischen den beiden Domänen, das mit horizontalen Iterationen, sowie mit einer fortschreitenden Dekomposition der FRs und DPs einhergeht.⁷³ DPs auf einer Ebene können daher Bedingungen (*constraints*) für die FRs der nächsten Ebene darstellen.

Kernelemente des Ansatzes sind dessen mathematische Formalisierung sowie zwei Axiome, deren Befolgung im Sinne eines „guten Designs“ anzustreben sei. FRs und DPs werden als Vektoren behandelt, die über eine *Design Matrix A* nach der Gleichung $\{FR\} = [A]\{DP\}$ verknüpft sind, was die Annahme linearer beziehungsweise linearisierter Abhängigkeiten voraussetzt. Da das wesentliche erste Axiom die Unabhängigkeit der FRs fordert (was bedeutet, dass die Erfüllung einer FR durch die Änderung eines DPs erfolgen kann, ohne dass andere FRs betroffen sind), ist eine ideale Lösung im Sinne des Axiomatic Designs charakterisiert durch eine diagonale Matrix, sowie eine gleiche Anzahl der Elemente in $\{FR\}$ und $\{DP\}$. Daraus resultiert die angestrebte Eins-zu-eins-Verknüpfung zwischen FRs und DPs.⁷⁴ Diese Forderungen stellen einen essenziellen Unterschied zum CPM-Ansatz nach WEBER [2005] dar, in welchem auch nicht-lineare Relationen berücksichtigt werden und – vor allem bei komplexen Produkten – von einer höheren Anzahl der Merkmale gegenüber der Eigenschaften ausgegangen wird. Die Annahmen erlauben zwar erst die Umsetzung der mathematischen Formalisierung, stellen aber zugleich einen häufig aufgegriffenen Kritikpunkt der Realisierbarkeit in der praktischen Arbeit der Produktentwicklung dar.

QAMAR & PAREDIS [2012] streben im Kontext der Entwicklung mechatronischer Produkte durch eine formale Differenzierung von **Synthese- und Analyseeigenschaften** eine erhöhte Konsistenz von Abhängigkeiten innerhalb und zwischen Modellen an. Dadurch soll eine Verbesserung der Qualität von Entscheidungen (besonders in den frühen Entwicklungsphasen) sowie eine bessere Ressourceneffizienz im Entwicklungsprozess erreicht werden. Über Syntheseeigenschaften spezifiziert der Entwickler das System hinsichtlich bestimmter Größen (z. B. durch einfaches Festlegen oder durch zuvor definierte Parametrisierungen), Analyseeigenschaften resultieren aus den – durch die Fähigkeiten und Hilfsmittel des

⁷³ Auf dieses sogenannte „Zick-Zack-Prinzip“ wurde bereits im Zusammenhang mit der Modulbildung eingegangen (vgl. Abbildung 3-5).

⁷⁴ Diesen Idealfall nennt SUH *uncoupled design*, der von den beiden weiteren Ausprägungen des *coupled design* und des *decoupled design* zu unterscheiden ist [SUH 1990].

Entwicklers beeinflussten – Abschätzungen oder Berechnungen auf Basis festgelegter Syntheseigenschaften. Abhängigkeiten beinhalten dabei (ähnlich wie die Relationen bei WEBER [2005]) die für die Nachvollziehbarkeit des Ursprungs einer Syntheseentscheidung oder eines Analyseergebnisses erforderlichen Informationen. Diese stellen im Falle der Analyse beispielsweise zugrunde gelegte mathematische Modelle dar. Im Falle der Synthese ist dies ebenso möglich, das Ergebnis muss aber nicht zwangsläufig durch den Entwickler übernommen werden – er hat also einen direkten Einfluss auf die Abhängigkeit, was in dem von QAMAR & PAREDIS [2012] geforderten Modell explizit abgebildet werden muss, um die angestrebte Konsistenz über den Entwicklungsprozess sicherzustellen. Als weitere Maßnahme wird die Konsistenz über Analyse- oder Syntheseigenschaften, die Element mehrerer domänenspezifischer Modelle sind, über Listen für „geteilte Eigenschaften“ sichergestellt. Gegenstand aktueller Forschung ist die Untersuchung bestehender Abhängigkeitsmodellierungsansätze wie SysML oder die Design Structure Matrix (DSM) hinsichtlich ihrer Potenziale durch die explizite Abbildbarkeit der Abhängigkeiten innerhalb des vorgeschlagenen Sprachkonzepts das Konsistenzmanagement zu verbessern.

3.3.3 Architekturbezug von Eigenschaften

Bei der Frage der Gestalt- und Analysierbarkeit von Eigenschaften spielt neben den bisher diskutierten Aspekten der Erfassbarkeit und (Un-)mittelbarkeit der Festlegung auch der Bezug zur Produktarchitektur eine wichtige Rolle. Diese stellt im Hinblick auf die Modulentwicklung einen Schwerpunkt dieser Arbeit dar. So unterscheidet KESPER [2012, S. 18] beispielsweise zwischen **Komponenteneigenschaften** und **Systemeigenschaften**.⁷⁵ Komponenteneigenschaften beziehen sich auf eine spezifische Komponente (beispielsweise ein Bauteil), können jedoch zu den Systemeigenschaften des Systems beitragen, dem sie zugehören. So trägt der Durchmesser eines Kolbens als Komponenteneigenschaft zur Systemeigenschaft Hubraum eines Systems Motor bei, das sich erst aus dem Zusammenwirken weiterer Komponenteneigenschaften (z. B. dem Hub) und Systemeigenschaften (z. B. Anzahl der Zylinder) ergibt.

WALTHER [2001, S. 32 ff.] trifft innerhalb dieser Eigenschaftsklassen jeweils zwei weitere wichtige Unterscheidungen. So differenziert er bezüglich Komponenteneigenschaften (die er Elementeigenschaften nennt) zwischen **technischen Eigenschaften**, die die technische Ausbildung einer Komponente selbst beschreiben, und **systembedingten Eigenschaften**, die sich auf die Beschreibung der Komponente innerhalb des übergeordneten Systems beziehen (z. B. Ort, Anordnung). Bei den Systemeigenschaften unterscheidet er zwischen **additiven Systemeigenschaften**, die sich aus der Vererbung der Eigenschaften seiner Komponenten ergeben (z. B. die Systemmasse, die sich aus den einzelnen Massen der Komponenten summiert), und **ganzheitlichen Systemeigenschaften**, die aus der Überlagerung unterschiedlicher Eigenschaften der einzelnen Komponenten resultieren (beispielsweise der Komfort eines Fahrzeugs, zu dem unzählige Eigenschaften wie die Federkonstante der Federung, die

⁷⁵ KESPER [2012] verwendet „Merkmale“ statt „Eigenschaften“. Im Rahmen dieser Arbeit soll jedoch möglichst einheitlich der Begriff Eigenschaften verwendet werden, wo keine Differenzierungsaspekte relevant sind (wie bspw. im zuvor diskutierten CPM-Ansatz), um Fehlinterpretationen möglichst zu minimieren.

Oberflächenbeschaffenheit der Sitzpolster oder auch die Geräuschkämpfungsfähigkeit der Türdichtungen beitragen).

Additive Eigenschaften stellen ihrerseits eine Teilklasse der Eigenschaften dar, mit denen sich KORTLER [2014, S. 119] aus Sicht der Eigenschaftsabsicherung variantenreicher Produkte beschäftigt. Er unterscheidet in diesem Zusammenhang vier Fälle, nach denen sich Systemeigenschaften (die er Gesamteigenschaften nennt) aus Komponenteneigenschaften **zusammensetzen** können:

1. „Die Ausprägung der Gesamteigenschaft richtet sich nach der Komponente mit der geringsten Ausprägung der Eigenschaft“ (z. B. wird die Sensibilität eines Systems durch die empfindlichste Komponente bestimmt).
2. „Die Ausprägung der Gesamteigenschaft richtet sich nach der Komponente mit der größten Ausprägung der Eigenschaft“ (z. B. bestimmt die Komponente mit der stärksten Geräuschemission – zumindest bei stark unterschiedlichen Amplituden – das Betriebsgeräuschniveau des Gesamtsystems).
3. „Die Ausprägung der Gesamteigenschaft ergibt sich aus der Summe der Ausprägungen der Komponenteneigenschaften“ (z. B. ergibt sich die Gesamtmasse aus der Summe der Masse der Komponenten). Dieser Fall entspricht den additiven Systemeigenschaften von WALTHER [2001].
4. „Die Ausprägung der Gesamteigenschaft hängt von den Komponenteneigenschaften ab, ihre Zusammensetzung ist jedoch ambivalent.“

Bei der Kategorisierung dieser Zusammensetzungen konzentriert sich KORTLER [2014] allerdings auf die Betrachtung jeweils gleicher Eigenschaften (im Sinne des zugehörigen Merkmals), sowohl der zusammenwirkenden Komponenten, als auch des Systems.

Wurde zuvor festgestellt, dass verhaltensbezogene Eigenschaften (gegenüber struktur-, gestalt- und beschaffenheitsbezogenen Eigenschaften) jene sind, die für den Kunden die höchste (oder sogar alleinige) Relevanz haben, so wird diese **erhöhte Kundenrelevanz** auch den Systemeigenschaften gegenüber den Komponenteneigenschaften beigemessen (z. B. [VON REGIUS 2006, S. 37 ff.; WALTHER 2001, S. 34]).⁷⁶ Im Kontext der Fahrzeugentwicklung beschreibt FRANKE [2014, S. 182] es als besondere Herausforderung der Vorentwicklung auf Komponentenebene, neben dem Nutzen für den Kunden durch die Eigenschaften, die mit dem Zweck der Komponente zusammenhängen, die weiteren Auswirkungen auf Gesamtfahrzeugebene im Blick zu haben und abzuschätzen.

Wie in Abschnitt 3.3.1 bereits erwähnt, nehmen **holistische Eigenschaften** im Eigenschaftsverständnis nach PATZAK [1982] ebenfalls eine Sonderrolle ein. Sie stellen Eigenschaften dar, die ein System als Ganzes besitzt, die jedoch *als solche* nicht in seinen Komponenten erfassbar sind. Diese entstehen durch die Überlagerung einzelner spezifischer Eigenschaften beteiligter

⁷⁶ Dies muss allerdings auch vor dem Hintergrund der Wahrnehmbarkeit der Komponenteneigenschaften durch den Kunden betrachtet werden. So ist ein Autofahrer sicher nicht an dem genauen Mechanismus des elektrischen Schiebedachs interessiert, während die Kinematik und die Bewegungsgeschwindigkeit eines mechanischen Moduls einer großen Anlage für den einzelnen Bediener durchaus Relevanz besitzen kann.

Komponenten und sind prinzipiell⁷⁷ durch eine Wirklogik beschreibbar. Damit nimmt PATZAK einen **reduktionistischen Standpunkt** ein, der im Kontrast zum Standpunkt der **Emergenz** steht, nach der bestimmte Verhaltenseigenschaften höherer Ordnung prinzipiell nicht vorher-sagbar sind. Diesen Standpunkt vertreten beispielsweise ULRICH & EPPINGER [2004, S. 176], die dafür den Begriff „*incidental interactions*“ nutzen, sowie CRAWLEY ET AL. [2004, S. 2 f.] und HONOUR & BROWNING [2007], die jeweils erwünschtes von unerwünschtem emergentem Verhalten unterscheiden. Am Beispiel eines Fahrzeugs – die Möglichkeit einen ruhigen Rückzugsraum zu haben war anfangs nicht abzusehen, genauso wenig wie die unerwünschte Eigenschaft des Tötungspotenzials – erläutern HONOUR & BROWNING [2007], dass aus emergenten Eigenschaften über die Zeit Eigenschaften werden können, die bewusst in die Konzeption einfließen (z. B. des Komforts oder der Sicherheit).

AUGHENBAUGH & PAREDIS [2004] integrieren mit ihrer Eigenschaftsklassifikation die Architektursicht und die typologische Sicht (vgl. Kapitel 3.3.1). Sie klassifizieren Systemeigenschaften nach der Komplexität ihrer **Aggregation** aus Komponenteneigenschaften. In einem vierstufigen Schema unterscheiden sie folgende Klassen:⁷⁸

1. Kompositionsabhängige Eigenschaften, die sich aus der Addition von Komponenteneigenschaften zusammensetzen, unabhängig davon, wie deren Architekturbeziehungen gestaltet sind (z. B. Masse)
2. Strukturabhängige Eigenschaften, die sich aus der Überlagerung additiver und architekturbezogener Aggregation ergeben (z. B. Kosten eines Systems, die sich einerseits aus den Kosten der Komponenten ergeben und andererseits aus der Art, wie diese zusammenhängen, was z. B. die Montagekosten beeinflusst).
3. Operationsabhängige Eigenschaften, die davon abhängen, wie die Komponenten bezüglich einer spezifischen Eigenschaft interagieren und häufig über probabilistische Modelle abgeschätzt werden können (z. B. Systemzuverlässigkeit, die von der Zuverlässigkeit der Komponenten abhängt, und davon, ob diese parallel oder seriell zusammenwirken).
4. Emergente Eigenschaften, die das Verhalten auf Systemebene beschreiben, und sich aus den Abhängigkeiten verschiedener operationsabhängiger Eigenschaften ergeben. In letzter Instanz sind diese entscheidend für die Frage *wie gut* ein System seinen Systemzweck erfüllt.

3.3.4 Weitere Perspektiven der Eigenschaftsklassifikation

Um den Bereich der Eigenschaften abzurunden, soll abschließend noch auf die Perspektiven des Lebenszyklusbezugs sowie des Bezugsobjekts von Eigenschaften eingegangen werden.

Eigenschaftsgruppen, welche im Zusammenhang mit einem bestimmten Entwicklungsziel *X* stehen, das seinerseits als übergeordnete Eigenschaft aufgefasst werden kann, werden in den sogenannten **Design for X**-Ansätzen gebündelt betrachtet (z. B. [MEERKAMM 1994]). In vielen Fällen bezieht sich ein Entwicklungsziel auf eine bestimmte Lebenszyklusphase wie

⁷⁷ „unabhängig davon, ob diese bereits von der Menschheit verstanden ist“ [PATZAK 1982, S. 36]

⁷⁸ Motivation dieser Klassifikation ist die Identifikation und Auswahl geeigneter Simulationsansätze in Abhängigkeit der Art der interessierenden Eigenschaften.

beispielsweise die *Montage*, die *Wartung* oder das *Recycling*, es können aber auch phasenübergreifend relevante Eigenschaften im Zentrum der Betrachtung stehen (z. B. im Rahmen des *Design-for-Cost* oder von *Eco-Design-Richtlinien*). Für beide dieser Fälle stellt HEPERLE [2013, S. 92–102] strukturbasierte Ansätze vor, lebenszyklusbezogene Abhängigkeiten zwischen den Eigenschaften zu ermitteln und zu systematisieren.

Starke Überschneidungen mit dem Design for X hat der mittlerweile vor allem im US-amerikanischen Raum etablierte Forschungsbereich der Lebenszykluseigenschaften – der sogenannten „*ilities*“⁷⁹. Nach CRAWLEY ET AL. [2004] und DE WECK ET AL. [2011, S. 65–96] sind Lebenszykluseigenschaften dadurch charakterisiert, dass Aussagen über ihren Erfüllungsgrad häufig erst lange Zeit nach der Inbetriebnahme eines Systems möglich werden. Im Gegensatz zu Eigenschaften, die sich auf die primäre Funktion beziehen, und deren Wert unmittelbar beim Betrieb ersichtlich ist, sei dies im Falle von „*ilities*“ erst unter der Betrachtung größerer Zeiträume und verschiedener Stakeholder möglich. Dies wird vor allem bei der Betrachtung änderungsrelevanter Eigenschaften wie *scalability* oder *adaptability* deutlich, welche das Wertpotenzial eines Systems über seine Lebensdauer erhöhen sollen, und besonders über die Architekturgestaltung adressiert werden [ROSS ET AL. 2008]. Die Bewertbarkeit und die Frage des Vorliegens generischer Abhängigkeiten oder zumindest hierarchischer Grobeinordnungen sind Gegenstand aktueller Forschung (z. B. [DE WECK ET AL. 2012]).

Abschließend ist die Spezifikation des **Bezugsobjektes** einer Eigenschaft als wichtiges Kriterium zu betrachten. So fordert MICOUIN [2008] in seiner *Eigenschaftsbasierten Anforderungstheorie* die Unterscheidung zwischen *continuants* (physische Dinge, beispielsweise die Tragfläche eines Flugzeugs) und *occurents* (Prozesse, wie z. B. die Landung des Flugzeugs) als Bezugsobjekte einer Eigenschaft. So ist es beispielsweise bei der Eigenschaft *Verfügbarkeit* im Rahmen der Anforderungskklärung wichtig, eindeutig festzulegen, ob damit der Prozess (oder die Funktion) gemeint ist, oder die Komponente beziehungsweise das Teilsystem, das diesen ausführt (wichtig bezüglich der Fragestellung von Redundanzen oder Rückfallebenen). Eine ähnliche Unterscheidung treffen HUBKA & EDER [1988]: in ihrer *Theorie Technischer Systeme* wird das zu entwickelnde technische *System* als Befähiger eines *Prozesses* der Umwandlung von *Operanden* betrachtet, woraus die Forderung resultiert, die Objekte innerhalb dieser Domänen als Bezugsobjekte von Eigenschaften im Entwicklungsprozess differenziert zu betrachten.

3.3.5 Teilfazit

Eigenschaften stellen den zentralen Betrachtungsgegenstand des Qualitätsbegriffs und damit der Qualitätsorientierung dar (wie in Kapitel 4.1 noch ausführlich hergeleitet wird) und sind dadurch von zentraler Bedeutung für diese Arbeit. Innerhalb der Systemtheorie haben sich unterschiedlichste Perspektiven auf Eigenschaften und Zusammenhangsbeschreibungen zwischen Eigenschaften herausgebildet. Wie gezeigt wurde, steht dabei meist eine bestimmte Perspektive im Vordergrund, auch dort, wo eine Verschränkung mehrere Perspektiven

⁷⁹ Der Name ergibt sich aus der Tatsache, dass diese im Englischen häufig auf dieses Suffix enden, z. B. *usability*, *reliability*, aber auch *safety* oder *robustness*.

vorgenommen wird. Beispielsweise stehen bei EHRENSPIEL & MEERKAMM [2013] (ähnlich wie bei PATZAK [1982]) Art und Erfassbarkeit im Mittelpunkt der Systematisierung, während die Unmittelbarkeit der Festlegbarkeit lediglich ergänzend diskutiert wird. Da diese in dieser Systematik jedoch kein klassifizierendes Merkmal darstellt, entsteht ein unscharfes Bild: so ist die Unmittelbarkeit der Festlegung zwar beispielsweise Beschaffenheitsmerkmalen vorbehalten, diese können aber ebenso mittelbar festgelegt werden (z. B. die Masse eines Lagers, die sich aus dessen Abmessungen ergibt). Es ist daher keine eindeutig-logische Transformierbarkeit zwischen den in den Unterkapiteln 3.3.1 und 3.3.2 diskutierten Sichtweisen gegeben.

Die Autoren der verschiedenen deskriptiven Klassifizierungsansätze stellen vor allem deren Nutzen zur Transparenzschaffung und zum Systemverständnis in den Vordergrund, wodurch in erster Linie Problemdefinition und Systemanalyse unterstützt werden. Vielfach besteht jedoch eine Lücke zur methodischen Nutzung dieses wertvollen Wissens, welche bereits durch HUBKA & EDER [1988, S. 115] bemängelt wurde. Nichtsdestotrotz lässt sich auf Basis des Standes der Technik konstatieren, dass dem Ausbau der deskriptiven Ansätze durch weitere Perspektiven in den letzten Dekaden weiterhin viel Aufmerksamkeit gewidmet wurde, während dies für deren Überführung in entwicklungsmethodische Ansätze nicht behauptet werden kann. Dies zeigt sich auch im Zusammenhang der Methodik des Quality Function Deployment, welche im Rahmen dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielt, und die in Kapitel 4.3 ausführlich behandelt wird. Kernelement des QFD ist die Gegenüberstellung von geforderter Eigenschaften und Qualitätsmerkmalen des Produkts aus technischer Sicht. Dennoch wird keine ausreichende Klarheit geschaffen, innerhalb welcher dieser Domänen welche Eigenschaftstypen in welchem Kontext geeignet sind.⁸⁰

Im Gegensatz zu den deskriptiven Ansätzen zielen die Ansätze von WEBER und SUH explizit auf die Unterstützung der Systemsynthese ab. Die (modulare) Systemstruktur wird dabei im Axiomatic Design zwar konkret abgebildet, wobei die Systemdekomposition mit der stufenweisen Auflösung der Anforderungen und Konkretisierung der Eigenschaften einhergeht. Die Betrachtung der in dieser Arbeit fokussierten Entwicklungssituation, bei der das einzelne Modul den zentralen Entwicklungsgegenstand darstellt, der im Kontext seiner Einbettung im Gesamtsystem gestaltet und bewertet werden muss, ist jedoch kein unterstütztes Szenario.

3.4 Module im Innovationskontext

3.4.1 Innovationsbegriff und -dimensionen

Den Begriff der Innovation ganzheitlich aufzuarbeiten würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.⁸¹ Nach aktuellem Stand der Technik stellt zum einen der **Neuheitsgrad** eine bedeutende Differenzierungsdimension von Innovationen dar, zum anderen ist eine **erfolgreiche Markteinführung** beziehungsweise **wirtschaftliche Verwertbarkeit** ein wichtiger

⁸⁰ Vgl. hierzu auch Teilfazitkapitel 4.4.2

⁸¹ Hierzu sei auf Standardwerke wie beispielsweise [HAUSCHILDT & SALOMO 2010] oder [VAHS & BREM 2013] verwiesen.

Abgrenzungsaspekt gegenüber Inventionen (Erfindungen) [DISSELKAMP 2012; VAHS & BREM 2013; HAUSCHILDT & SALOMO 2010; GROBKLAUS 2008]. Hinsichtlich der ersten Dimension merken BULLINGER & SEIDEL [1994, S. 37] an, dass sich das Verständnis auch insofern gewandelt hat, als der Begriff heute nicht mehr Innovationen mit sprunghaften, extremen Veränderungen vorbehalten ist, sondern auch auf kontinuierliche Veränderungen und Verbesserungen anwendbar ist. Auch hinsichtlich des **Gegenstandsbereichs** einer Innovation gibt es unterschiedliche Klassifikationsansätze wie beispielsweise jenen von KINKEL ET AL. [2004, S. 11], die zwischen Prozess- und Produktinnovationen einerseits, sowie zwischen technischen und nicht-technischen Innovationen andererseits differenzieren. Die dargestellten Dimensionen finden sich auch in der von GOMERINGER [2007, S. 165 ff.] vorgestellten Sammlung von Innovationsklassifikationen, die einen guten Überblick über die gängigsten Klassifikationsdimensionen gibt (Abbildung 3-7):

| Einfache Klassifikationen von Innovation | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|
| Gegenstandsbereich | Produktinnovationen | Serviceinnovationen | Prozessinnovationen | Soziale und organisationale Innovationen | Mischformen |
| Produktinnovationstypen aus Kundensicht | Substitutive Innovation | | Wertschöpfungsinnovation | | Innovationen für völlig neue Märkte |
| Neuheitsgrad | Basisinnovationen | Verbesserungsinnovationen | Anpassungsinnovationen | Imitation | Scheininnovationen |
| Innovationsanstoß | Market Pull | | Technology Push | | Antizipation |
| Veränderungsumfang | Inkrementelle Innovationen | | Strategische Innovationen | | Durchbruchinnovationen |
| Kompetenzbasis | Kompetenzverstärkende Innovationen | | | Kompetenzvernichtende Innovationen | |
| Komplexität | Innovationen in nicht zusammengesetzten Produkten | Innovationen in einfach zusammengesetzten Produkten | Innovationen in komplex zusammengesetzten geschlossenen Produktsystemen | | Innovationen in komplex zusammengesetzten offenen Produktsystemen |
| Kombinierte Klassifikationen von Innovation | | | | | |
| Zweck-Mittel Beziehung | Inkrementelle Innovation | Zweckinduzierte Innovation | Mittelinduzierte Innovation | Radikale Innovation | |
| Innovationsarchitektur | Inkrementelle Innovation | Modulare Innovation | Systeminnovation | Architekturelle Innovation | |

Abbildung 3-7: Innovationsklassifikationen⁸² nach GOMERINGER [2007, S. 166]

⁸² Details zu den einzelnen Dimensionen sowie den Ausprägungsunterschieden können GOMERINGER [2007, S. 165 ff.] entnommen werden.

3.4.2 Architekturbezug von Innovationen

Innerhalb der Klassifikationen nach Abbildung 3-7 stellen die Dimensionen „Komplexität“ und „Innovationsarchitektur“ einen konkreten Bezug zur Produktarchitektur her, und somit zur Möglichkeit, Anhaltspunkte für Differenzierungsaspekte von Innovationen hinsichtlich verschiedener Produkt- oder Systemebenen zu finden. **Komplexität** ist in diesem Kontext eine über die Subsysteme eines Produktes definierte Größe. Dabei steigt diese mit der Anzahl der Subsysteme und damit der Problematik bei deren Vernetzung, sowie mit der Frage ob es sich um örtlich integrierte Systeme mit einer eindeutig festgelegten Anzahl an Subsystemen handelt (komplex zusammengesetzte geschlossene Produktsysteme) oder um örtlich verteilte Systeme deren Subsysteme hinsichtlich ihrer Anzahl nicht festgelegt sind (komplex zusammengesetzte offene Produktsysteme) [GOMERINGER 2007, S. 166]. Die Komplexität der Produktsysteme stellt dabei einen Treiber für die bei der Planung zu beherrschende Alternativenvarietät, und damit für die Komplexität der dafür nötigen Prozesse dar.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

Allerdings wird hier keine Aussage darüber getroffen, was dies für die Subsysteme bzw. Module und deren Planung bedeutet, insbesondere bezüglich der Wechselwirkungen zwischen Subsystem- und Systemkomplexität.

Die Dimension der **Innovationsarchitektur** greift ein Konzept von HENDERSON & CLARK [1990] auf. Diese bieten ein Framework an, das die Differenzierung zwischen inkrementeller und radikaler Innovation – welche zwar von vielen Autoren verwendet wird, über deren genaue Bedeutung jedoch wenig Einigkeit besteht [GOMERINGER 2007, S. 167] – anhand systemhierarchischer Aspekte vornimmt (Abbildung 3-8). Die Auswirkungen einer Innovation auf einzelne Komponenten (Module) und deren technologische Kernkonzepte ist durch die horizontale Achse repräsentiert, während sich die vertikale Achse auf die Auswirkungen auf die Verbindungen zwischen Komponenten bezieht.

| | | Kernkonzepte der Komponenten | |
|-------------------------------------|-------------|------------------------------|----------------------|
| | | verbessert | grundlegend geändert |
| Verbindung zwischen den Komponenten | unverändert | Inkrementelle Innovation | Modulinnovation |
| | verändert | Architekturinnovation | Radikale Innovation |

Abbildung 3-8: Architekturorientiertes Framework zur Innovationsdefinition (nach HENDERSON & CLARK [1990])

Inkrementelle und radikale Innovationen stellen die Extremausprägungen dar. Im Falle radikaler Innovationen werden Komponenten mit gänzlich neuen technologischen Kernkonzepten innerhalb einer neuen Architektur zusammengesetzt. Inkrementelle Innovation hingegen basiert auf der Verbesserung einzelner Komponenten unter Beibehaltung deren grundlegender Kernkonzepte wie auch ihrer Verbindungsstruktur. Innerhalb dieses Spektrums gibt es zwei

weitere Fokusbereiche für Innovationen: Bei **Architekturinnovationen** handelt es sich um die Rekonfiguration existierender Systeme, bei welcher existierende Komponenten in neuer Weise zusammengesetzt werden. Werden die technischen Konzepte feststehender Module verändert, während die Systemarchitektur unverändert bleibt, liegt eine **Modulinnovation**⁸³ vor. Die Innovationsarten sind dabei nicht unabhängig voneinander [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 191 f.]. So sind Architekturinnovationen beispielsweise häufig die Folge von Modulinnovationen, welche die Möglichkeiten für neue Interaktionen einführen [HENDERSON & CLARK 1990]. Letztere Autoren beschreiben das Phänomen, dass sich in vielen Industrien nach einer anfänglichen „Phase der Konfusion“, in der unter den Wettbewerbern wenig Einigkeit herrscht, aus welchen Subsystemen ein Produkt bestehen, und wie deren Verbindungsstruktur gestaltet sein sollte, meist ein dominierendes Konzept durchsetzt und etabliert, welches schließlich nicht mehr jedes Mal infrage gestellt wird, wenn über ein zukünftiges Produkt entschieden wird.⁸⁴ Auch CRAWLEY ET AL. [2004, S. 4] vertreten die These, dass – besonders im Zusammenhang mit komplexen Systemen – es dem Normalfall entspricht, dass sich die Architekturen innerhalb einzelner Industrien oder Systemklassen historisch evolutiv herausbilden, wenngleich jedes individuelle System für sich mehr oder minder „Top-Down“ entwickelt wird (s. Kapitel 3.5.1). GORBEA [2011, S. 24] konstatiert, dass je komplexer die Systeme einer Industrie mit der Zeit werden, desto eher scheint Innovation auf Basis der Verbesserung von Komponenten geeignet, ein besser funktionierendes Gesamtsystem zu erreichen.⁸⁵

Dennoch ist auch in diesem konsolidierten Stadium neben komponenten- beziehungsweise technologiebezogenem Wissen architekturbezogenes Wissen wichtig, was BALDWIN & CLARK [2006] am Beispiel von Engpasskomponenten in komplexen Systemen verdeutlichen: *Absolute Engpasskomponenten* stellen das schwächste Glied einer Kette dar (z. B. die langsamste Station innerhalb einer Montagelinie), und die Verbesserung jeder anderen Komponente ist ineffektiv für die Systemverbesserung (bezüglich einer betrachteten Größe). *Relative Engpasskomponenten* wirken sich in Systemen aus, in der sich relevante Größen additiv zur Gesamtsystemgröße aggregieren (z. B. die Rechenzeit einer Software, die sich aus der Leistung einzelner Rechensequenzen ergibt). Hier tragen zwar sämtliche Komponenten zur Gesamtleistung bei, es sind jedoch nicht alle Komponenten gleichsam interessant für Verbesserungen. In beiden Engpassfällen ist architekturbezogenes Wissen notwendig, um die entsprechende Schwachstelle zu lokalisieren und zu charakterisieren, und Komponenten- / Technologiewissen um die Schwachstelle zu beheben, was im Framework nach HENDERSON & CLARK [1990] (Abbildung 3-8) als Modulinnovation einzustufen ist [BALDWIN & CLARK 2006]. Nach der Behebung ist wiederum architekturbezogenes Wissen nötig, um die anschließend als Schwachstellen auftretenden Engpässe zu identifizieren.

⁸³ Fokus der vorliegenden Arbeit.

⁸⁴ Die Autoren machen dies am Beispiel des Automobils fest, wo sich nicht nur der Verbrennungsmotor, sondern auch die Übertragung seiner Antriebsenergie über Getriebe und Fahrwerk auf die antreibenden Rädern, sowie seine Montage am Fahrzeugrahmen und nicht an den Achsen als Hauptkonzept durchgesetzt hat und über ein Jahrhundert beibehalten wurde [HENDERSON & CLARK 1990].

⁸⁵ Gleichwohl weist [GORBEA 2011, S. 24] auf die Notwendigkeit hin, dass Unternehmen mit inkrementeller Innovationsstrategie zur Wahrung ihrer Wettbewerbsfähigkeit stets den Zielbereich ihrer Kernkompetenzen hinterfragen müssen, wenn sich der Eintritt von Architekturinnovationen in den Markt abzeichnet.

GÖPFERT [2009, S. 83–87] liefert einen weiteren Vorschlag, die Operationalisierung des Veränderungsgrads infolge einer Innovation von Architekturmerkmalen abzuleiten, der sich jedoch stärker an der Systemhierarchie orientiert (Abbildung 3-9). In diesem linearen Schema entsprechen **Weiterentwicklungsprojekte** inkrementellen Verbesserungen bei denen die Produktarchitektur unverändert übernommen wird. **Plattformprojekte** – die Bezeichnung soll zum Ausdruck bringen, dass diese häufig Grundlage einer neuen Produktgeneration sind – bringen wesentliche Modifikationen bestehender Architekturen mit sich um neue Anforderungen zu realisieren, wodurch auch Modifikationen in den Relationen übernommener Komponenten erforderlich sein können. Die Abkehr von bestehenden Architekturen findet in **radikalen Neuentwicklungsprojekten** statt.

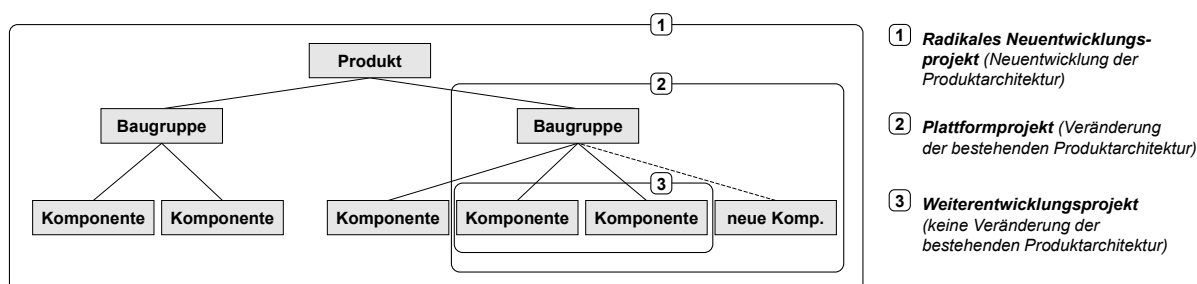


Abbildung 3-9: Grad der Veränderung der Produktarchitektur als Klassifizierungsmerkmal von Entwicklungsprojekten (nach GÖPFERT [2009, S. 85])

Am konkreten Beispiel der Fahrzeugentwicklung beschreibt FRANKE [2014, S. 28 ff.] den Zusammenhang zwischen **Komponenteninnovation** und **innovativen Fahrzeugkonzepten**. Der Komponentenbegriff wird dabei aus funktionaler Perspektive verstanden, weswegen FRANKE in Anlehnung an HERFELD [2007] keine weitere Differenzierung vornimmt, ob es sich bei der Komponente um ein Subsystem, eine Baugruppe, ein Modul oder ein einzelnes Bauteil handelt. Unter Komponenteninnovationen sind die Entwicklung neuer sowie die Verbesserung bestehender Komponenten⁸⁶ zusammengefasst, durch welche die Eigenschaften und Funktionen des Endprodukts (z. B. Sicherheitsfunktionen oder Dynamikfunktionen) beeinflusst werden. Diese Auswirkungen können in Form neuer Funktionalitäten oder verbesserter Gesamtprodukteigenschaften auftreten. Innovationen, die das Gesamtsystem Pkw betreffen – innovative Fahrzeugkonzepte – können marktgetrieben (Market-Pull) sein, um beispielsweise neue Nischen zu besetzen, oder getrieben durch neue Technologien (Technology-Push) wie X-by-wire oder die Fahrzeugelektrifizierung, die Einfluss auf große Teile der Gesamtfahrzeugarchitektur haben. Fahrzeuginnovationen können ihrerseits wieder zahlreiche Komponenteninnovationen nach sich ziehen.

⁸⁶ Dabei wird zwischen essentiellen Komponenten (z. B. Motor, Bremsen) und zusätzlichen Komponenten unterschieden. Innerhalb letzterer existieren wiederum obligatorische (z. B. ABS, Fahrerairbag) und fakultative (z. B. Tempomat, Xenon-Licht) Komponenten, wobei mit der Weiterentwicklung von Kundenanforderungen mit der Zeit fakultative Komponenten zu obligatorischen werden (vgl. Dynamik des Kano-Modells, Kapitel 4.1).

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

FRANKE stützt sich damit zwar auf eine systemtechnische Innovationsklassifizierung, bemüht diese allerdings primär zur Abgrenzung der von ihm schwerpunktmäßig betrachteten Komponenteninnovationen. Letztere untersucht er im Weiteren unter entscheidungsstrategischen Gesichtspunkten, wodurch eine tiefere Auseinandersetzung mit den systemtechnischen Eigenheiten dieser Perspektive ausbleibt.

3.4.3 Teilfazit

Die Architekturbezogenen Klassifikationsschemata insbesondere von HENDERSON & CLARK [1990] und von GÖPFERT [2009, S. 85] bieten hilfreiche Unterstützung beim Nachvollziehen von (voneinander abhängigen) Innovationsabfolgen in spezifischen Industrien, Orientierung bei der Diskussion innovationsstrategischer Überlegungen oder auch dafür benötigter Kompetenzen. Dennoch muss ihre Eignung als absolutes Instrument zur Klassifikation von Innovationen (und damit als Basis zur Ableitung genereller Vorgehensansätze) infrage gestellt werden. Beide Ansätze basieren klar auf den Prinzipien des systemhierarchischen Denkens, sind allerdings **inkonsequent bezüglich der Nennung einer Systemgrenze**.

Dies lässt sich am Beispiel der Neugestaltung eines Kühlschranks erläutern, bei welcher die Funktionalität dahingehend erweitert wird, dass dieser Informationen über seinen Inhalt auf einem Display darstellen kann, was nicht nur die Integration neuer Komponenten erfordert, sondern die gesamte Neugestaltung der Kühlschrankarchitektur. Nach beiden Klassifikationsschemata würde dieser Fall eine radikale Innovation darstellen. Systemhierarchisch kann der Kühlschrank jedoch auch als Bestandteil einer modularen Küche betrachtet werden, was die Frage aufwirft, ob aus dieser rein **gedanklichen Systemgrenzenerweiterung und dem Hierarchiesprung**, durch den der Kühlschrank nicht mehr das Gesamtsystem, sondern ein Modul eines übergeordneten Systems darstellt, bei identischer technischer Lösung eine Reduzierung der Innovationstragweite resultiert, was nach der Argumentation beider Klassifikationsschemata der Fall wäre.

Eine weitere Reflexion kann auf horizontaler Ebene stattfinden, wenn man beispielsweise die Entwicklung des in der Fallstudie der Arbeit betrachteten Top-Drives (als hochkomplexes, multifunktionales Kernmodul einer Offshore-Bohranlage mit mehreren Millionen Euro Herstellungskosten und einer Masse von weit über 40 Tonnen) mit der einer ähnlich komplexen Werkzeugmaschine vergleicht. Bei hohem Änderungsgrad, sowohl der inneren Module als auch der inneren Architektur, jedoch unter Beibehaltung der Schnittstellen zur Umwelt, würde der Top-Drive nach den hier diskutierten Innovationsklassifikationen eine Modulinnovation darstellen (da er Teil einer wesentlich größeren Anlage ist), während die Werkzeugmaschine als radikale Neuentwicklung eingestuft würde.

Sofern Entscheidungen bezüglich der Auswahl entwicklungsunterstützender Methoden und Werkzeuge vom angestrebten Innovationstyp abhängig gemacht werden, sieht der Autor dieser Dissertation eine essenzielle Problematik in der dargestellten Diskrepanz. Wie in Kapitel 4.3 gezeigt werden wird, wird beispielsweise im Zusammenhang mit der Methodik QFD häufig betont, dass diese besser für Weiterentwicklungsprojekte als für radikale Neuentwicklungen geeignet sei. Im zuvor diskutierten Beispiel des Kühlschranks **wäre bei gleichem Entwicklungsgegenstand (Kühlschrank) und Neuheitsgrad je nach Systemgrenze (Kühlschrank beziehungsweise Küche) die Eignung der Methode unterschiedlich zu bewerten**. Im

Rahmen dieser Arbeit soll die Gültigkeit der Innovationsklassifikation nach systemtechnischen Gesichtspunkten nur unter der Bedingung gegeben sein, dass diese innerhalb einer definierten obersten Hierarchieebene als Gesamtsystem erfolgt und vor allem zur besseren Einordnung der spezifischen Projekte eines Unternehmens genutzt wird. Keinesfalls sollten sie als alleiniges Mittel herangezogen werden, um Entscheidungen bezüglich des Entwicklungsvorgehens oder der zu nutzenden Werkzeuge und methodischen Hilfsmittel abzuleiten, da hierbei die Komplexität und der Umfang eines Projektes stark vernachlässigt werden.

3.5 Dekomposition als elementares Vorgehensprinzip der Entwicklungsmethodik

3.5.1 Denkrichtungen und Vorgehensmodelle im Systems Engineering

Durch das **Systems Engineering (SE)** hat die Systemtheorie Einzug in die Produktentwicklung gehalten [PULM 2004, S. 15]. Grundlage des SE ist das Systemdenken [DAENZER 1989, S. 6; HASKINS 2010, S. 7], das charakterisiert ist durch die Dekomposition eines Systems in Elemente und Relationen auf verschiedenen Hierarchieebenen, seine Abgegrenztheit durch eine (verschiebbare) Systemgrenze, die funktionale, über In- und Outputs beschriebene Black-Box-Betrachtungsweise, sowie die Einnahme unterschiedlicher Sichten (vgl. Kapitel 3.1). Das **Systemdenken** bildet gemeinsam mit dem **SE-Vorgehensmodell** die beiden Säulen der auf DAENZER [1989, S. 8] zurückgehenden **SE-Philosophie** (Abbildung 3-10). Anwendungsbezug bekommt dieser geistige Überbau im Rahmen des **Problemlösungsprozesses**, welcher das zentrale Element des SE-Konzepts ist und aus den Komponenten der **Systemgestaltung** (die eigentliche konstruktive Arbeit am zu gestaltenden Objekt) und des **Projektmanagements** (welches Fragen der Organisation und Koordination des Problemlösungsprozesses beinhaltet) besteht.

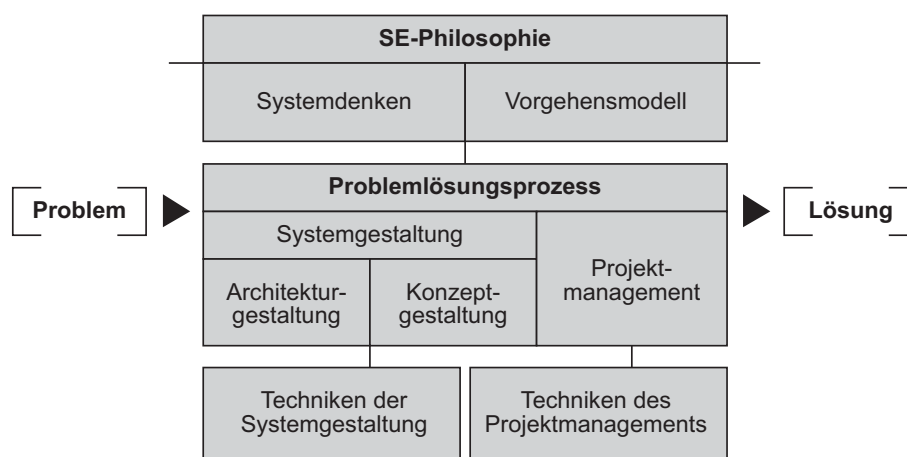


Abbildung 3-10: Das SE-Konzept nach HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 28]⁸⁷

⁸⁷ Die Autoren um HABERFELLNER ET AL. führen die Arbeit von DAENZER fort. Das in Abbildung 3-10 dargestellte „SE-Konzept“ ist eine Weiterentwicklung / Verfeinerung des ursprünglichen Modells (z. B. [DAENZER 1989]), welches noch keine eindeutige Abgrenzung von Architekturgestaltung und Konzeptgestaltung beinhaltete.

Das SE-Vorgehensmodell beruht dabei auf folgenden vier Grundgedanken:

- Das Vorgehensprinzip „vom Groben zum Detail“ (Top-Down)
- Das Prinzip der Variantenbildung
- Das Prinzip der Gliederung in Projektphasen als Makro-Logik
- Der Problemlösungszyklus als Mikro-Logik

Die Fragestellung, welche Rolle Module im SE einnehmen beziehungsweise inwiefern die Modulentwicklung als solche unterstützt wird, muss vor allem anhand einer eingehenden Untersuchung des Vorgehensprinzips „**vom Groben zum Detail**“ (**Top-Down**) erörtert werden. Dieses bezieht sich nicht nur auf das eigentliche Entwurfsvorgehen (in welchem das systemhierarchische Denken im Sinne der Dekomposition des zu entwickelnden Systems angewendet wird). Es zielt ebenso darauf ab, das zu entwickelnde System als Bestandteil der Umwelt⁸⁸, in die es eingebettet ist, zu begreifen, wodurch die Ausgangssituation strukturiert wird. Auf diese Weise werden der **Gestaltungsbereich** – also jener Teil des Systems, in welchem Veränderungen vorgenommen werden dürfen – und der **Untersuchungsbereich** genau definiert, um ein ganzheitliches Bild der Wirkzusammenhänge zu generieren (Abbildung 3-11). Dem Top-Down-Prinzip liegt eine Denkrichtung „von außen nach innen“ zugrunde, welche eine sorgfältig geklärte, gewollte Wirkung einer Lösung als Grundlage für die Erarbeitung ihrer erforderlichen Bestandteile hat, und damit eine frühe Schwerpunktsetzung auf die Umgebungsverträglichkeit und die Einschätzung des Machbarkeitsrisikos aufweist.

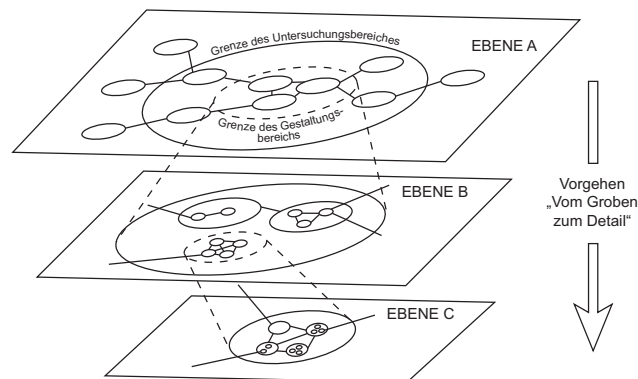


Abbildung 3-11: Einengen des Betrachtungsfeldes beim Top-Down-Vorgehen (nach HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 60])

Als prinzipielle Alternative beschreiben HABERFELLNER ET AL. [2012] das **Bottom-Up-Vorgehen**, bei welchem sich das Ganze vom Detail ausgehend aus der Addition von Einzelmaßnahmen ergibt. Nach den Autoren widerspricht dies allerdings prinzipiell der SE-Philosophie, wodurch es bei der Neukonzeption ganzer Systeme oder Umgestaltungen größeren Ausmaßes in keinem Falle Anwendung finden soll. Nur unter speziellen Bedingungen wird diesem Vorgehen Zweckmäßigkeit beigemessen. Die dem Bottom-Up-Prinzip zugrunde

⁸⁸ Diese kann selbst ein übergeordnetes (sozio-)technisches System sein oder aber auch die natürliche Umgebung (vgl. Kapitel 3.1).

liegende Denkrichtung „von innen nach außen“ könne im Rahmen von (schrittweisen) Verbesserungen einer vorhandenen und funktionierenden Lösung sinnvoll sein, wo eine rasche Detailkenntnis von erhöhter Bedeutung, und keine großen Einflüsse auf die Außenwirkung des Systems als Ganzes zu erwarten seien. Ein aus der Verbesserung und Optimierung in Teilbereichen resultierendes verbessertes Ganzes sei Konsequenz dieser Denkrichtung. Allerdings führt nach Ansicht der Autoren der Verzicht auf gezielte Untersuchungen auf Ebene des Gesamtsystems und seiner Einbettung in die Umgebung und die daraus folgende Außerachtlassung möglicher Randbedingungen zu Unsicherheiten hinsichtlich der Güte und Tauglichkeitsdauer der Gesamtlösung. Ein weiteres Risiko bestehe in der Entstehung von „Flickwerk“ in Form einer aufwändigen Konservierung von existierenden und veralteten Architekturen.

CRAWLEY ET AL. [2004, S. 4] assoziieren mit der auf Verfeinerung basierenden Vorgehensweise des Top-Down das Paradigma des **Reduktionismus** und mit jener des Bottom-Up das der **Emergenz**. Dem Vorteil der Komplexitätsminimierung durch schrittweise Dekomposition des Systems und seiner Anforderungen beim Top-Down-Vorgehen stellen die Autoren die damit einhergehende wachsende Herausforderung der zu beherrschenden Schnittstellen und der Konsistenzwahrung der Anforderungen gegenüber. Sie geben zu bedenken, dass dieser reduktionistischen Vorgehensweise die prinzipielle Annahme zugrunde liegt, dass durch das Verständnis des Verhaltens jedes einzelnen Elements und der korrekten und vollständigen Definition jeder Schnittstelle ein sauber arbeitendes System resultiert, und eine vollständige Planbarkeit dieser Ergebniserreichung vorliegt. Das extreme Gegenstück in Form des Bottom-Up-Ansatzes hingegen entspräche der Erwartung, dass sich die Systemeigenschaften nach dem „Trial-and-error“-Prinzip herausbilden werden (Emergenz), wobei weder das Ergebnis a priori bekannt, noch der Prozess in annähernd zufriedenstellender Weise planbar sei. Aus diesen Überlegungen folgern sie die die Notwendigkeit von Iterationen zwischen Entscheidungen auf unterschiedlichen Dekompositionsebenen, aus welchen zudem häufig neue Erkenntnisse zu Tage treten, die einen Rücksprung sinnvoll erscheinen lassen [CRAWLEY ET AL. 2004, S. 4 f.].

Der iterative Aufbau des SE-Prozesses unterstützt dieses kontinuierliche Lernen und damit die Erschließung der wahren Anforderungen und der neu entstehenden Eigenschaften des Systems [HASKINS 2010, S. 8]. Die Vermeidung unerwünschter Effekte, zu denen es aufgrund hoher Komplexität und damit verbundenem unerwartetem und unvorhersehbarem Systemverhalten kommen kann, ist hierbei ein wesentliches Ziel.

Ein weit verbreitetes Vorgehensmodell, das auf den Elementen der Top-Down-Perspektive⁸⁹ und des iterativen Vorgehens aufbaut ist das V-Modell⁹⁰ (Abbildung 3-12). Anwendung findet das V-Modell neben dem SE [FORSBERG ET AL. 2005] in der Entwicklung mechatronischer Systeme [VDI 2206:2004]. Der linke Schenkel des „V“ repräsentiert die Dekomposition des Systems in Subsysteme und deren (vorläufige) Definition, während der rechte Schenkel die

⁸⁹ verschränkt mit einer Bottom-Up-Perspektive auf Integration, Verifikation und Validierung [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 89]

⁹⁰ Gemeinsam mit dem auf ROYCE [1970] zurückgehenden Wasserfallmodell und dem Spiralmodell nach BOEHM [1988], auf die hier nicht näher eingegangen wird, bildet das V-Modell die Grundlage für die meisten etablierten Vorgehensmodelle der Systementwicklung [ESTEFAN 2008].

Integration der vollständig detaillierten Subsysteme sowie deren Verifikation und Validierung beinhaltet. Die Unterseite verkörpert den disziplinspezifischen Entwurf, in dem die Komponenten niedrigster Ordnung vollständig ausentwickelt (oder ausgewählt) werden [AUGHENBAUGH & PAREDIS 2004; VDI 2206:2004]. Die Schenkel werden dabei dem Verantwortungsbereich von Systemingenieuren zugeordnet, während die Basis in den Bereich der jeweiligen Experten fällt.

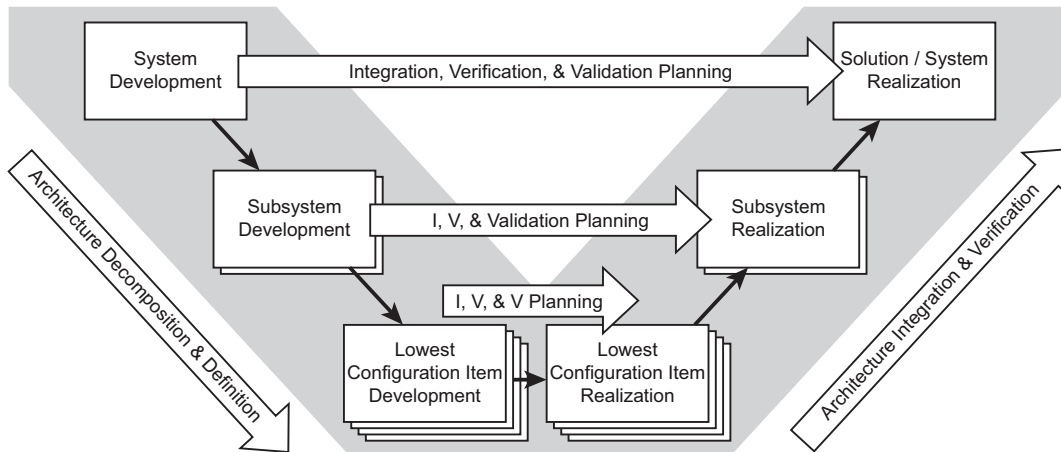


Abbildung 3-12: V-Modell nach FORSBURG ET AL. [2005]

Bei der Dekomposition werden die Kundenziele in technische Spezifikationen – zunächst für das Gesamt- dann für die Subsysteme – übersetzt [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 89] und dabei schrittweise die Systemarchitektur festgelegt [NASA 2007, S. 49].⁹¹ Zur Methodischen Unterstützung dieses Prozesses dient beispielsweise die Funktionsanalyse [NASA 2007, S. 49].

Das Treffen von Entscheidungen auf einer Ebene geht dabei stets einher mit der Definition von Anforderungen für die nächsttiefer Ebene, woraus eine stufenweise Auflösung der Anforderungen (sog. „requirements flowdown“) erfolgt [AUGHENBAUGH & PAREDIS 2004; HASKINS 2010] (Abbildung 3-13). Dabei werden die Freiheitsgrade für Entscheidungen auf tieferen Ebenen eingeschränkt und Festlegungen bezüglich Eigenschaften getroffen, die in Richtung höherer Ebenen wirken und – gemeinsam mit den Eigenschaften weiterer Subsysteme der gleichen Hierarchieebene – zu übergeordneten Eigenschaften aggregieren (vgl. Kapitel 3.3), welche gegenüber den Systemanforderungen verifiziert werden müssen.

Ein entscheidendes Merkmal des V-Modells ist die betonte Notwendigkeit, die jeweiligen Verifikationspläne bereits während der Anforderungsdefinition auf den entsprechenden Ebenen zu erstellen [HASKINS 2010], wie in Abbildung 3-12 durch die horizontalen Pfeile dargestellt. Dies schließt den Kreis zu gegebenenfalls nötigen Iterationen im Dekompositionsprozess. AUGHENBAUGH & PAREDIS [2004] unterscheiden zwischen zwei generellen möglichen Ursachen für eine nötige Iteration:

⁹¹ Ergänzend zu den technisch funktionalen Kriterien, nennt KISSEL [2014, S. 26], der den Systemarchitekten als Schlüsselrolle im Zusammenhang mit der Systemdekomposition betrachtet, weitere zentrale Kriterien wie beispielsweise produktstrategische Aspekte oder organisationsspezifische Rahmenbedingungen.

- zu starke Restriktionen als Folge von Anforderungsdefinitionen auf höheren Ebenen, um auf der betrachteten Ebene eine machbare Lösung herbeizuführen, mit der resultierenden Notwendigkeit der Lockerung entsprechender Anforderungen.
- Verfehlen von Systemanforderungen trotz vollständiger Erfüllung der Subsystemanforderungen beispielsweise durch unvorhergesehene Interaktionsformen der Subsysteme.

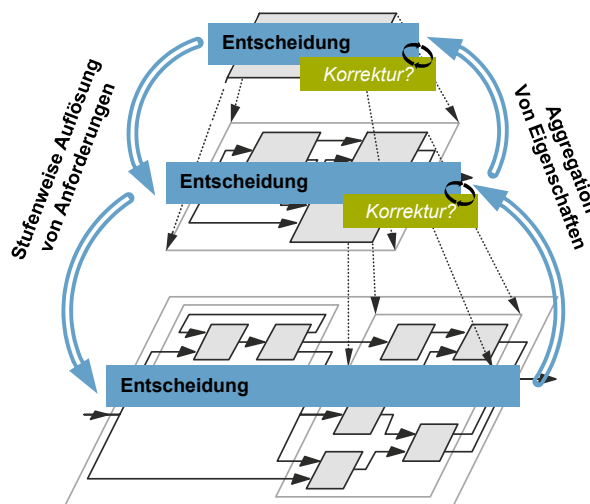


Abbildung 3-13: Auf- und Abwärtswirkung von Entscheidungen bei der Systemdekomposition (in Anlehnung an AUGHENBAUGH & PAREDIS [2004])

Während der Erarbeitung der Detailkonzepte im Rahmen der Subsystementwicklung fördert deren wiederholte gedankliche Einbettung das Gesamtkonzept die frühzeitige Identifikation potenziell nötiger Anpassungen desselben, weswegen HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 146 ff.] es als wichtig erachten, sich stets des temporären Charakters der Loslösung der Subsysteme voneinander bewusst zu sein und ein erhöhtes Augenmerk auf deren Schnittstellen zu legen.

3.5.2 Systematische Produktentwicklung / Konstruktionsmethodik

Modelle des allgemeinen Problemlösevorgehens

Während das im vorigen Unterkapitel betrachtete Systems Engineering die systemtechnische Grundlage der modernen integrierten Produktentwicklung darstellt, hat sich innerhalb der Konstruktionsmethodik aus der Konstruktionslehre heraus eine weitere Sichtweise herausgebildet, die den Prozess des Konstruierens und Entwickelns in erster Linie als **Problemlöseprozess** auffasst (z. B. PAHL ET AL. [2007]).⁹² Ein **Problem** ist dabei

⁹² AUGHENBAUGH & PAREDIS [2004]heben als zentrale Prinzipien der systematischen Produktentwicklung gegenüber dem Systems Engineering ein streng systematisches Vorgehen basierend auf methodisch unterstützten Teilschritten vor sowie einen starken Fokus auf die Entscheidungsfindung. Andererseits sehen sie gegenüber dem SE Schwächen in der Systemintegration und im Umgang mit Multidisziplinarität sowie klare Grenzen, was Umfang und Komplexität zu lösender Problemstellungen angeht.

charakterisiert durch einen unerwünschten Anfangszustand, einen erwünschten, jedoch unter Umständen noch unklaren Zielzustand, sowie durch eine Barriere, die die Transformation zwischen diesen Zuständen verhindert, da die Mittel zur Zielerreichung fehlen oder unbekannt sind [DÖRNER 1987, S. 10]. In vereinfachter Form fassen EHRENSPIEL & MEERKAMM [2013, S. 62] die denkpsychologischen Problemtypen nach DÖRNER [1987, S. 11–15] in einer Problemmatrix zusammen (Abbildung 3-14):

| | | Ziele, Restriktionen | |
|--|--|----------------------|----------------------------|
| | | klar | unklar |
| Mittel (Wissen, Können, Sachmittel) | Ausreichend bekannt und verfügbar | Aufgabe | Zielproblem |
| | Nicht ausreichend bekannt und verfügbar | Mittelproblem | Ziel- und Mittelproblem |

Abbildung 3-14: Problemmatrix zur Einteilung von Konstruktionsaufgaben und -problemen nach EHRENSPIEL & MEERKAMM [2013, S. 62]

Darüber hinaus lassen sich Probleme entsprechend ihrer Zielsetzung unterscheiden in Analyseprobleme (deren Lösung in Erkenntnissen über existierende Systeme besteht) und in Syntheseprobleme (deren Lösung im Bilden neuer Systeme besteht), wobei bei der Lösung beider Problemarten wieder Teilprobleme aus der jeweils anderen Problemart auftreten können [EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 63].

Die Ansätze aus Konstruktionslehre und Systemtechnik sind dabei nicht als überschneidungsfreie Ansätze zu verstehen, sondern vielmehr als sich ergänzende Sichten. So stellt der Problemlösezyklus nach DAENZER [1989] auch eine Vorgehensstrategie des SE dar, während der Wechsel zwischen Vorgehensmodellen unterschiedlicher Granularität, welche für die Produktentwicklung relevant sind, klar an den Grundprinzipien des Systemdenkens ausgerichtet ist. Diese granularitätsbezogene Einordnung von Vorgehensmodellen lässt sich auf einem Spektrum zwischen Mikro- und Makrologik vornehmen [LINDEMANN 2009, S. 38 f.; BRAUN 2005, S. 29]. Das Spektrum reicht dabei von der Beschreibung **elementarer Denk- und Handlungsabläufe**⁹³ über die Darstellung **operativer Arbeitsschritte**⁹⁴ bis hin zur Organisation **größerer Abschnitte bzw. Phasen**^{95, 96}.

⁹³ z. B. das *TOTE-Modell* (Test-Operate-Test-Exit) nach MILLER ET AL. [1973] oder *Diskursive Lösungssuche* nach WULF [2002]

⁹⁴ z. B. das *Münchener Vorgehensmodell (MVM)* nach LINDEMANN [2009] oder das *General Problem Solving* nach ANDREASEN & HEIN [1987]

⁹⁵ z. B. das *Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren* [VDI 2221:1993] oder das *3-Zyklen-Modell der Produktentstehung* nach GAUSEMEIER ET AL. [2012, S. 16]

⁹⁶ Klassifikationen umfangreicherer Sammlungen sind beispielsweise bei PONN [2007, S. 70–79] und bei BRAUN [2005, S. 29] zu finden. PONN [2007, S. 70–79] bietet darüber hinaus ausführliche Beschreibungen zu sämtlichen vorgestellten Modellen.

Eine weitere Möglichkeit der Einteilung der Vorgehensmodelle der Produktentwicklung ist jene nach **allgemeinen Problemlöseverfahren** und nach **spezifischen Modellen des Entwickelns und Planens** [PULM 2004, S. 77]⁹⁷. Ein Beispiel für ein Vorgehensmodell der allgemeinen Problemlösung ist das **Münchener Vorgehensmodell (MVM)** nach LINDEMANN [2009], welches die wesentlichen Grundprinzipien verwandter Vorgehensmodelle mit dem Ziel synthetisiert, sowohl ein Grundmuster vorzugeben, als auch die flexible Anwendung für die Planung, Zerlegung und Reflexion des Problemlöseprozesses zu betonen. Teil dieser Flexibilität ist die Möglichkeit, Verschachtelungen auf unterschiedlichen Ebenen darzustellen. Diese können (wie im Beispiel der Abbildung 3-15, rechts)⁹⁸ Hierarchieebenen der technischen Problemstellung darstellen, wie auch Rekursionen in der Prozessstruktur, sodass beispielsweise ein „Versuchs-MVM“ Teil des Schrittes „Eigenschaften ermitteln“ im MVM der Gesamtentwicklung sein kann [LINDEMANN 2009, S. 53].

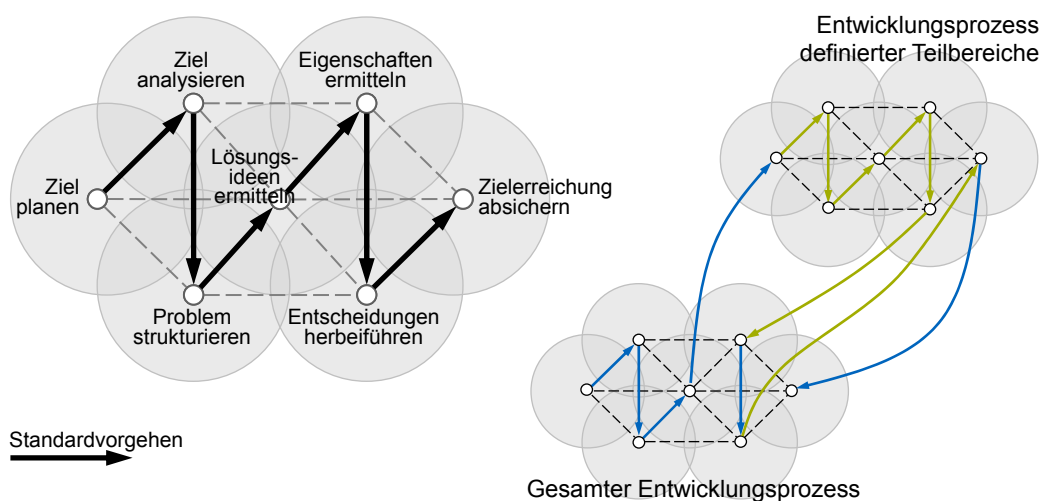


Abbildung 3-15: Das MVM als Standardvorgehen sowie als rekursive Verschachtelung zweier Modelle auf unterschiedlichen Ebenen nach LINDEMANN [2009, S. 51 bzw. 54] (integrierte Darstellung)

Spezifische Modelle des Innovationsprozesses und der Produktplanung

Die **entwicklungsspezifischen Modelle** stellen eine Übertragung der allgemeinen Modelle des Problemlösens in den Planungs-, Entwicklungs- und Konstruktionskontext dar. Bedient man sich hier wiederum verschiedener Granularitätsebenen, können die entwicklungsspezifischen

⁹⁷ Da es sich lediglich um eine andere Differenzierungsperspektive handelt, wird darauf verzichtet, die Vorgehensmodelle hier nochmals aufzuzählen – bei PULM [2004, S. 77–79] kann eine Aufzählung zahlreicher Beispiele und deren Zuordnung nach dieser Perspektive nachgeschlagen werden.

⁹⁸ Im gezeigten Beispiel werden die Lösungsideen für die zuvor ermittelten Teilprobleme (Teilsysteme) in einzelnen (idealerweise parallelisierbaren) Teilvorgehen behandelt. Die Verifikation der Eigenschaften des Gesamtsystems findet nach Integration der Teilsysteme mit ihren Eigenschaftsgefügen statt, was wiederum Voraussetzung zur endgültigen Zielabsicherung auf Teilsystemebene ist. Final werden damit auch die Eigenschaften des Gesamtsystems abgesichert.

Modelle zunächst innerhalb **übergeordneter Modelle des Innovationsprozesses** oder innerhalb **Lebenszyklusmodellen** hinsichtlich ihrer Einordnung betrachtet werden⁹⁹. Beispiele für Modelle des Innovationsprozesses sind

- das 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung nach GAUSEMEIER ET AL. [2012, S. 16], welches die Produktentstehung als Folge von Zyklen der strategischen Produktplanung, der Produktentwicklung sowie der produktionsbezogenen Prozessentwicklung betrachtet,
- der Innovationsprozess nach PLESCHAK & SABISCH [1996, S. 24], welche der dem Innovationsprozess vorgelagerten Gegenüberstellung identifizierter Probleme und unerfüllter Kundenwünsche mit der strategischen Unternehmungsorientierung einen hohen Stellenwert beimessen, sowie
- der Innovationsprozess nach HERSTATT & VERWORN [2007] (Abbildung 3-16), mit besonderer Betonung der „frühen Phasen“, innerhalb welcher die wesentlichen Produktparameter sowie die Produktarchitektur definiert werden, während die Beeinflussung von Kosten und Produkteigenschaften im späteren Entwicklungsverlauf nur noch mit großem Änderungsaufwand möglich ist.

Eine ausführliche Betrachtung von Lebenszyklusmodellen findet sich in HEPERLE [2013].

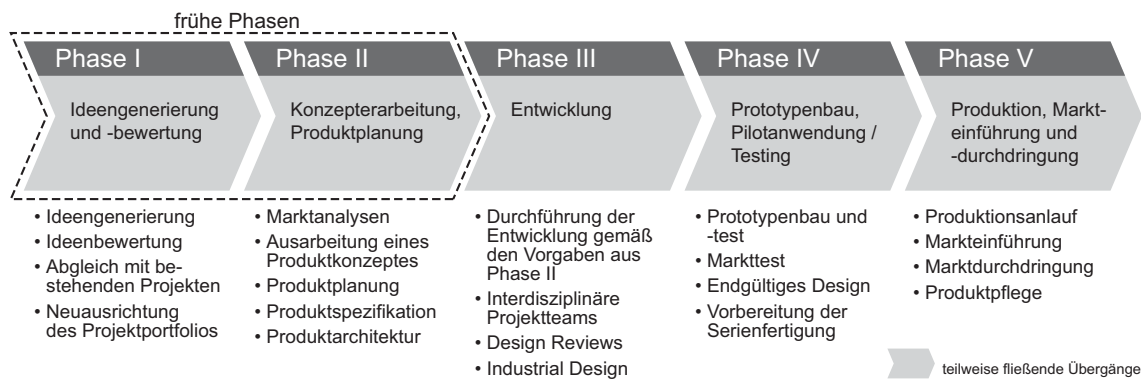


Abbildung 3-16: Innovationsprozess nach HERSTATT & VERWORN [2007, S. 9]

Die verfeinerte Betrachtung der groben Phasen dieser übergeordneten Modelle findet in phasenspezifischen Vorgehensmodellen beispielsweise der Produktplanung oder der Produktentwicklung statt. Die Produktplanung ist der Entwicklung und Konstruktion vorgelagert [HEPPERLE 2013, S. 16]. Eine als explizite Arbeitsphase institutionalisierte Produktplanung verfolgt dabei das Ziel, über eine systematische, methodisch unterstützte Generierung von Produktideen zur nachhaltigen Sicherung des Unternehmenserfolges beizutragen [PAHL ET AL. 2007, S. 103]. Dabei stehen sowohl die Prozesseffizienz als auch die Effektivität – also die Qualität der Entwicklungsvorschläge im Sinne der wirtschaftlichen Verwertbarkeit und damit die Reduzierung des Risikos möglicher „Flops“ – im Fokus.

⁹⁹ Dabei umfassen (und unterteilen) Lebenszyklusmodelle meist die Lebensphasen von der Planung über die Entwicklung, Produktion, Nutzung bis hin zur Entsorgung bzw. zum Recycling [HEPPERLE 2013, S. 60], während die Modelle des Innovationsprozesses sich im Allgemeinen auf die Phasen bis zur Einführung oder Nutzung konzentrieren.

ULRICH & EPPINGER [2004, S. 34] heben die Bedeutung der **Portfoliobetrachtung** – sowohl der in den Markt eingeführten Produkte, als auch der dafür durch die Planung initiierten Projekte – hervor. Die Autoren unterscheiden zwischen Projekten für neue Produktplattformen, Derivaten existierender Plattformen, inkrementellen Verbesserungen bestehender Produkte sowie fundamental neuen Produkten. In allen Fällen können Entwicklungsmöglichkeiten basierend auf Vorschlägen des Marketing, F&E-Ergebnissen, Kunden, Entwicklungsteams und Wettbewerberbenchmarks identifiziert werden.

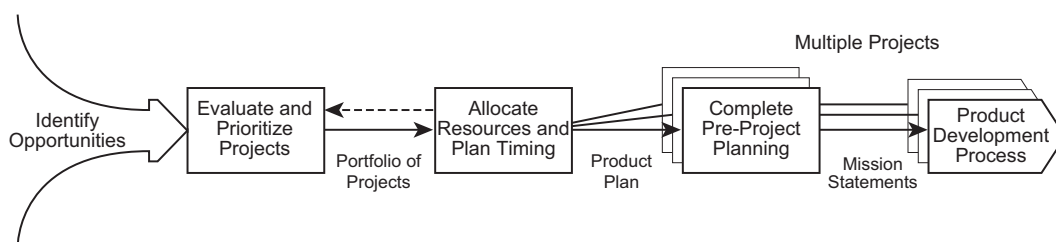


Abbildung 3-17: Produktplanungsprozess nach ULRICH & EPPINGER [2004, S. 36]

Vorgehensmodelle der Produktplanung legen ihren Schwerpunkt auf planerische Aufgaben [HEPPERLE 2013, S. 24], wie beispielsweise das **W-Modell**¹⁰⁰ nach BRANDENBURG [2001], das auf die Planung technologischer Produktinnovationen abzielt. Es unterteilt die Innovationsplanung in die sieben Phasen Zielbildung, Zukunftsanalyse, Ideenfindung, Ideenbewertung, Ideendetaillierung, Konzeptbewertung bis hin zur Umsetzungsplanung, welche jeweils mit Methoden des Innovationsmanagements verknüpft sind. Die Phasen sind teilweise periodisch zu wiederholen und stellen teilweise kontinuierliche Aktivitäten dar. Durch ihre Zuordnung zu verschiedenen Planungsebenen (strategisch und operativ) entsteht die charakteristische W-Form, welcher das Modell ihren Namen verdankt.

Die VDI-Richtlinie VDI 2220 [1980] beinhaltet ein weiteres etabliertes **Vorgehensmodell der Produktplanung** (Abbildung 3-18, links oben), das diese in die Einzelfunktionen der Produktfindung, der Produktplanungsverfolgung sowie der Produktüberwachung gliedert. Diese haben die systematische Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produktideen auf Basis der Unternehmensziele, sowie deren Verfolgung zum Ziel.

Die **Produktfindung** stellt dabei die wesentliche Einzelfunktion dar, deren Ergebnis die Produktdefinition ist.¹⁰¹ Die Generierung der Produktideen basiert einerseits auf einer systematischen Sammlung und Verarbeitung der Eingangsgrößen der Produktfindung (Informationen aus Markt und Umfeld sowie aus dem Unternehmen), andererseits durch die Anwendung intuitiver und systematischer Ideensuchmethoden. Die Selektion findet im Rahmen eines dreistufigen Vorgehens unter Abgleich der Produktideen mit den Suchfeldern und Unternehmenspotenzialen statt. Die Beschreibung von Funktionen, Arbeitsprinzipien und charakteristischen Daten der ausgewählten Produktideen stellt letztlich die Produktdefinition

¹⁰⁰ Das W-Modell ist Teil der InnovationRoadMap-Methodik nach EVERSHEIM [2003].

¹⁰¹ Die Tätigkeiten der Produktfindung finden sich in sehr ähnlicher Weise in verwandten Vorgehensmodellen der Produktplanung wieder (z. B. das Vorgehen bei der Produktplanung nach PAHL ET AL. [2007, S. 105]).

dar, welche – unter Voraussetzung einer positiven Entscheidung der Geschäftsleitung – als Entwicklungsvorschlag in die Produktrealisierung (Entwicklung und Konstruktion) eingehen.

Produktplanungsverfolgung und **Produktüberwachung** stellen Einzelfunktionen dar, die dem weiteren Lebenszyklus des geplanten Produkts parallelgeschaltet sind. Erstere gleicht periodisch den IST-Stand der Produktrealisierung mit dem SOLL-Stand der ursprünglichen Planung ab und entscheidet über die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen, welche im Bedarfsfall über das Produktmanagement eingesteuert werden. Die Produktüberwachung kontrolliert hingegen das Marktverhalten (Kosten- und Erlöskennzahlen, aber auch technische Schwachstellen) und ist Auslöser von Beseitigungsmaßnahmen identifizierter Schwachstellen sowie von Informationsrückflüssen an die zukunftsgerichtete Portfoliosteuerung.

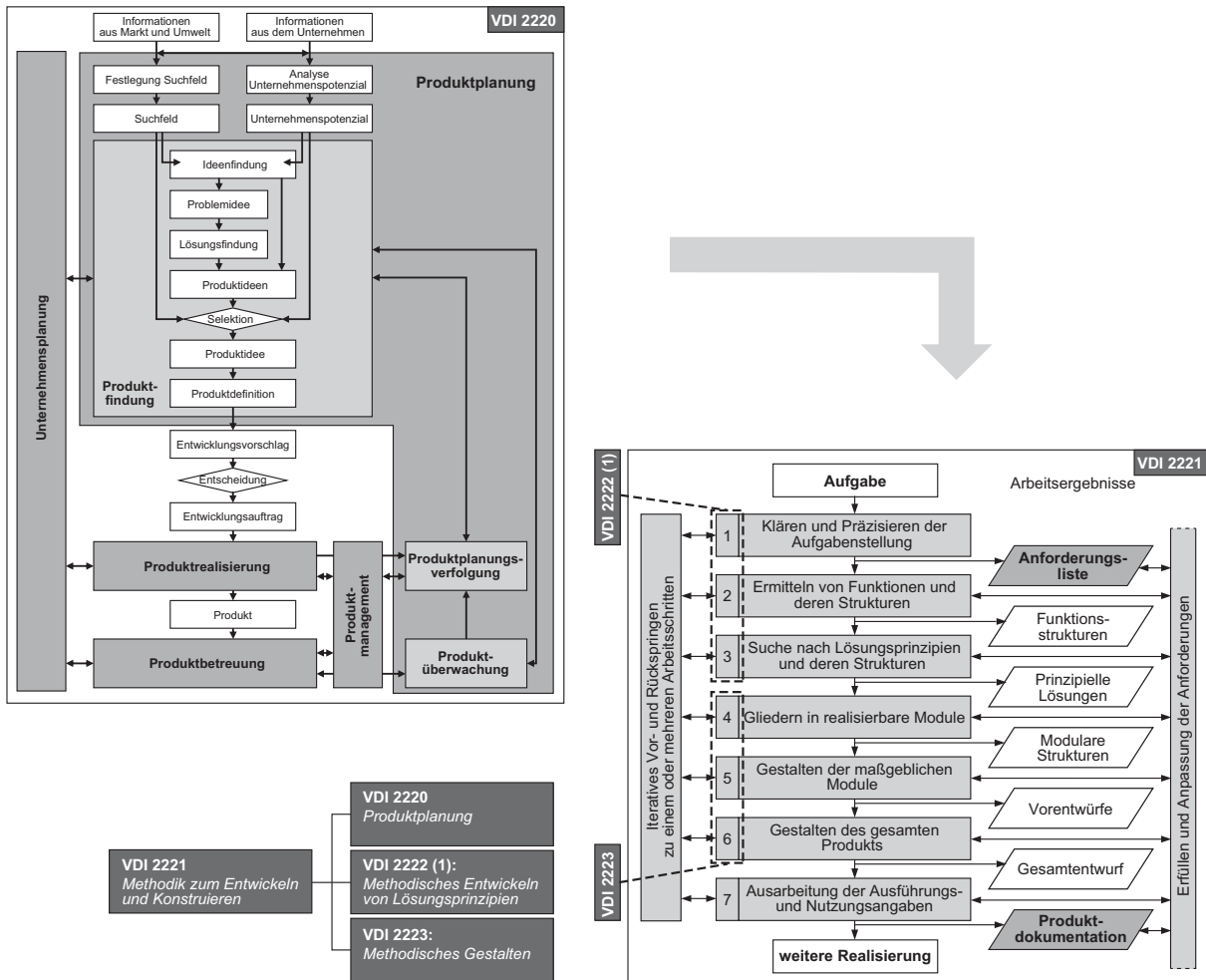


Abbildung 3-18: Die Vorgehensmodelle der „Produktplanung“ [VDI 2220:1980, S. 3] und des „Entwickeln und Konstruierens“ VDI 2221 [1993, S. 9] sowie deren Einbettung in das Richtliniengerüst (Ausschnitt) des VDI (unten links, nach VDI 2222 Blatt 1 [1997, S. 4])

Spezifische Modelle der Produktentwicklung

Zu den bekanntesten Vorgehensmodellen aus der Konstruktionslehre gehört das **Generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren** aus der VDI-Richtlinie VDI 2221 [1993, S. 4]. Wie in Abbildung 3-18 dargestellt, detailliert es die sequenziell an die Produktfindung anknüpfende Phase in 7 Arbeitsabschnitte (wobei die Aufgabenstellung auch in Form von Kundenaufträgen mit festem Pflichtenheft vorliegen kann [VDI 2221:1993, S. 6]). Arbeitsabschnitte 1 bis 3 umfassen dabei die **Methodische Entwicklung von Lösungsprinzipien** und werden in VDI 2222 Blatt 1 [1997] vertieft behandelt, wohingegen die Arbeitsabschnitte 4 bis 7 die **Entwurfs- und Gestaltungsphasen** detaillieren ([VDI 2223:2004])¹⁰². Beide Phasen sind im Rahmen dieser Arbeit von Bedeutung, da sowohl überprüft werden soll, inwiefern in den initialen Schritten der Entwicklung auf **Module als Entwicklungsobjekte** explizit Bezug genommen wird, als auch, wie mit **Modulen als Ergebnis der Gliederungsschritte** im Rahmen des Prozesses umgegangen wird. Diese Aspekte stellen auch den speziellen Fokus bei der folgenden Erörterung des Vorgehensmodells unter Heranziehen der genannten drei Richtlinien dar.

Anspruch des Generellen Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren ist es, eine branchenunabhängige Logik des methodischen Vorgehens bereitzustellen, wodurch insgesamt vor allem das Gemeinsame aller Problemlösungsprozesse in den Vordergrund gerückt wird.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

In den detaillierten Ausführungen zu den einzelnen Arbeitsabschnitten innerhalb der genannten Richtlinien werden Spezifika hinsichtlich verschiedener Branchen, Neuheitsgrade, Komplexität oder Fertigungsarten vielfach benannt und mit exemplarischen Besonderheiten der Herausforderungen versehen. Die Frage der konkreten Berücksichtigung dieser Spezifika in der Ausgestaltung des Vorgehens sowie in der Methodenwahl und -anwendung bleibt jedoch unbeantwortet.

Die allgemeine Logik folgt der Zweckmäßigkeit der Problemlösung in Phasen zunehmender Konkretisierung und einer Strategie vom Wesentlichen zum weniger Wesentlichen. Es ist anzumerken, dass diese zunehmende Verfeinerung der Problembetrachtung nicht komplett gleichzusetzen ist mit dem jeweiligen systemhierarchischen Fokus der Entwicklungstätigkeit. Vielmehr erfolgt dieser Prozess zu Beginn im Rahmen der *Systemdekomposition* und ab dem Vorliegen einer modularen Struktur im Rahmen der *Systemintegration*. Dies zeigt auch die visuelle Interpretation des Vorgehens nach FRANKE [2014, S. 38] (Abbildung 3-19). So findet die Abgrenzung einzelner Bauteile zum Ende der Dekomposition statt, das Festlegen detaillierter Eigenschaften jedoch erst beim Feingestalten und Zusammenfügen derselben zum Gesamtentwurf.

¹⁰² Die Arbeitsabschnitte sind hinsichtlich Umfang und Intensität ihrer Bearbeitung der Aufgabenstellung anzupassen und unterliegen im Allgemeinen Iterationen. Die Zusammenfassung in übergeordnete Phasen stellt ebenfalls einen generellen Vorschlag dar, der je nach Branche oder Unternehmen modifiziert werden kann.

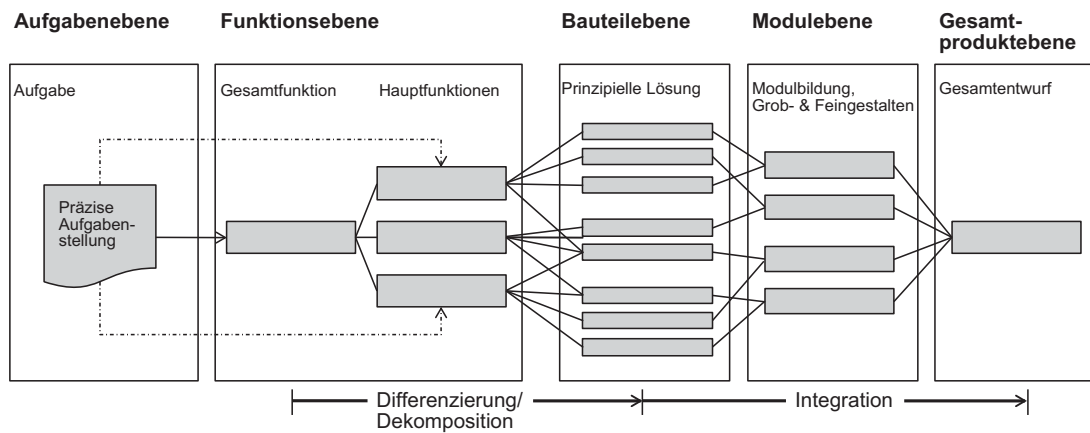


Abbildung 3-19: Vereinfachte Visualisierung des generellen Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren nach FRANKE [2014, S. 38]

Die Phase der methodischen Entwicklung von Lösungsprinzipien – den folgenden Ausführungen liegen nun wieder Abbildung 3-18 und die dort referenzierten Richtlinien zugrunde – beginnt mit dem Arbeitsabschnitt der **Klärung und Präzisierung der Aufgabenstellung**, welche als durch den Kunden oder die Produktplanung formulierte Eingangsinformation vorliegt. Nach der Vervollständigung und Ergänzung durch externe und unternehmensinterne Informationen erfolgt eine Formulierung aus Sicht des Konstrukteurs mit dem Arbeitsergebnis einer Anforderungsliste. Hinsichtlich des Ziels der Vollständigkeit ist zu beachten, dass dies auf die Möglichkeiten des Entwicklungszeitpunkts zu beziehen ist, da zahlreiche Anforderungen erst durch den entwicklungsbegleitenden Informationsgewinn identifizierbar werden. Dennoch sollte Vollständigkeit im Rahmen der Möglichkeiten angestrebt werden, wozu die Nutzung methodischer Unterstützung (beispielsweise von Checklisten oder Fragelisten) empfohlen wird, da in der Regel nicht alle nötigen Anforderungen abrufbar sind. In diesem Zusammenhang wird auch die Abfrage von **Beziehungen** zu Personen, Umgebungen oder **anderen Systemen** empfohlen, sowie daraus hervorgehender Auswirkungen auf und Anforderungen an die Eigenschaften des Produkts.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

Eine explizite Möglichkeit der Auffassung des Produkts als Modul und daraus resultierende Anpassungen der methodischen Analyse der Beziehungen zu anderen Systemen (Gesamtsysteme des eigenen Angebots, Gesamtsysteme eines Kunden, dem zugeliefert wird) wird nicht artikuliert.

Modifizierungen der Anforderungen können infolge generierter Entwicklungskennnisse, sowie durch die Produktplanung (z. B. bei verändertem Verbraucherverhalten) eingesteuert werden, was durch Informationsbrücken sowohl zu den anderen Arbeitsabschnitten als auch zur vorgelagerten Produktplanung berücksichtigt ist.

Im zweiten Arbeitsabschnitt erfolgen das **Ermitteln der Funktionen und deren Strukturen**. Haupt- beziehungsweise Teilfunktionen stellen das Ergebnis der Dekomposition der formulierten Gesamtfunktion dar. Diese bilden als Auflistung (bei einfachen Systemen) oder in Form einer erarbeiteten Funktionsstruktur (bei komplexeren Systemen) die Grundlage der anschließenden Lösungssuche. Das **Erarbeiten prinzipieller Lösungen** im dritten

Arbeitsabschnitt erfolgt durch die Suche nach Effekten (z. B. physikalisch oder chemisch) für die einzelnen Teilfunktionen, die Ableitung geeigneter Effektkombinationen, sowie deren Darstellung als Wirkstruktur.

Den ersten Schritt in Richtung physikalische Baustruktur stellt das **Gliedern in realisierbare Module** dar. Dies beinhaltet sowohl das Erkennen der gestaltungsbestimmenden Anforderungen und Bedingungen (z. B. funktionale, kinematische oder geometrische) der prinzipiellen Lösung als auch deren Gliederung in die für ihre Realisierung wesentlichen realen Module und Systemelemente inklusive ihrer Schnittstellen. Die Modulbildung kann dabei als *Zerlegung* der prinzipiellen Lösung der Gesamtaufgabe (Wirkstruktur) *in Module* oder als *Zusammenfassung* der in den prinzipiellen Lösungen beinhalteten Lösungsprinzipien und Effekten *zu Modulen* betrachtet werden. Für die definierten Module ist zudem die Gestaltungsstrategie (von-innen-nach-außen vs. von-außen-nach-innen) festzulegen. Als mögliche Zielsetzungen der Modulbildung (vgl. auch Kapitel 3.2.3) werden die Unabhängigkeit deren weiterer Entwicklung, die Priorisierung nach Wichtigkeit (z. B. für die Anforderungserfüllung, wobei dies nicht zwangsläufig mit den Hauptfunktionen zusammenhängen muss) oder Dringlichkeit (z. B. bei erwartbaren Beschaffungsschwierigkeiten) genannt, aber auch arbeitstechnisch-pragmatische Gesichtspunkte wie Montage-, Wartungs- oder Recyclingaspekte.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

Im Zusammenhang mit Anpassungskonstruktionen wird erwähnt, dass diese trotz der Beibehaltung der bewährten Wirkprinzipien Neukonstruktionen von Modulen beinhalten können. Dieser Fall repräsentiert einen Hauptaspekt der Problemstellung dieser Arbeit, wird jedoch nicht weiter hinsichtlich des Umgangs mit seinen spezifischen Herausforderungen spezifiziert. Auch die für diese Arbeit relevanten Wirkungen eines Moduls im Kontext eines weiteren Systemportfolios, und die damit einhergehende beabsichtigte Mehrfachverwendung des Moduls, finden keine Berücksichtigung

Arbeitsabschnitt fünf hat die **Grobgestaltung** der für die Produkt- beziehungsweise Systemgestaltung **maßgebenden Module** zum Ziel und erfolgt häufig in mehreren Iterationen zwischen dem Erstellen von Gestaltstudien, deren Bewertung und der anschließenden Beseitigung von Schwachstellen, bevor diese als Vorentwürfe freigegeben werden. Da aus der Festlegung einzelner Moduleigenschaften Bedingungen für die Eigenschaften anderer Module resultieren können, wird es als hilfreich angesehen, mithilfe von Gestaltstudien des Gesamtproduktes die Identifikationswahrscheinlichkeit von Konflikten zu erhöhen.

Die Strategie, den Gestaltungsprozess im Wechselspiel mit Analyse und Bewertung voranzutreiben, wird im sechsten Arbeitsabschnitt fortgesetzt. Schwerpunkte stellen hier die Integration zum **Gesamtentwurf** sowie der Übergang vom Grobmaßstäblichen zum Maßstäblichen dar. Das Gesamtoptimum des Produkts stellt dabei das Hauptziel dar, welches durch ein ständiges Alternieren zwischen detaillierten und gesamtheitlichen Betrachtungsebenen verfolgt wird und auch bei Optimierungen auf Modulebene nicht aus den Augen verloren werden darf. Korrigierende Maßnahmen können dabei bis hin zu einem Rücksprung auf funktionelle Überlegungen gehen. Bei jeder korrigierenden Maßnahme sind neben den erstrebten positiven Auswirkungen auf die Sollfunktionen auch die dadurch induzierten Störfunktionen und -effekte zu berücksichtigen, welche gegebenenfalls der Durchführung der Maßnahmen widersprechen oder als neue Schwachstellen in die Beurteilung eingehen müssen.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

Die Empfehlungen zum Umgang mit Abhängigkeiten zwischen Modul- und Gesamtsystemebene, sowohl bei der Gestaltung als auch bei der Identifikation von Konflikten, sind sehr allgemein gehalten und gehen kaum über eine prinzipielle Sensibilisierung hinaus. Eine detailliertere Differenzierung hinsichtlich der Frage, ob von Zielkonflikten betroffene Module des Umsystems Gegenstand des betrachteten Entwicklungsprozesses sind oder nicht – was essenzielle Bedeutung hinsichtlich des verfügbaren Handlungsspielraums hat – erscheint daher nötig.

Mit dem letzten Arbeitsabschnitt der **Ausarbeitung der Ausführungs- und Nutzungsangaben**, welche in der Produktdokumentation festgehalten werden, endet das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221 [1993].

Der **Entwicklungsprozess nach ULRICH & EPPINGER** [2004, S. 9] weist generell sehr ähnliche Grundzüge auf, unterscheidet sich aber durch einen expliziteren **Architekturbezug** sowie die hervorgehobene Bedeutung von Eigenschaftstests und darauf basierenden Verfeinerungen, welche eine eigenständige Phase zwischen der Detailentwicklung und der Produktionsvorbereitung darstellen. Das Vorgehen ist über eine sequenzielle Darstellung der Phasen *Planning, Concept Development, System-Level Design, Detail Design, Testing and Refinement* und *Production Ramp Up* beschrieben. Die Architekturgestaltung innerhalb des Prozesses wird in Abhängigkeit davon betrachtet, ob es sich um die inkrementelle Weiterentwicklung eines existierenden Produkts handelt oder um ein gänzlich neues Produkt [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 167]. Im ersten Falle kann die Architektur vom Vorgängerprodukt übernommen werden¹⁰³ und damit innerhalb der Konzeptentwicklung abschließend definiert werden. Auch im Falle einer Neuentwicklung beginnt die Herausbildung der Architektur bereits in der Phase der Konzeptentwicklung – der maßgebliche Fokus liegt dort jedoch auf Wirkprinzipien und verwendeten Technologien – wird aber erst beim *System-Level Design* explizit gestaltet.

Vor dem Hintergrund einer systemorientierten Qualitätsbetrachtung untersucht FELGEN [2007, S. 57–69] disziplinintegrierende Vorgehensmodelle zur Entwicklung mechatronischer Systeme¹⁰⁴. Eine gesteigerte Komplexität folgt hier aus dem hohen Vernetzungsgrad der Artefakte aus den Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik, Regelungstechnik und Softwaretechnik. Nach FELGEN orientieren sich die Vorgehensmodelle in diesem Bereich größtenteils stark an dem zuvor ausführlich diskutierten allgemeinen Vorgehen der VDI 2221 [1993], weisen als Unterscheidungsmerkmal jedoch einen stark erhöhten Integrations- und Synchronisationsschwerpunkt auf. Unter Verweis auf KALLENBACH ET AL. [1997] wird zudem auf die erhöhte Relevanz von Aspekten wie der frühzeitigen Durchführung von Verträglichkeitsbetrachtungen und der Unterscheidung in notwendige und parasitäre funktionale Relationen hingewiesen. Diese sind auch im Rahmen der in dieser Arbeit betrachteten Entwicklung mechatronischer Module – wenn auch im Kontext des Anlagenbaus betrachtet – von maßgeblicher Bedeutung.

¹⁰³ Die Technologien und Wirkprinzipien stehen bereits fest, und die Bemühungen konzentrieren sich eher auf Verbesserungen der Umsetzung. Während davon profitiert werden soll, dass bereits etablierte Fertigungs- und Einkaufsstrukturen bestehen, nimmt die Bedeutung des Umgangs mit aus der Produktvielfalt resultierenden Herausforderungen zu.

¹⁰⁴ Eine Übersicht 16 untersuchter disziplinintegrierender Vorgehensmodelle sowie eine eingehende Beschreibung einer Auswahl daraus ist FELGEN [2007, S. 58 ff.] zu entnehmen.

Zuletzt soll an dieser Stelle in Vorgriff auf Kapitel 4.3 – das sich dem Thema ausführlich widmet – der Bezug zum **Quality Function Deployment (QFD)** hergestellt werden. Abhängig von der genutzten Ausprägung des Ansatzes (und dort gewählten Schwerpunkten) stellt QFD eine umfassende entwicklungsbegleitende Methodik dar, die durch ihre Struktur ebenfalls ein Vorgehen vorgibt, wie Informationen von der Erhebung und Formulierung von Kundenanforderungen in Lösungsmerkmale übertragen und im Zuge der Dekomposition auf Lösungsbestandteile heruntergebrochen werden, wodurch eine Durchgängigkeit bis in die Prozess- und Produktionsplanung hinein hergestellt werden kann. Dadurch leistet QFD zwar keine vollumfängliche Unterstützung bei der synthesebezogenen Generierung und Konkretisierung von Lösungen, begleitet jedoch aus der spezifischen Qualitätsperspektive der behandelten Eigenschaften und ihrer Vernetzung den gesamten Entwicklungsprozess und dient als übergeordnetes Kommunikationswerkzeug.

3.5.3 Bewertungen und Entscheidungen in methodischen Entwicklungsvorgehen

Bewerten und Entscheiden sind elementare Bestandteile der Problemlösung in der Systemtechnik und damit auch explizite Teilschritte des Problemlösungszyklus nach DAENZER [1989, S. 40 ff.]. Auch im Generellen Vorgehen des Entwickelns und Konstruierens VDI 2221 [1993] wird das Beurteilen von Lösungsvarianten und eine darauf basierende Auswahl allgemein hervorgehoben, ohne jedoch näher darauf einzugehen, wann und wie diese Entscheidungen durchgeführt werden sollen.

Im Kontrast dazu ist der **Stage-Gate-Prozess** nach COOPER [1990] über das Wechselspiel von operativen Phasen der Entwicklungs- und Analysetätigkeiten (Stages) und Meilensteinen des durch das Management verantworteten **Entscheidungsprozesses** (Gates) definiert (Abbildung 3-20):

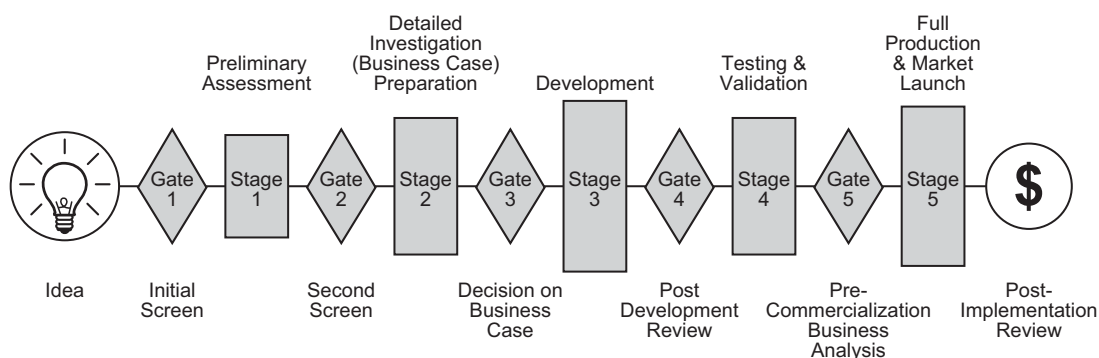


Abbildung 3-20: Stage-Gate-Prozess nach COOPER [1990]

Dem während des Prozessverlaufs zunehmenden finanziellen Aufwand wird dabei durch eine Zunahme des Analyse- und Entscheidungsaufwands von Gate zu Gate Rechnung getragen. So erfolgt zum ersten Gate lediglich eine Bewertung nach Muss- und Sollkriterien, zum zweiten Gate kommt eine grobe Wirtschaftlichkeitsabschätzung hinzu während das fünfte Gate neben einem Qualitätscheck vorheriger Aktivitäten eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse und

einen Aktionsplan für Produktionsanlauf und Markteinführung vorsieht. Meilensteine haben dabei eine Genehmigungsfunktion weiterer Ressourcen und können jeweils zu den Entscheidungsergebnissen „go“ (das Projekt tritt in die nächste Phase ein), „kill“ (das Projekt wird gestoppt), „hold“ (das Projekt wird angehalten, andere Projekte erhalten Priorität) oder „recycle“ (die Analysephase wird zunächst verlängert, da die Entscheidungsgrundlage noch nicht ausreichend ist) führen¹⁰⁵.

Das Modell und die geforderten Aktivitäten der Phasen und Meilensteine basieren auf mehreren Studien bezüglich der Erfolgsfaktoren industrieller Projekte und wurden seit den Neunzigerjahren immer weiter verfeinert [COOPER 2008]. Da sich dabei auch herausgestellt hat, dass Detaillierungsgrad und Tätigkeitsaufwand des ursprünglichen Modells in erster Linie Projekten mit hohem finanziellen und / oder technischem Risiko angemessen sind, wurde eine Skalierung für Projekte mittleren und geringen Risikos vorgenommen, mit dem Ergebnis dreier Versionen mit fünf, drei und zwei Meilensteinen (Gates).

Die internationale Systementwicklungsnorm ISO/IEC 15288 [2008, S. 29] definiert das Ziel des **Entscheidungsmanagementprozesses** als „Wahl des vorteilhaftesten Weges für das Projekt bei Entscheidungsalternativen [...] im Sinne der angestrebten, gewünschten oder optimierten Projektziele.“ Aus sich der Forschungsdisziplin der Entscheidungsanalyse nennt SKINNER [2009] folgende zehn Prinzipien guter Entscheidungsfindung¹⁰⁶:

1. Beim Entwickeln und Bewerten von Möglichkeiten die Wertschöpfung beachten
2. Ziele und Vergleiche klar herausarbeiten
3. Das eigentliche Problem ermitteln und eingrenzen
4. Verstehen, wie die wirtschaftliche Situation ist
5. Kreative und eindeutige Lösungsalternativen entwickeln
6. Experten ausfindig machen und aussagekräftige und zuverlässige Information zusammentragen
7. Sich die Unsicherheit zum Freund machen, der auch in Zukunft eine treibende Kraft beim Hervorbringen immer neuer Spitzenleistungen sein wird
8. Vermeiden, dass die Analysephase zu einer „Lähmungsphase“ wird
9. Systematisches Denken nutzen, um einen Zusammenhang zwischen der aktuellen und zukünftigen Situationen herzustellen
10. Den Dialog nutzen, um das Lernen zu stärken und transparentes Handeln aufrecht zu erhalten.

HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 264] verstehen eine Entscheidungssituationen als **Barriere** im Handlungsablauf, die durch einen **Beschluss** überwunden wird, die künftigen Handlungen im

¹⁰⁵ Ähnliche Entscheidungskategorien bieten auch die „Decision Gates“ nach HASKINS [2010, S. 24].

¹⁰⁶ Wörtlich übersetzt durch die Gesellschaft für Systems Engineering [GfSE 2013, S. 194], ebenso wie die folgenden Punkte, die SKINNER [2009] zum Thema Entscheidungen zusammenfasst: „Entscheidungen über reale Sachverhalte gehen oft mit starker Mehrdeutigkeit, Zielkonflikten durch mehrere Zielsetzungen, komplexen Abwägungen, mehr als einem Entscheidungsträger oder mehrfach aufeinanderfolgenden Entscheidungen einher. In solchen Situationen ist die Entscheidungsanalyse am wertvollsten. Indem wir das Problem behutsam in kleinere, besser zu bewältigende Probleme zerlegen und uns darauf konzentrieren, was wirklich wichtig ist, können wir zu klaren Zielsetzungen und gut zu rechtfertigenden Handlungen gelangen.“

Hinblick auf die getroffene Wahl durchzuführen. HASKINS [2010, S. 195] unterscheidet formale Entscheidungen im Rahmen von Entscheidungspunkten (z. B. Meilensteinen) von informalen Entscheidungen, die an vielen Stellen im Projekt spontan zu treffen sind, während HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 264] ergänzen, dass die Entscheidungsbarriere teilweise überhaupt erst ab einer bestimmten, subjektiv wahrgenommenen **Höhe** zur Kenntnis genommen wird.

Laut HASKINS [2010, S. 195 f.] werden Entscheidungen an allen Stellen im Lebenszyklus getroffen, an denen **Alternativen** bestehen, wobei sie hinsichtlich ihrer Ursache politisch motiviert sein können oder auch technisch unabdingbar. Hier setzt auch das Bewertungsverständnis des Problemlösezyklus des Systems Engineering an, das sich stets auf den Vergleich von (auf Basis von Musszielen vorausgewählten) Lösungsvarianten anhand von Soll- und Wunschzielen¹⁰⁷ bezieht [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 263 f.]. Die Auseinandersetzung mit einzelnen Lösungen zur Beurteilung ihrer Eignung im Rahmen einer Problemstellung sei in diesem Zusammenhang Teil der Analyse und somit nicht direkt entscheidungsvorbereitend. Die Analyse umfasst die (isolierte) kritische Überprüfung jeder einzelnen Lösung hinsichtlich Einhaltung der Mussziele, Funktionstüchtigkeit, Vergleichbarkeit der zur Umsetzung erforderlichen Bedingungen sowie der zu erwartenden Konsequenzen. Nur geeignete Lösungsvarianten gelangen in die Bewertung¹⁰⁸.

| Evaluation Type | I | II | III |
|-------------------------|---|--|--|
| Given | Realized System | Problem statement and a solution proposal or a prototype | Problem statement and various solutions that conform to that problem |
| Question | How good is the System? | Does the system (model) conform to the set problem? | Which solution is best or optimal? |
| Algorithm of evaluation | <pre> graph TD A[Selection of criteria for the evaluation] --> B[Determination of criteria values] B --> C[Processing of individual values to a total value] C --> D[Comparison with the measuring scale] D --> E{decision} E --> F[Bad] E --> G[Good] </pre> | <pre> graph TD A[Determination of values of characteristics] --> B[Comparison with the given requirement] B --> C{decision} C --> D[Non-conformance] C --> E[Conformance] </pre> | <pre> graph TD A[Selection of criteria for the evaluation] --> B[Determination of the criterion values for all alternatives] B --> C[Processing to a total value] C --> D[Comparison of the total values of alternatives] D --> E{decision} E --> F[Poorer] E --> G[Better Alternative] </pre> |

Abbildung 3-21: Bewertungstypologie und zugehörige Bewertungsalgorithmen (in Anlehnung an HUBKA & EDER [1988, S. 162])

¹⁰⁷ Wunschziele stellen Zusatzkriterien dar, die teilweise erst auf Basis der Kenntnis der Lösungskonzepte definiert werden.

¹⁰⁸ Zur Bewertung existieren zahlreiche Unterstützungsmethoden (von einfachen Argumentenbilanzen über die Nutzwertanalyse bis hin zu Kosten-Wirksamkeits-Analysen), deren Auswahl auf Basis der Komplexität des Bewertungsproblems und der Entscheidungsstufe stattfinden sollte.

Dieses Verständnis ist jedoch nicht als universell anzusehen. So typisieren HUBKA & EDER [1988, S. 162] Bewertungen anhand der Differenzierung – auch singularer – Objekte hinsichtlich der Frage, ob es sich um ein real existierendes System, einen Lösungsvorschlag oder mehrere Lösungsvorschläge handeln kann, wonach sich auch der Zweck der Bewertung ableitet (Abbildung 3-21):

Folgende weitere Aspekte sind nach HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 266 ff., 143, 288] im Zusammenhang mit Entscheidungsvorbereitung und Entscheidungsfindung zu berücksichtigen: Auf **methodische Unterstützung** sollte insbesondere dann zurückgegriffen werden, wenn

- es sich um eine Entscheidung handelt, die weichenstellend für den weiteren Ablauf ist
- keine der zu bewertenden Varianten hinsichtlich ihrer wesentlichen Wirkungen und Eigenschaften offensichtlich zu favorisieren ist
- ein sehr heterogenes Bild der Meinungen, Auffassungen und Erwartungen des bewertenden Personenkreises vorliegt.

Durch gute Planung muss dafür gesorgt werden, dass ausreichend Zeit für die Entscheidungsvorbereitung zur Verfügung steht, die Entscheidung also nicht unter extremem Zeitdruck getroffen werden muss. Neben dem zweckmäßig herbeizuführenden eigentlichen Entscheidungsergebnis resultierten aus prozessual und inhaltlich definierten Entscheidungspunkten wichtige **Transparenz- und Lerneffekte** unter den Projektstakeholdern. Während die Auftraggeberschaft dazu gezwungen wird, sich mit dem Fortschritt auseinanderzusetzen und sich über mögliche Divergenzen bezüglich ihrer Wertvorstellungen bewusst zu werden, müssen die Mitglieder der Projektgruppe ihren Blick zwangsläufig von der Detailebene aufs Ganze heben und dabei ihre Arbeit aus Perspektive der Auftraggeber kritisch hinterfragen. Bewertungs- und Entscheidungsmethoden können **keine Objektivität** herbeiführen. Sie verhindern vielmehr ein rein intuitives, willkürliches Vorgehen und zwingen zur Reflexion über Wertvorstellungen und zu deren Strukturierung. Ausgefüllte und ausgewertete Entscheidungsdokumente (z. B. Bewertungstabellen) dienen daher der Nachvollziehbarkeit der **Begründung** von Entscheidungsvorschlägen. Anstelle durch Kompliziertheit wissenschaftliche Scheinobjektivität zu suggerieren, stellen vor dem Hintergrund dieses Zwecks der Kommunikation Einfachheit und Transparenz der genutzten Methoden und Hilfsmittel wichtige Aspekte dar.

3.5.4 Teilfazit

Das Systems Engineering baut klar auf den Prinzipien des Systemdenkens auf. Bei aller Ganzheitlichkeit, mit der an die Problemanalyse und die Systemgestaltung herangegangen wird, findet jedoch in der SE-Literatur eine sehr starke Fokussierung auf **Neuentwicklungen** sowie die Ebene des **Gesamtsystems** als Gestaltungsbereich statt. Argumentiert wird dieser Fokus größtenteils damit, dass kleinere Veränderungsschritte stets eine Limitation hinsichtlich der Gestaltbarmachung eines Systems in Richtung Optimalität und Konformität bezüglich

spezifischer Randbedingungen darstellen.¹⁰⁹ Dies erscheint als mögliche Erklärung, dass Entwicklungsprobleme, die dieser holistisch-idealen Perspektive nicht entsprechen – wie z. B. die Modulentwicklung – lediglich hinweisend betrachtet werden. Das SE bietet hier weder eine ausführliche Auseinandersetzung mit den mannigfaltigen Problemstellungen, deren Komplexität zwar anders gelagert, aber nicht zwangsläufig geringer ist, **noch wird spezifische methodische Vorgehensunterstützung angeboten, welche die Prinzipien des Systemdenkens für ebendiese Problemstellungen handlungsorientiert übersetzt.**

Dasselbe Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Vorgehensmodelle der systematischen Produktentwicklung, die ihren Ursprung in der Konstruktionsmethodik haben, was auf die gemeinsam mit dem SE genutzten grundlegenden Konzepte der Systemtechnik und des Prinzips der Dekomposition zurückzuführen ist. Entwicklungstätigkeiten auf Modulebene sind auch hier fester Bestandteil aller etablierter Ansätze, werden jedoch einseitig als Teilschritt eines auf das Gesamtprodukt abzielenden Vorgehens aufgefasst. Im Kontext der Betrachtung von Vorgehensmodellen liegt es nahe zu argumentieren, dass im Betrachtungsfall eines gegebenen, weiterzuentwickelnden Moduls, die vorgelagerten Schritte der Modulbildung schlichtweg hinaufgerückt werden und der Einstiegspunkt in das Entwicklungsvorgehen sich dadurch einfach „nach hinten“ verschiebt. Dieses Argument kann jedoch unmittelbar entkräftet werden, da der Zustand gebildeter Module nach dem allgemeinen Entwicklungsvorgehen impliziert, dass

- Anforderung an das Modul als Ergebnis der Dekomposition vorliegen
- die weiteren Module im selben Projektkontext entwickelt werden und dadurch bedingungsinduzierte Konflikte durch Modifikationen auch außerhalb des Moduls gelöst werden können
- dass das Modul auf die eine prinzipielle Lösung für das Problem hin optimiert werden muss, und nicht hinsichtlich des Beitrags seiner Eigenschaften in weiteren übergeordneten Systemen.

All dies sind jedoch Randbedingungen, die gänzlich unzureichend beziehungsweise inkonsistent zu jenen der in dieser Arbeit adressierten Problemstellung sind.

Obschon dem modularen Aufbau als generelles Gestaltungsprinzip „guter Architekturen“ ein hoher Stellenwert beigemessen wird, werden viele, mit Modularisierungszielen verknüpfte Aspekte in den Vorgehensmodellen des SE und der Konstruktionsmethodik nicht weiter detailliert. Eine existierende Angebotsstruktur¹¹⁰ mit unterschiedlichen Lebenszyklen von Lösungsbestandteilen beispielsweise stellt ein strategisches Werkzeug dar, das erst durch eine modulare Architektur nutzbar gemacht werden kann. Die sich daraus ergebende Verschiebung hin zu einer **architektur- und modulatorientierten Projektlandschaft** wird allerdings bislang nicht in den angebotenen Vorgehensweisen aufgegriffen.

In den Vorgehensmodellen der **Produktplanung** erfolgt die Betrachtung eines angebotenen Produktportfolios gänzlich ohne Bezug zu der vorhandenen (modularen) Produktarchitektur.

¹⁰⁹ Durch Assoziationen wie „lokale Symptomtherapie“ oder „Jedes Konzept ist irgendwann überholt“ [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 293] entsteht sogar eine latente Herabqualifizierung dieser real durchaus sehr relevanten Problemstellungen.

¹¹⁰ im Sinne einer geplanten Programmarchitektur oder eines gewachsenen Modul- und Systemportfolios

Ebenso defizitär stellt sich die Betrachtung einzelner Module als Planungsobjekte dar, wie sie im Zentrum des Interesses dieser Arbeit stehen. In der Folge ist auch festzustellen, dass sich die Betrachtung von Produktideen in den Modellen der Produktplanung in aller Regel auf die Gesamtsystemebene bezieht, wodurch Suchmethoden und Bewertungsverfahren nicht an die Randbedingungen (z. B. systemhierarchische Rolle eines Moduls, vertragliche Rahmenbedingungen eines Zulieferers) der Planung neuer oder weiterzuentwickelnder Module angepasst sind.

Das **Fehlen einer modulzentrierten Perspektive** in den dargestellten Feldern ist umso erstaunlicher, legt man die Aussage des Systemdenkens zu Grunde, dass die Umwelt, in die ein System eingebettet ist, eine natürliche Umgebung sein kann, mit der es interagiert, oder aber ein übergeordnetes technisches (Gesamt-)system. Die Denkrichtung der Übersystembetrachtung (vgl. Teilkapitel 3.1.2) wird faktisch für den zweiten Fall nicht weiter differenziert und methodisch ausgestaltet. Oder anders gesagt: mit der in allen Ansätzen propagierten Top-Down-Perspektive wird implizit stets ein Vorgehen auf Gesamtsystemebene assoziiert, was letztlich der selbst geforderten „Ebenenneutralität“ des systemhierarchischen Denkens nicht gerecht wird.

4. Qualitätsorientierung in Planung und Entwicklung

Ziel dieser Arbeit ist es, Anbieter komplexer Systeme und Anlagen dabei zu unterstützen, im Rahmen von Entwicklungsprojekten einzelner Kernmodule die **Qualitätsorientierung** in den frühen Phasen zu verbessern. Durch erhöhte **Transparenz** des gestalteten **Eigenschaftsgefüges** eines Moduls hinsichtlich seines Einflusses auf die Eigenschaften möglicher übergeordnete Systeme sowie hinsichtlich der auf unterschiedlichen Ebenen stattfindenden Wahrnehmung durch relevante Stakeholder soll das Risiko von Fehlentwicklungen minimiert werden. Dieses Ziel stellt einen Kernaspekt der Qualitätsorientierung dar, und wird über spezifische Methoden in der Planung und Entwicklung von Produkten auf verschiedenen Ebenen verfolgt.

Im Rahmen dieser Arbeit steht jedoch weniger die Betrachtung des allgemeinen Qualitätswesens im Kontext der betrachteten Industrien im Vordergrund, als vielmehr die systemtechnische Interpretation der Problemstellung der Entwicklung multifunktionaler Kernmodule und die darauf aufbauende Adaption der etablierten Methodik des **Quality Function Deployment**. Dennoch werden zunächst Begriff und Konzept der **Qualität** eingeführt und auf die grundlegenden Ziele und Aufgaben des **Qualitätsmanagements** eingegangen, bevor das **Quality Function Deployment** hinsichtlich seiner unterschiedlichen Umfänge, seiner Stärken und Schwächen, sowie seiner Einsatzmöglichkeiten diskutiert wird, sowie seine Auswahl als Ausgangspunkt und Grundlage der zu entwickelnden methodischen Unterstützung begründet wird.

4.1 Das Konzept der Qualität und ihre Bedeutung

Seinen etymologischen Ursprung hat der Begriff **Qualität** im lateinischen *qualitas*, was durch Beschaffenheit, Eigenschaft, Güte übersetzt werden kann. Diese Bedeutung entspricht dem klassischen Qualitätsverständnis der produzierenden Industrie aus der Mitte des letzten Jahrhunderts [REINHART ET AL. 1996, S. 3 f.] und ist gemeinsprachlich auch heute noch fest verankert [GEIGER & KOTTE 2008, S. 73]. Als absolut verstandene Größe assoziierte der Begriff Eigenschaften wie Zuverlässigkeit, Wertigkeit oder Fehlerfreiheit.

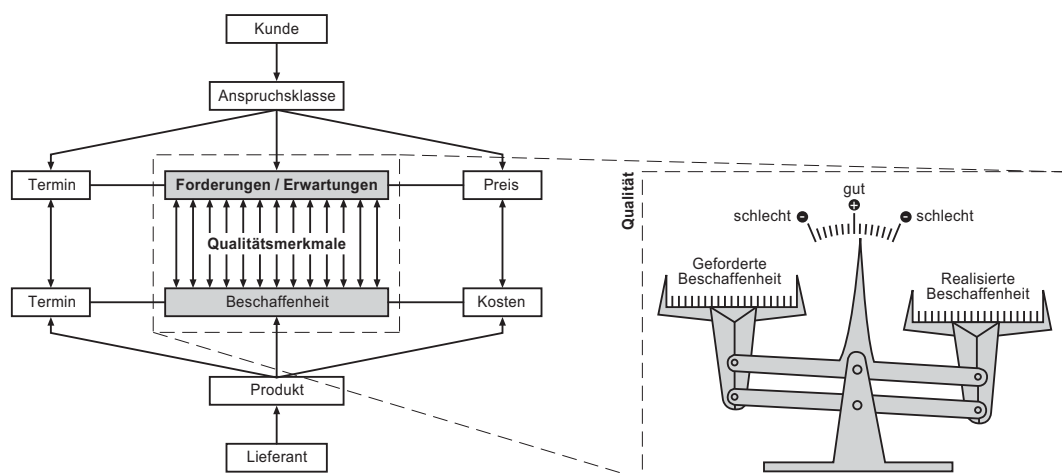


Abbildung 4-1: Qualität als Relation zwischen geforderter und realisierter Beschaffenheit (kombinierte Darstellung nach MASING [2014, S. 5] und GEIGER & KOTTE [2008, S. 71])

Der heutige Qualitätsbegriff, der sich im Zuge stetig zunehmender Kundenorientierung der Unternehmen herausgebildet hat, unterscheidet sich in erster Linie durch seine Relativität. Nach aktuellem Stand der Normung ist Qualität definiert als „*Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt*“ [DIN EN ISO 9000:2005, S. 18], was GEIGER & KOTTE [2008, S. 68] zweckmäßig vereinfachen zu der „*Relation zwischen realisierter und geforderter Beschaffenheit*“. Unterschiedliche Aspekte dieses Verständnisses sind in Abbildung 4-1 verdeutlicht. GEIGER & KOTTE [2008, S. 70 f.] heben dazu hervor, dass einerseits die Relationen für jedes Merkmal einzeln ermittelt werden müssen, sich die Qualität jedoch auf die Gesamtheit aller Relationen bezieht und kaum mit einem einzigen verbalen Ausdruck (geschweige denn einem einzigen Zahlenwert) darstellbar ist.

Mit der Beschreibung aus Kundensicht als Attraktivität eines Produkts oder einer Dienstleistung im Markt geht für DANZER [1990, S. 12 ff.] der Qualitätsbegriff heute essenziell über den früheren, auf ein Kontrollwesen im Betrieb eingeschränkten Inhalt hinaus. Die als oberstes Ziel verfolgte **Kundenzufriedenheit** – diese langfristig sicherzustellen, ist nach REINHART ET AL. [1996, S. 13] Grundvoraussetzung für das Erwirtschaften von Gewinnen – ist nach DIN EN ISO 9000 [2005, S. 19] als „Wahrnehmung des Kunden zu dem Grad, in dem die Anforderungen des Kunden erfüllt worden sind“ definiert.

Der Wahrnehmungsaspekt verdeutlicht, dass die Erwartungen des Kunden nicht zwangsläufig den bekannten Anforderungen entsprechen. DANZER [1990, S. 12 ff.] weist darauf hin, dass Beschwerden des Kunden zwar ein üblicher Indikator für Kundenunzufriedenheit sind, deren Fehlen jedoch nicht notwendigerweise hohe Kundenzufriedenheit bedeutet. Sogar die direkte Vereinbarung der Kundenanforderungen mit dem Kunden und deren anschließende Erfüllung seien keine Garantie für Kundenzufriedenheit (auch [FRICKE 2003, S. 93]). Daher determiniert letztlich allein die „gezielte Erfüllung der explizit formulierten und implizit gewollten Ansprüche und Erwartungen des Kunden bezüglich Funktionen und Beschaffenheit des Produktes, Preis bzw. Aufwand und Liefertermin“ die Qualität [REINHART ET AL. 1996, S. 46]. Dabei findet – wie auf der linken Seite in Abbildung 4-1 angedeutet – der direkte Wettbewerb mit Konkurrenzanbietern innerhalb mehr oder weniger klar abgegrenzter **Anspruchsklassen**¹¹¹ statt, welche beispielsweise über die Strategie festgelegt werden.¹¹²

Nach REINHART ET AL. [1996, S. 46] muss die Erfüllung aller existierenden Anforderungen innerhalb einer ganzheitlichen, ausgewogenen Betrachtungsweise in der Produktdefinition stattfinden, in der neben dem starken Einflussfaktor der Kundenanforderungen auch andere Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Diese können beispielsweise durch unternehmensinterne Anforderungen vorliegen, wie eine bestehende Modularisierung (strategisch geplant oder historisch gewachsen) oder vorliegende Fertigungsmöglichkeiten. Auch kann eine Erfüllung der Anforderungen nicht ohne Berücksichtigung auftretender

¹¹¹ Diese sind nach DIN EN ISO 9000 [2005, S. 19] als Kategorien definiert, „die den verschiedenen Qualitätsanforderungen an Produkte, Prozesse oder Systeme mit demselben funktionellen Gebrauch zugeordnet sind und bei der Festlegung einer Qualitätsanforderung generell angegeben werden sollten“.

¹¹² Ein Unternehmen, welches sich als Innovationsführer positioniert und mit schnellen Technologiewechsels ständig neue Begeisterungsmerkmale in den Markt einführt, bedient eine andere Anspruchsklasse als eines, welches als Kostenführer etablierte Produkte besonders günstig anbietet.

Bedingungen¹¹³ erfolgen, die zwar keinen direkten Kundenwert besitzen, aber den Lösungsraum einschränken [CHANDRASEKARAN 1989]. Bezüglich der operativen Überführung in technische Lösungsvorschläge sei diese Unterscheidung sogar irrelevant, dennoch sei sie grundsätzlich wichtig, um stets die für die Kundenorientierung relevanten Zusammenhänge greifbar zu machen. Zur tatsächlichen *Umsetzung* von Kundenzufriedenheit ist es auch nach HUBKA & EDER [1996, S. 10] nicht ausreichend, die *gewünschten* Eigenschaften in einem positiven Sinn zu berücksichtigen, sondern erfordert ebenfalls die Berücksichtigung ihrer *negativen Konnotationen* durch Antizipation, Detektion, Vermeidung und gegebenenfalls Korrektur möglicher Fehler.

Zusammenfassend (vgl. Abbildung 4-1, links) sind zum Erreichen und Absichern von Qualität also folgende Fähigkeiten ausschlaggebend:

- die Ermittlung von Forderungen und Erwartungen
- die Gestaltung eines Eigenschaftsgefüges (Beschaffenheit), das diesen bestmöglich entspricht, unter Berücksichtigung bestehender und auftretender Bedingungen
- die Schaffung von Transparenz bezüglich der Relationen zwischen Forderungen und Beschaffenheit.

Gerade im Falle der Weiterentwicklung bestehender Produkte oder Module besteht hinsichtlich der frühzeitigen Berücksichtigung von Bedingungen und Abhängigkeiten erhöhtes Potenzial auf bestehende Informationen und Erfahrungen zurückzugreifen. Auf die systemtechnisch induzierten Besonderheiten von Kunden- und Systemanforderungen im Rahmen der Modulentwicklung wird in Kapitel 4.3.6 näher eingegangen.

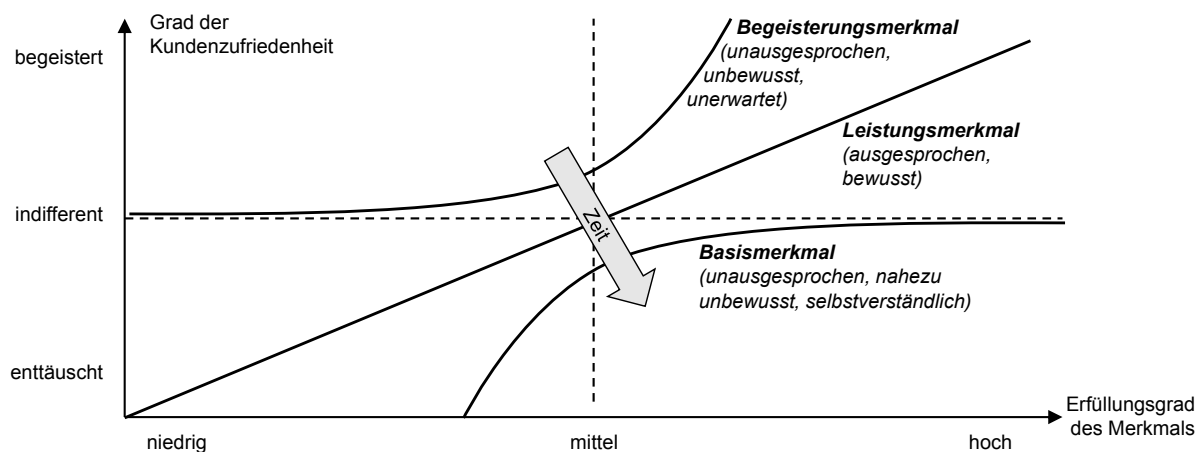


Abbildung 4-2: Das Kano-Modell (in Anlehnung an KANO [1995])

¹¹³ Auch in der Richtlinie zum Methodischen Gestalten VDI 2223 [2004, S. 12] (vgl. Abbildung 3-18) wird diese Unterscheidung vorgenommen. Demnach sind Anforderungen qualitative oder quantitative SOLL-Eigenschaften des zu entwickelnden Produkts, die aus dem gesamten Lebenslauf resultieren, teilweise widersprüchlich sowie voneinander abhängig sind. Bedingungen haben einen direkten Lösungsbezug, da sie aus der gegenseitigen Beeinflussung der Gestaltelemente systembedingt aus deren Gestalt- und Werkstoffeigenschaften sowie aus funktionalen Eigenschaften resultieren.

Zur Ausnutzung aller Marktchancen ist es wichtig, nicht nur die Zufriedenstellung des Kunden durch die Realisierung eines passenden Eigenschaftsgefüges anzustreben, sondern ihn darüber hinaus durch bestimmte Eigenschaften mit einem für ihn überraschenden, aber als wertvoll angesehenen Erfüllungsgrad zu begeistern. Dabei hängt es von der einzelnen Eigenschaft ab, ob und inwiefern durch ihre Ausprägung Enttäuschung vermieden oder Begeisterung erzeugt werden kann. Das von seinem Autor KANO [1995] „*two-dimensional recognition method*“ genannte Modell, für welches sich allerdings die Benennung nach seinem Urheber – **Kano-Modell** – durchgesetzt hat, bietet für diese Abgrenzung drei Kategorien, wie in Abbildung 4-2 anhand der drei Kurven dargestellt.¹¹⁴

Basismerkmale (im Original „*expected qualities*“) werden vom Kunden stillschweigend vorausgesetzt. Während ein hoher Erfüllungsgrad kaum honoriert wird, führt eine geringe Ausprägung der Eigenschaft zu Enttäuschung. Im Falle von **Leistungsmerkmalen** („*unitary qualities*“) besteht ein quasi-proportionaler Zusammenhang zwischen Ausprägung und Zufriedenheitsgrad. **Begeisterungsmerkmale** („*attractive qualities*“) zeichnen sich dadurch aus, dass es nicht auffällt, wenn sie fehlen beziehungsweise schwach ausgeprägt sind, ein zunehmender Erfüllungsgrad jedoch zu einem überproportionalen Anstieg der Kundenzufriedenheit führt. Nach VON REGIUS [2006, S. 125] geht es zudem bei Begeisterungsmerkmalen noch häufig um das „*ob*“ (beispielsweiser neuer Funktionen oder Technologien), während es bei Leistungsmerkmalen (wenn Funktionen bereits etabliert sind) um das „*wie gut*“ geht.

Die Eigenschaftskategorisierung ist jedoch nicht als statisch anzusehen, sondern unterliegt einer **Dynamik**. Begeisterungsmerkmale gehen so mit der Zeit in Leistungsmerkmale über und werden schließlich zu Basismerkmalen. Dies wird am Beispiel der Tiefe von Fernsehgeräten deutlich. Stachen anfangs Flachbildfernseher (obwohl im heutigen Vergleich immer noch recht dick) aus der Masse der Röhrenfernseher heraus und konnten das Vielfache des Preises gegenüber letzteren erzielen, stellte nach der Ablösung der alten Technologie die Tiefe innerhalb der Flachbildfernseher immer noch ein preisrelevantes Kriterium dar, während sich inzwischen die Technologien einem Minimum angenähert haben, sodass die Anbieter eine Differenzierung über andere Merkmale wie beispielsweise der Gestensteuerung erreichen müssen.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

Diese Zusammenhänge stehen im Einklang mit dem Schluss, dass im Falle von Investitionsgütern, die sich in einem technologisch etablierten Stadium befinden, der Erfüllungsgrad der zweckgebenden Hauptfunktionen eher im Bereich von Leistungs-, wenn nicht gar Basismerkmalen, anzusiedeln ist, während begeisternde Weiterentwicklungen im Zusammenhang mit sekundären Funktionen wie verbesserter Wartbarkeit oder Transportfähigkeit stehen.

Definiert man „**Übererfüllung von Eigenschaften**“ mit einer Ausprägung, welche das Forderungsniveau des Kunden übersteigt, stellen Begeisterungsmerkmale die einzige Kategorie dar, in welcher sich dies – durch den positiven Überraschungseffekt – positiv auf den Markterfolg auswirken kann. Grundsätzlich verweist FELGEN [2007, S. 72] in diesem

¹¹⁴ Die Erfassung der für die Kategorisierung nötigen Daten ist marketingseitig mit einem hohen Aufwand verbunden. Hinweise zum Vorgehen finden sich in KANO [1995] und VON REGIUS [2006, S. 27 ff.].

Zusammenhang jedoch auf das Risiko einer im Sinne eines „Happy Engineering“ ausgelösten unrentablen Übererfüllung von Eigenschaften.

VON REGIUS [2006, S. 39–180] strukturiert seinen umfassenden Qualitätsplanungsansatz nach den genannten Eigenschaftskategorien. Für diese integriert der Ansatz jeweils Methoden, die auf Basis der Spezifika der Kategorien ausgewählt sind. Dabei diskutiert er auch den Zusammenhang zwischen Eigenschaften und Anforderungen im Kontext der **Hierarchieebenen** eines Systems – ein Aspekt, der mit zunehmender Komplexität und Mehrstufigkeit eines Systems an Bedeutung zunehme [VON REGIUS 2006, S. 37 f.]. Die Tatsache, dass sich (im Lastenheft formulierte) Kundenanforderungen immer auf das Gesamtprodukt bezögen (vgl. auch Kapitel 3.3.3), führe zu einer Lücke zwischen den Anforderungen und den Eigenschaften von Subsystemen. Im Zuge der Projektion der Anforderungen auf die jeweils nächstniedrige Ebene würde mit zunehmender Dekompositionstiefe die Problematik dieser Lücke gravierender.

GEIGER & KOTTE [2008, S. 20] machen außerdem auf den großen **Erinnerungswert** von Qualität im Vergleich zu den beiden anderen Kernaspekten Zeit und Kosten aufmerksam. Nach dem Übergang des Produkts an den Käufer gerieten Preis und Lieferfähigkeit schnell in Vergessenheit – obwohl diese häufig kaufentscheidend seien und im Zentrum von Akquisitionsverhandlungen stünden. Qualität jedoch „*spricht am längsten*“ – und auch noch nach vielen Jahren für oder gegen den Verkäufer. Dann profitiert oder leidet der Verkäufer unter dem Effekt, dass die Erfahrungen eines Anwenders auch einen wesentlichen Einfluss auf dessen Kaufverhalten haben, und zwar auch in Bezug auf andere Produkte desselben Herstellers.

4.2 Qualitätsmanagement im Produktentstehungsprozess

4.2.1 Bezug des QM zu den frühen Phasen der Produktentwicklung

Das **Qualitätsmanagement** umfasst die leitungs- und lenkungsbezogenen Tätigkeiten einer Organisation bezüglich Qualität, welche das Festlegen von Qualitätspolitik und Qualitätszielen, sowie der Qualitätsplanung, Qualitätslenkung, Qualitätssicherung und Qualitätsverbesserung umspannen [DIN EN ISO 9000:2005, S. 21]. Die letzten vier stellen dabei die *ablaufbezogenen Teilaufgaben* des Qualitätsmanagements [GEIGER & KOTTE 2008, S. 11] beziehungsweise das operative Qualitätsmanagement [SEGHEZZI ET AL. 2013, S. 122] dar. Dabei beziehen sich Qualitätssicherung und Qualitätsverbesserung auf das Qualitätsmanagementsystem¹¹⁵, während Qualitätsplanung und Qualitätslenkung einen direkten Bezug zum Prozess der Leistungserstellung haben. Aufgabe der Qualitätssicherung ist es, die Fähigkeit des QM-Systems eines Unternehmens darzulegen (beispielsweise im Rahmen von Zertifizierungen

¹¹⁵ Zum QM-System gehören nach BRUHN & GEORGI [1999, S. 15 f.] „*sämtliche Elemente, die zur Steuerung der Qualität eingesetzt werden, d. h. Strukturen, Prozesse und im Unternehmen eingesetzte Methoden*“. GEIGER & KOTTE [2008, S. 193] betonen, dass das QM-System entgegen vielfach anzutreffender Vorstellungen kein hierarchisch aufgebauter, eigenständiger Bereich der Organisation wie etwa die Bereiche Vertrieb oder Fertigung ist, sondern sämtliche Bereiche einer Organisation betrifft. Detaillierte Definitionen zu allen hier genannten Begriffen können dem aktuellen Stand der Normung [DIN EN ISO 9000:2005], sowie – inklusive der historischen Begriffsentwicklungen – GEIGER & KOTTE [2008] entnommen werden.

beziehungsweise Audits), die kontinuierliche Verbesserung dieser Fähigkeit obliegt hingegen der Qualitätsverbesserung.

Innerhalb der Leistungserstellung befasst sich die Qualitätsplanung mit dem „*Festlegen der Qualitätsziele und der notwendigen Ausführungsprozesse sowie der zugehörigen Ressourcen zum Erreichen der Qualitätsziele*“ und die Qualitätslenkung mit der „*Erfüllung von Forderungen an die Beschaffenheit*“ [DIN EN ISO 9000:2005], womit sie dem Fertigungsprozess zugeordnet ist. Zum besseren Verständnis der **Qualitätsplanung**, welche innerhalb des Qualitätsmanagements den Betrachtungsrahmen dieser Arbeit darstellt, halten GEIGER & KOTTE [2008, S. 157] die detailliertere Definition aus der im Rahmen der Internationalisierung abgelösten Fassung der genannten Norm nach wie vor für hilfreich: „*Auswählen, Klassifizieren und Gewichten der Qualitätsmerkmale sowie schrittweises Konkretisieren aller Einzelanforderungen an die Beschaffenheit zu Realisierungsspezifikationen, und zwar im Hinblick auf die durch den Zweck der Einheit gegebenen Erfordernisse, die Anspruchsklasse und unter Berücksichtigung der Realisierungsmöglichkeiten*“.

SEGHEZZI ET AL. [2013, S. 121–142] beschreiben die Qualitätsplanung als Summe aller Maßnahmen des Qualitätsmanagements in der Produktplanung, welche das Erfassen der Bedürfnisse, deren Umsetzung in neue oder verbesserte Leistungen, sowie die Gestaltung der Qualität der Prozesse, die zur Leistungserstellung erforderlich sind, umfassen. Diese Aufgabe ist nach MAI [1998, S. 22] interdisziplinär zu lösen und stellt eine Querschnittsfunktion im Unternehmen dar. REINHART ET AL. [1996, S. 26] stellen außerdem die zu berücksichtigenden internen und externen Randbedingungen bei der Festlegung qualitätskonformer Produkt- und Realisierungsspezifikationen heraus.

Nach SEGHEZZI ET AL. [2013, S. 139] können durch die **strategische Positionierung** eines Unternehmens ganz unterschiedliche Profile der Qualitätsplanung entstehen. Die Strategische Positionierung legt beispielsweise fest, ob sich die Ausrichtung primär an der Erfüllung der Kundenbedürfnisse oder an den unternehmenseigenen Stärken und Potenzialen orientieren soll, oder ob durch permanente Verbesserungen auf Bewährtem aufgebaut oder die in- und außerhalb erkennbaren Möglichkeiten zur Gestaltung und Entwicklung neuer Produkte, Dienstleistungen und Prozesse extensiv genutzt werden sollen. Diese Positionierung kann auf Basis aktiver strategischer Entscheidungsfindung eines Unternehmens erfolgen, oder durch industrie-spezifische Zwänge und Randbedingungen vorgegeben sein.

4.2.2 Ebenen der Unterstützungsansätze des Qualitätsmanagements

Die Unterstützungsansätze des Qualitätsmanagements sind vielfältig und auf sehr unterschiedliche Ebenen gerichtet, wie beispielsweise der Ordnungsrahmen nach KIRSTEIN [1992, S. 400 ff.] zeigt, der vier Ebenen unterscheidet (Abbildung 4-3). Sowohl KIRSTEIN als auch GEIGER & KOTTE [2008, S. 505 f.] bemängeln im Zusammenhang solcher Systematisierungsbemühungen jedoch, dass durch die nicht abflauende Euphorie bezüglich qualitätsorientierter „*Zauberformeln*“ das Feld an Ansätzen durch immer neue Programme erweitert und noch undurchsichtiger werde. Dabei schmückten sich auch Methoden, die der Qualitätsorientierung nur sekundär dienen, gerne mit diesem Label, was der Übersicht und Einsatzklärung zusätzlich abträglich sei. Anstatt das Rad ständig neu zu erfinden sei dem Qualitätsmanagement mit der

Weiterentwicklung von Bewährtem zur Schaffung einer gewissen Kontinuität der Denkweisen, Verfahren und Methoden am besten geholfen.

| | | Ansätze des Qualitätsmanagements | | | | | | |
|----------------|--|---------------------------------------|--------------|-----|--------|-----------|--------------------|-----|
| Ebene 1 | Unternehmenskultur & Grundhaltung | Kundenorientiertes Denken und Handeln | | | | | | |
| Ebene 2 | Philosophien & Denkweisen | CWQC | Null-Fehler | | Kaizen | Six Sigma | | |
| Ebene 3 | Strategien & Verfahren | TQM | Benchmarking | WCM | JIT | AQI | Balanced Scorecard | |
| Ebene 4 | Methoden & Operationen | DAA | Poka-Yoke | SPC | QFD | FMEA | DFM | MRP |

Abbildung 4-3; 4-Ebenen-Ansatz zur Systematisierung von QM-Ansätzen mit etablierten Beispielen (in Anlehnung an KIRSTEIN [1992, S. 400 ff.] und GEIGER & KOTTE [2008, S. 505 f.] (Aktualisierung))

Solche Systematisierungen sind als Verständnis- und Übersichtshilfen zu betrachten, denn je nach Sichtweise kann die Zuordnung variieren¹¹⁶, was zeigt, dass eine absolute Klarheit bezüglich der Systematik kein verfolgenswertes Ziel darstellt. Dass es zwangsläufig zu einem solchen diffusen Gesamtbild kommen muss, wird allein bei der Betrachtung des (in Kapitel 4.3 ausführlich behandelten) Quality Function Deployment klar, welches in sehr verschiedenen Umfängen existiert und mal auf einige wesentliche Teilelemente (maßgeblich das „House of Quality“) reduziert lediglich zur Anforderungsklä rung genutzt wird, mal als umfassende Methodik, die mehrere Phasen des Produktentwicklungsprozesses unterstützt.

Das Total Quality Management (TQM) stellt nach KAMISKE & BRAUER [2011, S. 311] die denkbar umfassendste Qualitätsstrategie für ein Unternehmen dar, die sich dadurch auszeichnet, dass Qualität und Qualitätsmanagement in den Mittelpunkt der gesamten Unternehmenskultur gestellt werden, in der Qualität den gemeinsamen Wertmaßstab darstellt. Sie basiert auf der kontinuierlichen Verbesserung seiner drei gleichberechtigten Inhalte (T) des Umfassenden, (Q) der Qualität und (M) des Managements im Sinne der Führung [KAMISKE & BRAUER 2011, S. 311]. MALORNY [2014, S. 1043], der TQM als Führungsmodell einer qualitätsorientierten Unternehmenskultur umschreibt, konkretisiert dies für die drei Elemente wie folgt:

- **T:** „Einbeziehen aller Mitarbeiter, aber auch ganz besonders der Kunden; weg vom isolierten Funktionsbereich, hin zum ganzheitlichen Denken“
- **Q:** „Qualität der Arbeit, der Prozesse und des Unternehmens, woraus die Qualität der Produkte wie selbstverständlich erwächst“
- **M:** „Führungsaufgabe Qualität [sowie] Qualität der Führung“

Neben den spezifischen **Methoden** des Qualitätsmanagements, welche – mit Fokus auf die präventiv eingesetzten Methoden – im nächsten Abschnitt diskutiert werden, wurden mit den **sieben Managementwerkzeugen (M7)** sowie mit den **sieben Qualitätswerkzeugen (Q7)** zwei Gruppen von Werkzeugen vorgeschlagen, die allgemeine Problemlösungstechniken darstellen [KAMISKE & BRAUER 2011, S. 124–133, 218-234]. Die Zusammenstellung der M7

¹¹⁶ So schlägt DANNER [1996, S. 27] ein ähnliches Schema vor – gegliedert nach Handlungsmaximen, prinzipiellen Vorgehensweisen und konkreten Methoden – und interpretiert es als ein Rahmenwerk der Bestandteile des TQM, das seinerseits Benchmarking und JIT enthält (und zwar auf unterschiedlichen Ebenen).

sind das Ergebnis einer Untersuchung der Japanese Union of Scientists and Engineers (JUSE) und zielen auf die Förderung einer systematischen und strukturierten Vorgehensweise im Rahmen komplexer Fragestellungen insbesondere während der **Planungs- und Entwicklungsphase**, wo kaum numerische Daten verfügbar sind. Die Q7 hingegen gehen auf den Urheber des Ursache-Wirkungs-Diagramms, ISHIKAWA, zurück und unterstützen die **Produktions- bzw. Serienphase**, wo in der Regel numerische Daten vorliegen. Sie basieren meist auf mathematisch-statistischen Grundlagen. Beiden Sammlungen ist nach KAMISKE & BRAUER gemein, dass ihre relativ einfachen visuellen Hilfsmittel bereits einzeln wirkungsvoll einsetzbar sind, ihr vollständiges Problemlösepotenzial sich jedoch vor allem in ihrer Kombination entfaltet.¹¹⁷

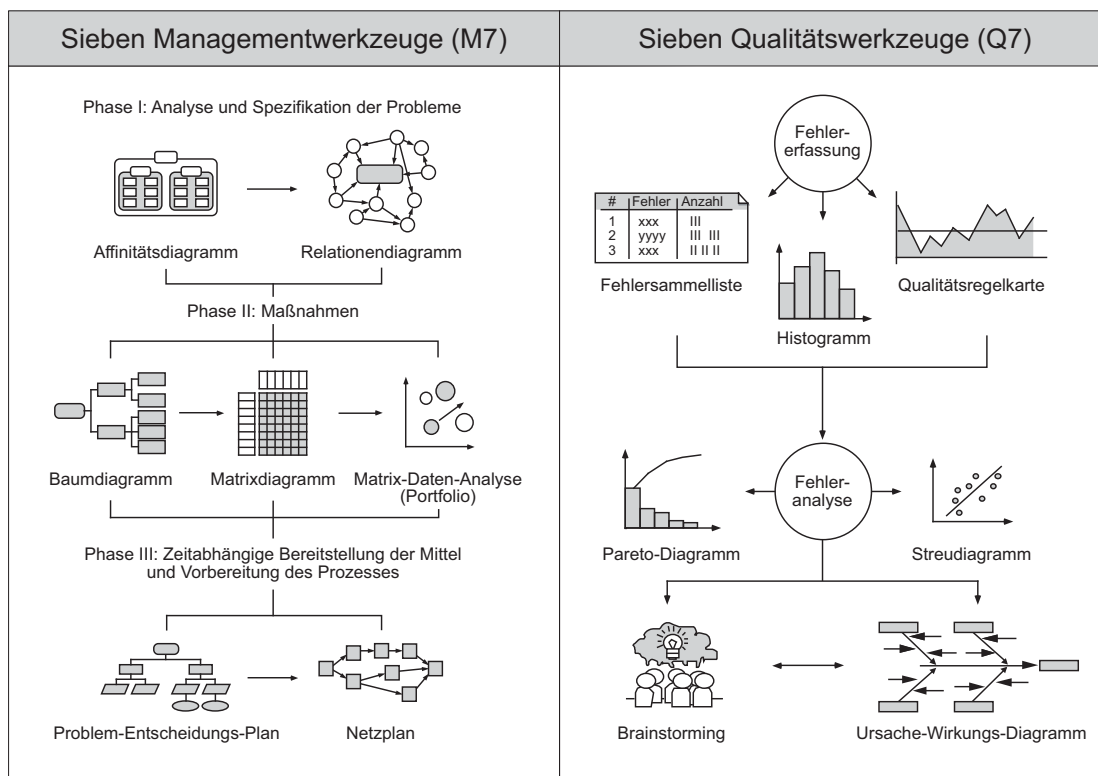


Abbildung 4-4: Gegenüberstellung der 7 Management- und der 7 Qualitätswerkzeuge (kombinierte Darstellung nach KAMISKE & BRAUER [2011, S. 126 bzw. 119])

4.2.3 Ziele und Methoden des präventiven Qualitätsmanagements

Auf der Ebene der spezifischen Methoden bietet sich aus Sicht des Qualitätsmanagements eine Grobeinteilung anhand des Produktlebenszyklus an. So kann nach REINHART ET AL. [1996, S. 69 f.] zwischen **Methoden des präventiven Qualitätsmanagements**, **produktionsbegleitenden Methoden** und **nutzungsbegleitenden Methoden** unterschieden werden. Erstere sind in

¹¹⁷ Einzelbeschreibungen können DANNER [1996, S. 27 ff.] oder [KAMISKE & BRAUER 2011, S. 124–133, 218–234] entnommen werden. Letztere Quelle enthält zudem Empfehlungen zur Kombination in einem Problemlösungsvorgehen.

die Zukunft gerichtete Methoden und im Rahmen dieser Arbeit relevant. Sie sind aus der eingangs dieses Kapitels angerissenen Entwicklung des Qualitätsverständnisses in Richtung Kundenorientierung und Fehlervermeidung als Ergänzung zu der zuvor vorherrschenden reinen reaktions- und gegenwartsorientierten Qualitätsprüfung hervorgegangen [REINHART ET AL. 1996, S. 14]. Gegenüber Methoden mit Bezug auf die Fertigungsplanung, die Fertigung und die Produktion sind präventive Methoden nach FELGEN [2007, S. 83] jedoch nach wie vor unterrepräsentiert. Als verbreitete Beispiele nennt er das **Quality Function Deployment (QFD)**, die **Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)**, die **Fehlerbaumanalyse (FTA)** sowie die **Ereignisbaumanalyse (ETA)**. **Design Reviews** und die **statistische Versuchsplanung** sind weitere Ansätze dieses Spektrums (z. B. [DANNER 1996]).

Das Qualitätsverbesserungspotenzial durch den Einsatz präventiver Qualitätstechniken in den Bereichen der Ausschussverringerung, der Nacharbeitsreduktion sowie der Erhöhung von Kundenzufriedenheit geben JOCHEM & RABFELD [2014, S. 94] mit bis zu 60% an. Unabhängig von der tatsächlichen Höhe dieses Potenzials lässt sich der Grund dafür auf Basis des in Abbildung 4-5 gezeigten Diagramms gut nachvollziehen. Dies zeigt unter anderem den Einfluss auf die Fehlervermeidung sowie die Kosten durch entstandene Fehler in Bezug auf die einzelnen Phasen der Produktentstehung und der Nutzung. Ein Großteil der Produkteigenschaften wird in den frühen Phasen festgelegt. Da dies generell mit einer erhöhten Fehlerentstehungswahrscheinlichkeit einhergeht, besteht durch die prinzipielle Möglichkeit, diese zu verhindern ein erhöhtes Potenzial der Fehlervermeidung und Fehlerkostenbehebung. Dies steht allerdings im Kontrast damit, dass die Fehlerentdeckungsmöglichkeiten erst mit zunehmendem Projektfortschritt überproportional zunehmen.

In der Sprache der Qualität ist ein Fehler als Nichterfüllung einer Anforderung definiert [DIN EN ISO 9000:2005, S. 27]. Gemäß der Diskussion des Qualitätsbegriffs (vgl. Teilkapitel 4.1) kann dieser aus einer Abweichung zwischen den (bewusst oder unbewusst) gestalteten Eigenschaften zu identifizierten Anforderungen resultieren oder aber aus initial nicht identifizierten Forderungen beziehungsweise fehlerhaft festgelegten Anforderungen.¹¹⁸ Präventive Qualitätsmethoden zielen auf die **Minimierung beider dieser Fehlerursachen** ab, wobei eine scharfe Trennung nicht möglich ist. Tendenziell kann jedoch beispielsweise das QFD stärker der ganzheitlichen Anforderungsidentifikation und -transportierung zugeordnet werden, wodurch eher die Synthese unterstützt wird, während die FMEA¹¹⁹ einen klar analyseorientierten und korrigierenden Charakter aufweist.

¹¹⁸ FELGEN [2007, S. 89] bezeichnet letzteres als Versagen durch Nichtkenntnis von Anforderungen, hervorgerufen durch mangelnde Aufgabenklärung.

¹¹⁹ Die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) stellt eine Methode zur vorausschauenden Fehlervermeidung dar, die auf die Ermittlung potenzieller Systemausfälle, sowie deren Ursachen und Auswirkungen abzielt [FELGEN 2007, S. 5]. Je nach Zeitpunkt der Anwendung und Objekt der Untersuchung ist sie als Konstruktions-FMEA für ein Produkt (Entwicklungs- und Konstruktionsphase) oder Prozess-FMEA für ein Herstellungsverfahren (Produktionsplanungsphase) ausgeprägt. In einem formalisierten Vorgehen werden mögliche Probleme sowie deren Risiken und Folgen bereits vor ihrer Entstehung systematisch und vollständig erfasst und in eine Risikoprioritätszahl überführt, welche sich als Produkt aus Auftretenswahrscheinlichkeit, Bedeutung der Folgen und Entdeckungswahrscheinlichkeit errechnet [KAMISKE & BRAUER 2011, S. 64–71].

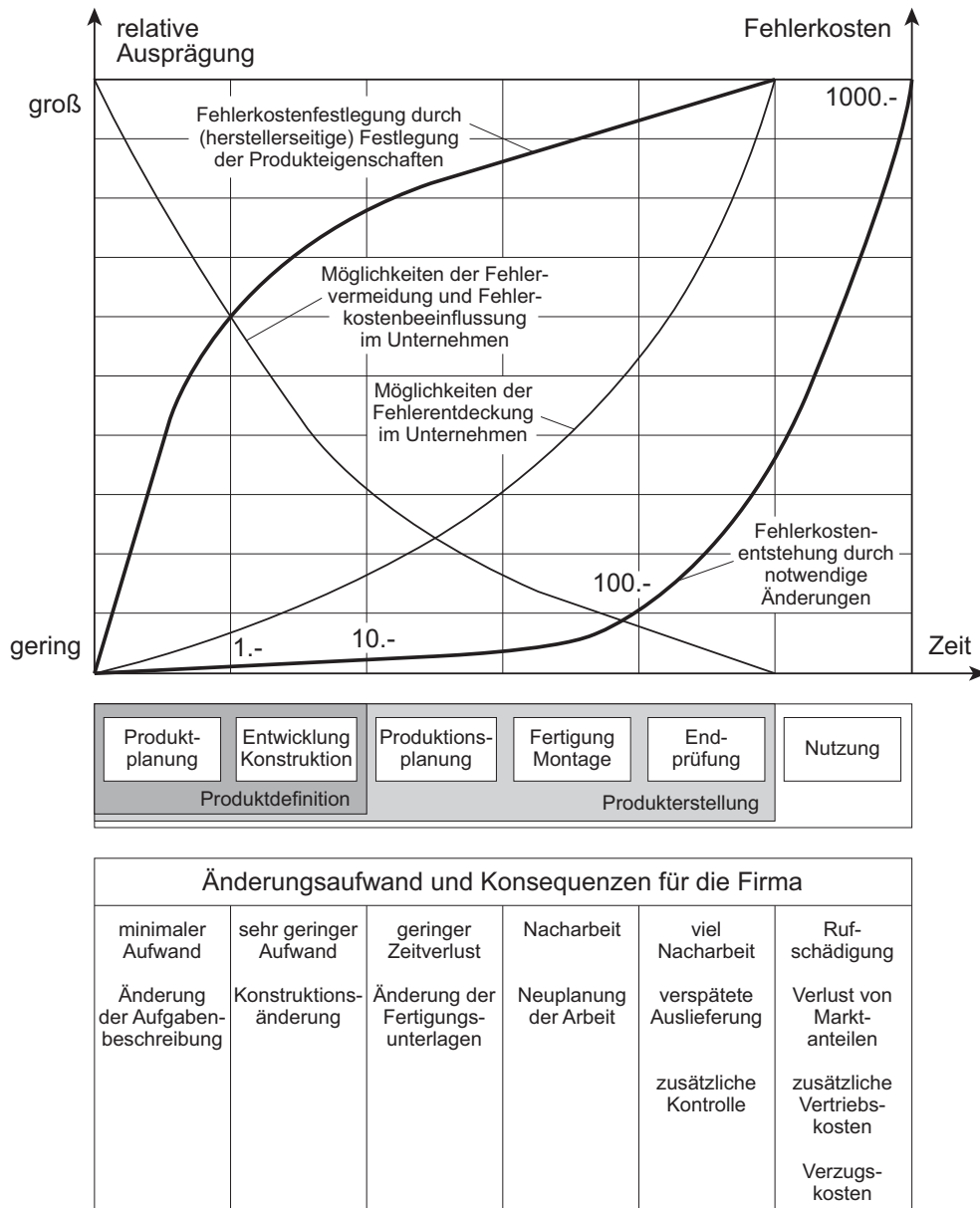


Abbildung 4-5: Fehler und ihre lebenszyklusbezogenen Auswirkungen nach DANNER [1996, S. 17]

Abbildung 4-5 zeigt außerdem verschiedene Aspekte der ökonomischen Auswirkungen mangelhafter Qualitätsorientierung, je nachdem, ob und wann ein Fehler erkannt und behoben wird. Während der Produkterstellung sind die entstehenden Kosten hauptsächlich änderungsbezogen, wobei die **Änderungskosten** mit zunehmendem Prozessverlauf exponentiell ansteigen. Findet die Fehlererkennung erst nach dem Markteintrittszeitpunkt statt, kommen zu den durch deren Behebung entstehenden Kosten monetäre Verluste durch **entgangene Gewinne** hinzu. Sieht der Kunde seine Erwartungen im Produkt nicht erfüllt, und kann er dies vor dem Kauf überprüfen, verkauft dieses sich gegebenenfalls nicht zum festgelegten Preis oder in der prognostizierten Stückzahl. In bestimmten Märkten offenbaren sich die Eigenschaften eines Produktes dem Kunden erst im Laufe der Nutzung, woraus sich nachhaltige Rufschädigungen ergeben können.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit:

Im Kontext **komplexer Anlagen** ist das Risiko der Identifikation von Schwächen und Fehlern erst während des Betriebs besonders groß. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, geht dort der Vertriebsvorgang der eigentlichen Erstellung voraus, wodurch der Auftraggeber seine Kaufentscheidung auf Basis von Vertrauenseigenschaften, Verkaufsreferenzen oder gegebenenfalls Mustermaschinen treffen muss. Aufgrund der Einmaligkeit und Auftragsbezogenheit von Anlagen ist auch die Absicherung von Eigenschaften oft erst nach der tatsächlichen Integration möglich. Bei in Kleinserie gefertigten Modulen kann es zumindest teilweise Prototypen geben, jedoch sind auch diese häufig nur in vereinfachten Umgebungen und Anwendungen prüfbar.

In diesem Zusammenhang kommt auch der in Teilkapitel 4.1 beschriebene **Erinnerungswert** der Qualität besonders zum Tragen, da Kunden und Nutzer häufig im Rahmen einer sehr langen Nutzungsdauer mit dem Produkt in Berührung stehen, und durch ihre Erfahrungen in ihrem Kaufverhalten bezüglich der Produkte des Herstellers (ggf. negativ) beeinflusst werden. In beiden Fällen wird es im Interesse des Anbieters sein, sein mangelhaftes Produkt möglichst schnell durch einen verbesserten Nachfolger im Markt zu substituieren, wodurch als weiterer Effekt die Amortisationszeit des ursprünglichen Entwicklungsaufwands verkürzt wird.

Während die Auswirkungsebenen fehlender Qualitätsorientierung also je nach Branche und Produktart stark variieren können, stellt die Notwendigkeit, nicht am Markt vorbei zu entwickeln, ein universelles Kriterium für wirtschaftlichen Erfolg dar. Diesem Risiko vorzubeugen ist **Ziel präventiver Qualitätsmethoden** der Produktplanung und -entwicklung, wozu sowohl die **Nichterfüllung** als auch die **nichthonorierte Übererfüllung** von Anforderungen gleichermaßen durch ausreichende Maßnahmen verhindert werden müssen [MAI 1998, S. 22]. MAI [1998, S. 14] und DANNER [1996, S. 50] fordern, dass sich technische Spitzenleistungen Kundenanforderungen konsequent unterordnen müssen, es sei denn, es sollen dadurch neue Märkte geschaffen werden. In diesem Zusammenhang stellt gerade die Vernachlässigung von Eigenschaften, welche sich gemäß der oben beschriebenen Dynamik von Begeisterungsmerkmalen zu Grundforderungen entwickelt haben, eine zu vermeidende Fehlerart dar [DANNER 1996, S. 15]. Auch und vor allem im Zusammenhang mit komplexen Systemen darf die Befassung mit den großen technischen Herausforderungen der geplanten Verbesserung nicht sämtliche Aufmerksamkeit auf sich ziehen und vorausgesetzte Eigenschaften vernachlässigen.¹²⁰

Während die Bedeutung der Erfüllung geforderter Eigenschaften offensichtlich ist, weist die **Übererfüllung** – oder das sogenannte **Overengineering**¹²¹ – zahlreiche Facetten auf, deren sich überlagernde Wirkung eine nähere Betrachtung erfordert. Zur bereits dargestellten ausbleibenden Wirkung übererfüllter Eigenschaften auf der Ertragsseite können Negativwirkungen auf einer zweiten Ebene hinzukommen, wenn durch Korrelationen mit anderen Eigenschaften diese nicht angemessen realisiert werden können.

¹²⁰ Ein Problem, das sich in Gesprächen mit Industrievertretern im Rahmen dieser Arbeit gezeigt hat, ist auch die mangelnde Verankerung eines Qualitätsdenkens in den Anreizsystemen von Unternehmen, welche den Ingenieur in erster Linie an seiner Lösungskompetenz technisch komplexer Probleme messen und nicht an seinem Beitrag zu der insgesamt erreichten Qualität im Sinne der Definition. Hierin manifestiert sich ein Aspekt der Schlüsselrolle des Top-Managements als extrinsischer Motivator für den Einsatz von Qualitätsmethoden im Rahmen eines erfolgreichen Qualitätsmanagements.

¹²¹ Unter dem Aspekt von Ineffektivitätsformen von Lösungen findet im Rahmen des Lösungsansatzes eine differenzierte Auseinandersetzung mit dem Thema „Eigenschaftsübererfüllung“ unter der spezifischen systemtechnischen Perspektive der Modulzentriertheit der vorliegenden Arbeit statt.

Die Verursachung solcher unnötiger Zwangsbedingungen im Folgeprodukt zu revidieren ist ebenfalls nicht risikolos, da dies bedeuten würde, einmal übererfüllte Eigenschaften wieder „nach unten“ anzupassen, was der Kunde als Rückschritt oder Innovationsschwäche bewerten könnte. Die Verabredung falscher Schwerpunkte im Sinne einer nicht auf Nachhaltigkeit angelegten Kundenzufriedenheit ist häufig gerade dort zu finden, wo in Vertriebsprozessen ein direkter Kundenkontakt besteht. So merkt GERST [2002, S. 45] mit Verweis auf Unternehmen der Zulieferindustrie an, dass eine Übererfüllung von Anforderungen bereits bei der Angebotserstellung häufig deshalb unerkant bleibt, da der Kunde aufgrund seines mangelnden technischen Wissens über das zugelieferte Subsystem oder Modul dies gar nicht wahrnimmt. GEIGER & KOTTE [2008, S. 142] sehen den Kunden dabei als Nichtfachmann, dessen Forderungen an die Beschaffenheit des Produktes für seine Produktnutzung möglicherweise nicht optimal sind, und bemängeln in diesem Zusammenhang sogar, dass zugunsten einer immer stärker herausgestellten Kundenbezogenheit die Erfüllung des Verwendungszwecks vollständig aus der normierten Begriffswelt verschwunden ist.

Immerhin enthält die DIN EN ISO 9000 [2005, S. 7] noch den Hinweis, dass – unabhängig davon, ob die Kundenanforderungen vom Kunden vertraglich festgelegt oder vom Unternehmen selbst ermittelt wurden – letztlich der Kunde über die Annehmbarkeit des Produktes entscheidet. Dabei entscheidet nach REINHART ET AL. [1996, S. 6] grundsätzlich jede einzelne Eigenschaft über den Qualitätszustand eines Produkts, weswegen es **keine Kompensation der mangelhaften Erfüllung einer einzelnen Eigenschaft durch die Übererfüllung einer anderen** gibt. Dies erfordert eine durchgängige Transparenz des Eigenschaftsgefüges, von der Ermittlung und Gewichtung der geforderten Eigenschaften über die Definition von Zielwerten für die angestrebte technische Realisation bis hin zur Nachverfolgung der Zielerreichung beziehungsweise der Auswirkungen von Entscheidungen während der Lösungskonkretisierung auf andere Eigenschaften.

Abbildung 4-6 zeigt unterschiedliche Wirkungspfade des Beitrags präventiver Qualitätsmethoden zum ökonomischen Nutzen. Dargestellt ist die exemplarische Verortung der zwei etablierten Methoden QFD und FMEA durch SESMA VITRIÁN [2004, S. 3] im Modell der Erfolgskette des Qualitätsmanagements nach BRUHN & GEORGI [1999, S. 3].¹²² Die durch eine Optimierung des Kundennutzens erreichte Kundenzufriedenheit kann nach HÖHNE & LANGBEIN [2007, S. 490] wiederum eine Verbesserung der relativen Wettbewerbsposition sowie eine Hinzugewinnung von Marktanteilen zur Folge haben, was strategieabhängig ist. Den dargestellten Nutzeneffekten müssen für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung entstehende Aufwände gegenübergestellt werden, da ab einem bestimmten Punkt die Kosten (beispielsweise für Mitarbeiterkapazität, Investitionen in Schulungen oder Beratung) die Erfolgssteigerungen übertreffen, eine Rentabilität zusätzlicher Aufwände also nicht mehr gegeben ist [SESMA VITRIÁN 2004, S. 21]. Daraus leiten sich auch an die Anwendung der Methoden selbst klare Effizienzanforderungen ab.

¹²² Die Abbildung in SESMA VITRIÁN [2004, S. 3] zeigt lediglich einen reduzierten Ausschnitt des Modells nach BRUHN & GEORGI [1999, S. 3]. Außerdem ist festzustellen, dass diese Verortung nicht absolut zu verstehen ist, sondern vor allem aufzeigt, dass verfügbare präventive Qualitätsmethoden an beiden Pfaden der Erfolgskette ansetzen. Wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben, wird in der Literatur auch dem QFD erhebliches Reduktionspotenzial in Bezug auf Entwicklungszeiten und -kosten beigemessen.

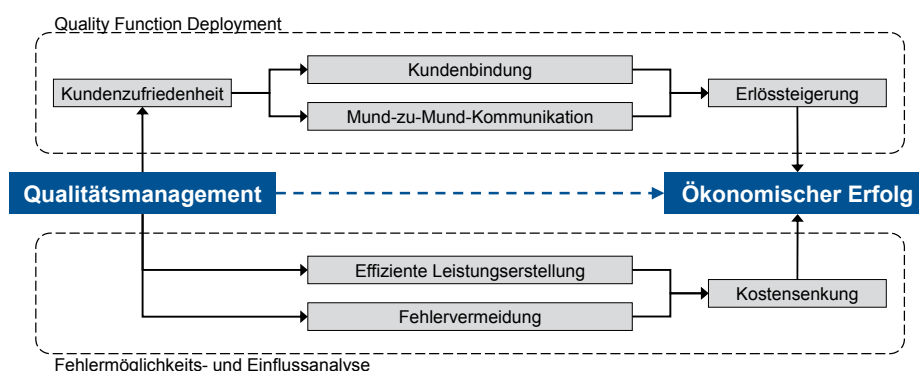


Abbildung 4-6: Erfolgskette des Qualitätsmanagements nach BRUHN & GEORGI [1999, S. 3] und SESMA VITRIÁN [2004, S. 20] (integrierte Darstellung)

Auch die Anwendungsdauer spielt dabei eine Rolle. Am Beispiel der FMEA zeigt REICHLÉ [2006, S. 51], dass der Erkenntniszuwachs durch die Anwendung über einen längeren Zeitraum hinweg – zum Beispiel in Form von in Formblättern dokumentiertem Wissen – einerseits zu einem immer höheren Nutzen führt, und andererseits eine deutliche Abnahme des Aufwands nach der Einführungsphase zu verzeichnen ist.

BRUHN & GEORGI [1999] widmen sich intensiv der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Qualitätsmanagements: Die zu betrachtenden **Kostenkategorien** können tätigkeitsorientiert in Präventions- bzw. Fehlerverhütungskosten (hierunter fallen unter anderem die Maßnahmen der Qualitätsplanung), Prüfkosten (z. B. durch Mess-, Evaluierungs- oder Audit-Aktivitäten) und Fehlerkosten (z. B. Nacharbeit, Produkthaftung) eingeteilt werden, oder wirkungsorientiert in Konformitätskosten (erfolgsbezogen, dienen der Erfüllung der Kundenerwartungen) und Nichtkonformitätskosten (verschwendungsbezogen). **Nutzenkategorien** stellen Kundenbindungsnutzen, Kommunikationsnutzen, sowie interner Nutzen (Verbesserung der Leistungserstellung mit primär kostensenkendem Charakter) dar.

Zentraler Querbezug zu Anwendungsbereich / Forschungslücke / Lösungsansatz dieser Arbeit sowie Begriffsklärung für die weitere Arbeit:

Obschon die Begriffswelt innerhalb der normungsgeprägten Disziplin des QM stark standardisiert ist, und mit zahlreichen eindeutigen Definitionen arbeitet, entsteht insgesamt ein inkongruentes Bild, wird diese Begriffswelt mit jener der Produktentwicklung überlagert.¹²³ Für die Ziele der vorliegenden Arbeit ist es

¹²³ Dies wird beispielsweise an der Verwendung des Begriffs „Qualitätsplanung“ deutlich, welche mal der Produktplanung gleichgesetzt wird [VON REGIUS 2006, S. 14, 35], mal selbiger als eigenständige Phase nachgelagert (und der Produktentwicklung vorgelagert) wird [GEIGER & KOTTE 2008, S. 149], und dann wieder – in einem eher funktionsbezogenen Verständnis – in Vorgehensmodellen nicht als Phase aufgeführt, sondern als querliegende Teilaufgabe in den Phasen der Produktplanung und -entwicklung verstanden wird (vgl. Kapitel 3.5.2). Wird umgekehrt beispielsweise die (in dieser Arbeit zentrale) Methodik QFD hinsichtlich typischer Einsatzphasen und -felder untersucht, ergibt sich folglich ebenfalls ein heterogenes Bild, das von Produktplanung und Produktentwicklung (phasenübergreifend) [VON REGIUS 2006, S. 14, 35] über die Qualitätsplanung [GEIGER & KOTTE 2008, S. 163] bis hin zur qualitätssichernden Produktentwicklung [PAHL ET AL. 2007, S. 661 ff.] oder (systemorientierten) Qualitätssicherung [FELGEN 2007, S. 95] reicht, wobei letztere wiederum eine funktionsorientierte Charakterisierung darstellt.

von nachgelagerter Bedeutung, an welchem exakten Begriffs- und Phasenverständnis die Einordnung erfolgen soll. Neben dem Risiko, dadurch gegebenenfalls sogar Missverständnisse zu verursachen, liegt dieser Entscheidung auch der Aspekt zu Grunde, dass Planungs- und Entwicklungsprozesse im Anlagenbau, dem schwerpunktmäßigen Anwendungsgebiet dieser Arbeit, Besonderheiten gegenüber generischen Produktentwicklungsprozessen aufweisen (vgl. Kapitel 2.1).

Für die vorliegende Arbeit wurde daher im Sinne einer eher funktions- anstatt phasenorientierten Ausrichtung die generische Formulierung der „**Qualitätsorientierten Planung und Entwicklung**“ gewählt. Daraus ergibt sich eine generelle Einordnung in die frühen Entwicklungsphasen, sowie zugleich ein klarer Unterstützungsfokus. Letzterer ist stark an den Zielen der Qualitätsplanung (vgl. Seite 86) orientiert, soll jedoch unabhängig von der expliziten Institutionalisierung einer solchen in der Organisationsstruktur und Prozesslandschaft eines Unternehmens verstanden werden. Zu betonen sind stattdessen vielmehr die eingangs hergeleiteten Eingrenzungen des Anwendungsbereichs. Beides (Unterstützungsfokus und Anwendungsbereich) wird im Rahmen der Beschreibung des Handlungsbedarfs (Kapitel 5.1) zusammengeführt.

4.3 Quality Function Deployment (QFD)

*In diesem Teilkapitel wird die Methodik des **Quality Function Deployment** vorgestellt und diskutiert. Das Spektrum an heute in der Literatur etablierten QFD-Ansätzen, das sich im Zuge der Anwendungen und Weiterentwicklungen des ursprünglichen Ansatzes nach AKAO in verschiedenen Industrien und Kulturkreisen (Japan, USA, Mitteleuropa) herausgebildet hat, kann als verschieden stark ausgeprägte Konsolidierung beziehungsweise Vereinfachung ebenjenes ursprünglichen Ansatzes angesehen werden. Dabei stellt der Ansatz nach MAKABE den in der westlichen Industrie bekanntesten und am häufigsten verwendeten dar [FELGEN 2007, S. 84; REFFLINGHAUS 2009, S. 26]. Seine erhöhte Akzeptanz wird dabei seiner größeren Kompaktheit, geringeren Komplexität und höheren Übersichtlichkeit gegenüber den beiden anderen umfassenden Ansätzen nach AKAO und KING zugeschrieben [REFFLINGHAUS 2009, S. 23].*

In Unterkapitel 4.3.1 wird zunächst auf die Gründe eingegangen, den Fokus der Untersuchung innerhalb der etablierten Methoden der präventiven Qualitätsorientierung in den frühen Phasen der Planung und Entwicklung komplexer Systeme und Anlagen auf diese Methodik zu legen. Die Darstellung der generellen Ziele und Grundlagen erfolgt in Unterkapitel 4.3.2, bevor in 4.3.3 das prinzipielle Vorgehen ausführlich beschrieben wird. Letzteres erfolgt auf Basis des vereinfachten MAKABE-Ansatzes, da die Unterschiede zwischen diesem und den umfassenden Ansätzen hauptsächlich Dimensionen betreffen, die für diese Arbeit keine Relevanz besitzen (z. B. Produktionsaspekte). Ein knapper vergleichender Überblick über die umfassenden Ansätze und ihre Unterschiede zum MAKABE-Ansatz wird in Unterkapitel 4.3.4 gegeben.

Da sich der in dieser Arbeit angestrebte Lösungsansatz primär mit der Umsetzung der systemtechnischen Perspektive der Modulentwicklung in einem adaptierten QFD-Ansatz auseinandersetzt, wird dem Umgang mit Architekturaspekten – insbesondere der Systemhierarchie und -dekomposition – im vorliegenden Kapitel generell erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet. Explizit nimmt sich Unterkapitel 4.3.5 dieses Schwerpunktthemas nochmals gesondert an. Abschließend wird in Unterkapitel 4.3.6 auf einige Sonderanwendungen eingegangen.

4.3.1 Motive zur Auswahl des QFD als fokussierten Untersuchungsbereich

Die Methodik des Quality Function Deployment wurde als Ausgangspunkt für die Entwicklung des Lösungsansatzes dieser Arbeit ausgewählt, da sie zahlreiche Kriterien erfüllt und Anknüpfungspunkte zu den identifizierten Problemaspekten bietet, die im Folgenden beschrieben werden. Wie im vorigen Teilkapitel gezeigt, zielen viele qualitätsorientierte Methoden in erster Linie auf Fehlervermeidung und eine damit einhergehende Kostensenkung ab. Dieser Fokus hat jedoch nur randständige Überschneidungsbereiche mit den für den spezifischen Kontext der Modulentwicklung im Anlagenbau identifizierten Unterstützungsbedarfen, da wenig Bezug zur Systemsynthese gegeben ist, sondern vielmehr durch Analyse- und Korrekturaspekte die Fehlerprävention unterstützt wird.

Das Absichern gegen Funktions- oder Bauteilversagen schützt jedoch nicht vor der Gefahr, am Interesse des Kunden oder des Marktes vorbei zu entwickeln. QFD setzt hingegen bereits bei der **Aufgabenklärung und -strukturierung** – also *vor* der Lösungsgenerierung – an. Es baut ein Informationssystem auf, das zugleich Ausgangspunkt für den Lösungsgenerierungsprozess ist, als auch parallel eine mitwachsende Bewertungsbasis mit ständigem Bezug zur Kundenperspektive. Zwar beinhaltet auch QFD keine explizite Hilfestellung für die Syntheseschritte im Sinne der Unterstützung der kreativen Lösungsfindung [DANNER 1996, S. 89], aber innerhalb derselben wird die Verhinderung der Entstehung zwar brillanter, jedoch hoch komplexer technischer Lösungen, die die Marktanforderungen verfehlen unterstützt [ZERNIAL 2007, S. 105]. Dadurch **stellt QFD die Effektivität der Effizienz des Prozesses eindeutig voran** [ZERNIAL 2007, S. 105], also das systematische Anstreben eines im Sinne der Qualitätsdefinition optimalen Eigenschaftsgefüges.

Darüber hinaus stellt QFD keine punktuell einzusetzende Methode dar, um eine diskrete Aufgabe im Entwicklungsprozess zu unterstützen, sondern eine **ganzheitliche Methodik**, die phasenübergreifend sowohl die Produktdefinition – von der Aufgabenklärung und Produktplanung bis in die Produktentwicklung und Konstruktion – als auch die Produktionsprozess- und Produktionsanlagenplanung durch ein systematisches Vorgehen unterstützt [REINHART ET AL. 1996, S. 70]. Nach LESMEISTER [2001, S. 16] stellt QFD damit eine vor allem in frühen Phasen vielfach geforderte Prozessstrukturierungshilfe dar, die durch die Förderung der bereichsübergreifenden Kommunikation entscheidend zu einer umfassenden Problemsicht und dem Lösen von Zielkonflikten beiträgt. Nach DANNER [1996, S. 91] unterstützt QFD die gesamte Aufschlüsselung des Beziehungsgeflechts im Rahmen einer Top-Down-Entwicklung aus qualitätsorientierter Sicht und schafft dadurch Transparenz über die vernetzten Beziehungen des Ganzen mit dem Teil über alle Ebenen, ohne den Lösungsprozess an sich vorzugeben. Damit wird QFD als vielversprechendes, **strukturegebendes Hilfsmittel** angesehen, das das Potenzial mit sich bringt, auch für problemspezifische Fragestellungen, welche ein Abweichen vom klassischen Top-Down-Vorgehen erfordern, adaptierbar zu sein.

Einen essenziellen Anknüpfungspunkt stellt der explizite Bezug zur **Systemarchitektur** dar. Dieser liegt in horizontaler Richtung durch die **systemtheoretisch fundierte Betrachtung von Relationen** sowohl zwischen als auch innerhalb differenzierter Eigenschaftsdomänen (Kundenforderungen und Qualitätsmerkmale) vor [BAUMBERGER 2007, S. 87], sowie in vertikaler Richtung durch die **stufenweise Auflösung der Anforderungen** im QFD-Vorgehen (vgl.

Abschnitt 4.3.5). Dadurch unterstützt die Methodik die systematische Transparentmachung des Beitrages von Komponentenmerkmalen über Qualitätsmerkmale des Systems zu den Anforderungen aus Kundensicht. Diese prinzipielle Abbildungsmöglichkeit wird als Grundvoraussetzung gesehen, um Problemstellungen zu unterstützen, die von einem Modul als zentralem Entwicklungsgegenstand und dessen Einbindung in komplexe Anlagen und Systeme ausgehen.

Flexibilität und Anpassbarkeit einer Methodik stellen zudem gute Voraussetzungen für eine Adaption im Rahmen eines problemspezifischen Lösungsansatzes dar. Diese werden von AKAO [1992, S. 59] – Urheber des Ansatzes – nicht nur als Stärke des QFD betont, sondern sogar vorausgesetzt, um im Kontext branchenspezifischer Gegebenheiten erfolgreich anwendbar zu sein. LESMEISTER [2001, S. 17] kritisiert in diesem Zusammenhang den Mangel an konkreten Empfehlungen, nach welchen Kriterien und bezüglich welcher Parameter diese Anpassung geschehen sollen. Für den Rahmen des Anwendungskontexts dieser Arbeit soll die Behebung dieses Defizits unterstützt werden. Dass sich die QFD-Methodik besonders im Zusammenhang der **Weiterentwicklung bestehender Produkte** eigne und die erfolgreiche Anwendbarkeit für innovative Neuentwicklungen vielfach infrage gestellt wird (z. B. [BAUMBERGER 2007, S. 87]), steht darüber hinaus nicht im Widerspruch zum Problemkontext dieser Arbeit.

Weitere Stärken, die im Zusammenhang mit dem systemtechnischen Fokus der Modulentwicklung für die intensive Auseinandersetzung mit dem QFD sprechen, sind

- die Berücksichtigung der multiplanaren Vernetzung zwischen unterschiedlichen Betrachtungsebenen, indem eine Funktion mit mehreren technischen Merkmalen verknüpft werden kann, sowie die Möglichkeit der Erarbeitung von Einflüssen zwischen technischen Merkmalen [FELGEN 2007, S. 94]
- die Struktur und Transparenz sowie die standardisierte Dokumentation, welche einzelnen Teammitgliedern wichtige Orientierung hinsichtlich ihres Einflussbereichs und ihrer Position im Prozess bieten, und neue Teammitgliedern den Einstieg erleichtern [SCHMIDT 1997, S. 296; LESMEISTER 2001, S. 17]
- die Identifizierbarkeit von Abstimmungsbedarfen während der Produktplanung und -entwicklung durch die abgebildeten Wechselwirkungen sowie die Festlegung von technischen Zielgrößen bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Schwierigkeitsgrades der Umsetzung [BAUMBERGER 2007, S. 86 f.].

Letztlich ist die ausgewählte Methodik nicht nur in der Wissenschaft etabliert, sondern wird auch im industriellen Umfeld angewendet und als nutzenbringend eingestuft. Abbildung 4-7 zeigt die Ergebnisse einer empirischen Studie von GRANER [2012], in welcher Häufigkeit und Erfolg des Einsatzes spezifischer Methoden analysiert wurden. Nach dieser Studie ist QFD neben DFM/DFA¹²⁴, die jedoch einen sehr spezifischen Fokus haben, die einzige in dieser Studie als Entwicklungsmethode klassifizierte Methode im rechten oberen Quadranten, was den Autor zu der generellen Empfehlung führt, diese weiterhin häufig und intensiv anzuwenden. Im Vergleich zu anderen Entwicklungsmethoden wird QFD vor allem überdurchschnittlich stark mit dem angestrebten Erfolg assoziiert.

¹²⁴ Design for manufacturability / Design for assembly

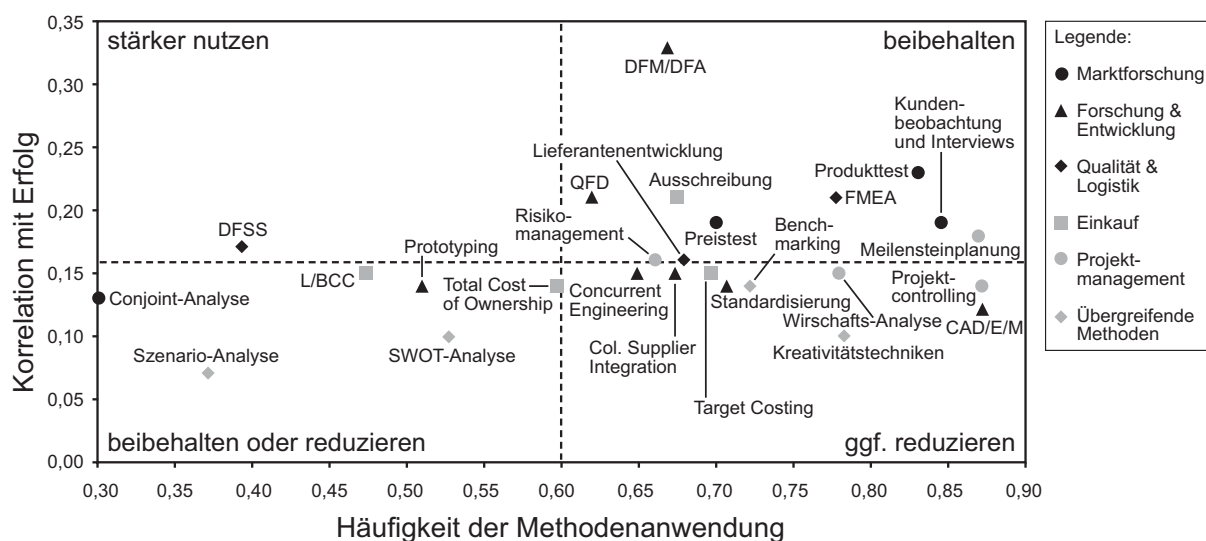


Abbildung 4-7: Umfragebasierte Einordnung von Methoden hinsichtlich industrieller Anwendungshäufigkeit und Erfolgskorrelation nach GRANER [2012, S. 196]¹²⁵

4.3.2 Ursprung, Ziele und Grundlagen des QFD

Für das **Quality Function Deployment** finden sich viele, mehr oder weniger – vor allem begrifflich – variierende Beschreibungen und Anwendungsbereiche wie beispielsweise „Methodik für die Produktplanung“ [BRUNNER 1992], „Methode der Qualitätsentwicklung“ [DANNER 1996, S. 45], „Methode zur systematischen und ganzheitlichen Produkt- und Qualitätsplanung“ [HÖHNE & LANGBEIN 2007, S. 490], oder auch „spezifisches Werkzeug der systematischen Qualitätsplanung“ [GEIGER & KOTTE 2008, S. 163].¹²⁶ Dies spiegelt zum einen die Ende des Teilkapitels 4.2.3 dargestellte Unschärfe im Begriffsverständnis bezüglich der Qualitätsorientierung in den frühen Phasen der Produktentwicklung wider, zum anderen haben sich in der Tat seit der Erstvorstellung durch YOJI AKAO in Japan 1966 [AKAO 1990, S. 3] stark unterschiedliche Ausprägungen des Ansatzes herausgebildet.

¹²⁵ Datengrundlage der Umfrage: Angaben zu 410 abgeschlossenen Entwicklungsprojekten von 209 Unternehmen mit eigener Produktentwicklung. Branchenverteilung der Unternehmen: 35% Maschinenbau und Metallverarbeitung, 26% Automobilbau und Fahrzeugtechnik, 14% Elektro-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie Optik, 13% Anlagenbau.

¹²⁶ Je nach Quelle und Zusammenhang ist von Methode (neben obigen auch [ZERNIAL 2007, S. 90]), von übergeordneter Methode beziehungsweise Methodik (auch [PONN 2007, S. 91 f.]), von Vorgehen oder von Methodensystem ([DANNER 1996, S. 89] an anderer Stelle) die Rede, wobei nicht immer klar ist, ob die Einordnung durch die Autoren bewusst erfolgt. Während auf die Begriffsverwendung durch referenzierte Autoren nur Bezug genommen wird, sofern sich eine bewusste Differenzierung vermuten lässt, wird im Rahmen des eigenen Lösungsansatzes der Begriff „Methodik“ verwendet, wobei auf die Differenzierung nach PONN [2007, S. 91 f.] im „Sinne der Zusammenfassung mehrerer Vorgehenspläne und Methoden“ zurückgegriffen wird. Letztere können danach wiederum als Arbeitsmethoden (z. B. Gewichtete Punktbewertung) oder noch feiner granular als Elementarmethoden (z. B. Gewichtung) untergeordnete Teilschritte der Methodik darstellen.

Der Veröffentlichung des Konzepts verknüpfter Qualitätstabellen durch NISHIMURA und TAKAYANAGI 1972 folgte die erste dokumentierte Anwendung in der Schiffswerft der Mitsubishi Heavy Industries in Kobe im selben Jahr, im Rahmen deren Veröffentlichung 1978 die Grundideen und -herausforderungen systematisiert wurden und der Name Quality Function Deployment¹²⁷ geprägt wurde [AKAO 1990, S. 3]. Seit 1974 wurde der Ansatz durch Toyota angewendet und weiterentwickelt, bevor sie in den 80er Jahren in den USA (vor allem in der Automobil- und Elektroindustrie) und in den 90er Jahren in Mitteleuropa (vornehmlich in Großunternehmen mit einem umfassenden Qualitätsmanagement) zunehmend zum Einsatz kam [DANNER 1996, S. 49; ZERNIAL 2007, S. 90].

MAI [1998, S. 25 f.] beschreibt das QFD als Instrument zur Strukturierung eines komplexen Entscheidungsprozesses, welcher Bestandteil der Produktplanung ist und zum Ziel hat, aus einer beliebigen Anzahl alternativer Ausprägungen von Produkteigenschaften jene Kombination auszuwählen, die den Kundenwünschen am ehesten gerecht wird. Abbildung 4-8 verdeutlicht Ziele und Nutzen des QFD in der Produktplanung anhand einer Wirkketten-Analogie zur abstrakteren entscheidungstheoretischen Sicht:

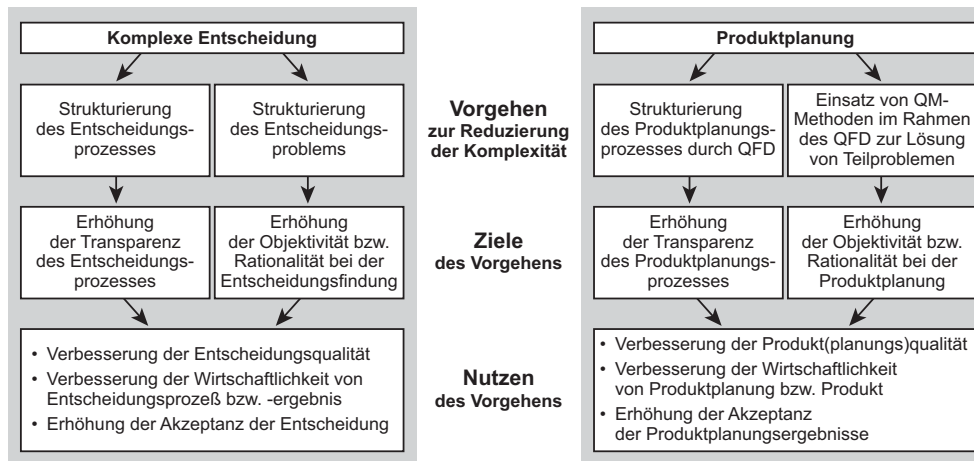


Abbildung 4-8: Bedeutung des QFD für die Produktplanung aus entscheidungstheoretischer Sicht nach MAI [1998, S. 26]

QFD stellt ein Instrument zur Planung und Entwicklung der Qualitätsfunktionen eines Produktes entsprechend den vom Kunden geforderten Qualitätseigenschaften dar [AKAO 1992, S. 15] [SAATWEBER 1997, S. 7]. Auf Basis der formalisierten Systematik von QFD lässt sich die *Stimme des Kunden* in die Sprache des Ingenieurs transformieren und in die beteiligten Unternehmensbereiche transportieren, und stellt dadurch einen stets nachvollziehbaren und durchgängigen Maßstab für die Produkterstellung dar [MAI 1998, S. 25; DANNER 1996, S. 50]. Nach SAATWEBER [1997, S. 7] kann der Begriffsteil *Deployment* als „Aufdröseln“ der Qualitätsmerkmale aufgefasst werden, von der Kundensicht über die erforderlichen Spezifikationen bis hin zu den Qualitätsmerkmalen der Entwicklung und Konstruktion und anderer Perspektiven des Lebenszyklus wie beispielsweise der Produktion oder des Kundendienstes.

¹²⁷ Im Folgenden wird stellvertretend das gängige Akronym „QFD“ verwendet.

Die Literatur nennt verschiedene positive Auswirkungen, die durch den Einsatz der QFD-Methodik zu erzielen sind. Diese lassen sich gemäß den in Kapitel 4.2.3 differenzierten Nutzenebenen präventiver Qualitätsmethoden, in Effekte der Erlössteigerung durch höhere Kundenzufriedenheit (was als Effektivität der Produktentwicklung aufgefasst werden kann) sowie der Kostensenkungen durch Effizienzsteigerungen untergliedern. Die Effekte auf dieser Ebene repräsentieren die Fundamentalziele¹²⁸. Das Ziel der Fehlervermeidung stellt dabei nicht nur für die Effizienz ein Instrumentalziel dar, da eine Fehlerentdeckung erst nach dem Markteinführungszeitpunkt gleichsam zu Lasten der Effektivität geht. Abgesehen von dem Fundamentalziel der Kundenzufriedenheit argumentiert DANNER [1996, S. 51] in seiner Übersicht der Ziele des QFD hauptsächlich auf Ebene von Instrumentalzielen (Tabelle 4-1):

Tabelle 4-1: Ziele der Methode QFD nach DANNER [1996, S. 51]

| Ziel | Spezifizierung |
|---|--|
| Kundenzufriedenheit | > durch Kundenbezogenheit von der Planung bis zur Produktion > durch Bildung und Ordnung innovativer Ziele |
| Schnittstellenmanagement | > bezüglich Bauteilen und Baugruppen des Produkts > zwischen organisatorischen Bereichen in der Produkterstellung |
| vertikale und horizontale Kommunikation | > zwischen Unternehmen und Kunde > zwischen Unternehmen und Zulieferer > zwischen den Unternehmensfunktionen > zwischen Mitgliedern eines interdisziplinären Teams |
| Koordination | > des Entwicklungsablaufs durch Prozeßsteuerung > der Aufgabenverteilung im Planungsprozeß |
| Abhängigkeiten | > über alle Produktlebensphasen > der Input-Output-Beziehungen |
| Darstellung von Zusammenhängen | > Zielabhängigkeiten > Beziehungen und Beziehungsstärken > Transformation der „Kundenstimme“ in die „Stimme des Ingenieurs“ |
| Ermittlung wichtigster und qualitätsrelevanter Daten | > durch Bewertung des Wettbewerbs > durch methodisches Vorgehen bei der Gewichtung > durch Auswahl erfolgversprechender Verbesserungen > in Bezug auf Produkt, Baugruppen, Einzelteile > in Bezug auf Fertigung, Montage, Qualitätskontrolle |
| Transparenz | > der Anforderungen bzw. Spezifikationen > des Entwicklungsprozesses und der Handlungsgründe > der Entscheidungsfindung durch ganzheitliche Problemerkennung > der Produktstrukturen und -parameter |
| Übersichtlichkeit | > der Zusammenhänge und Abhängigkeiten > der Planungsergebnisse |
| Dokumentation | > der Produktstrukturen und -zusammenhänge > der Entscheidungsfindung und der Entscheidungen > des gesamten Entwicklungsprozesses |
| Beschränkung auf entscheidende Daten | > durch frühe Gewichtung von Daten |

Starke Präsenz in der Literatur hat das durch Abbildung 4-9 visualisierte Argument der Entwicklungszeitverkürzung, welche aus einer bewussten Intensivierung der Aufgabenklärung

¹²⁸ Nach EISENFÜHR ET AL. [2010, S. 63 ff.] wird ein Fundamentalziel um seiner selbst willen verfolgt und bedarf keiner weiteren Begründung, während ein Instrumentalziel verfolgt wird, um ein Fundamentalziel zu erreichen. Abhängig vom Betrachtungsrahmen kann dasselbe Ziel beiden Zielarten zugeordnet werden.

und der damit einhergehenden Vorverlagerung hoher Änderungsintensitäten in die frühen Projektphasen resultiert (z. B. [KING 1989, S. 1 f.; DANNER 1996, S. 87; MAI 1998, S. 25; CRISTIANO ET AL. 2001]). Durch die Früherkennung von Fehlentwicklungen werden Fehlleistungsaufwände reduziert. Nach MAI [1998, S. 24] fällt im Falle einer konsequenten Anwendung der QFD-Methodik der Produktplanung eine wesentlich größere Rolle zu als in einem „herkömmlichen“ Produktentstehungsprozess.

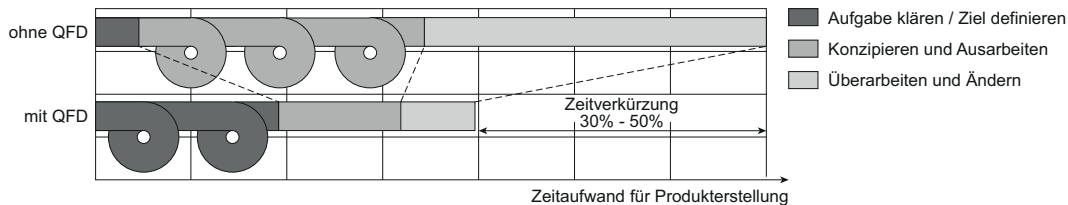


Abbildung 4-9: Auswirkungen der Intensivierung der Aufgabenklärung nach KING [1989, S. 1 f.] (modifiziert in Anlehnung an DANNER [1996, S. 87])

Die Methodik des QFD setzt damit zwar in der frühesten Projektphase an, ist jedoch nicht auf diese beschränkt, sondern wird vielmehr **phasenübergreifend**¹²⁹ angewendet. QFD stellt nach DANNER [1996, S. 48 ff.] ein „*matrizenbasiertes System für die teamorientierte, durchgängige, ganzheitliche und transparente Analyse, Planung, Entwicklung und Verbesserung aller entscheidenden Qualitätsmerkmale und -funktionen eines Produkts auf Grundlage der vom Kunden geforderten Produkteigenschaften durch Regelung der zugrundeliegenden Prozesse*“ dar, und „*kann durchgängig in allen Phasen und Prozessen der Produkterstellung eingesetzt werden*“. Die Qualitätseinschätzung des Kunden als Ergebnis der Aufgabenklärung stellt dabei die zentrale Referenz für sämtliche Unternehmensfunktionen dar, deren Koordination und Zusammenführung durch ein interdisziplinäres Team geleistet werden. Klar ableitbare Prioritäten bilden die Grundlage für ein erfolgreiches Simultaneous Engineering und Projektmanagement.

Als Kommunikationsmittel und Schnittstellen innerhalb und zwischen den SE-Teams dienen Listen und Matrizen, in denen die Informationen gehandhabt und verknüpft werden. Diese stellen dabei zwar die notwendige Basis für die Systematik dar, hinreichend für eine erfolgreiche Anwendung ist ein schematisches Ausfüllen der Matrizen jedoch nicht. Essenziell ist vielmehr die auf die Erfüllung der Kundenwünsche ausgerichtete Kommunikation und Konsensbildung im interdisziplinären Team, welche auf Grundlage dieser Systematik befähigt wird [REINHART ET AL. 1996, S. 14, 54; DANNER 1996, S. 50 ff.].

In allen Ansätzen stellt das mehr oder weniger umfangreiche Matrizen-system ein bereichsübergreifendes ganzheitliches Kommunikationssystem dar, dessen Zweck es ist, die Herausarbeitung von Entwicklungsschwerpunkten und den Umgang mit Zielkonflikten zu unterstützen [FELGEN 2007, S. 88 f.], sowie zu einem besseren Verständnis des Produkts und

¹²⁹ Phasen- und zweckspezifische Einordnung des QFD und Gegenüberstellungen zu anderen präventiven Qualitätsmethoden (aber auch Methoden anderen Schwerpunkts wie z. B. Target Costing) können beispielsweise VON REGIUS [2006, S. 14], FELGEN [2007, S. 82], LESMEISTER [2001, S. 71], REINHART ET AL. [1996, S. 70, 79], DANNER [1996, S. 84], MAI [1998, S. 36] oder KLEIN [2012, S. 71] entnommen werden.

damit zur Risikominimierung bezüglich des Übersehens wichtiger Aspekte beziehungsweise des Vergessens wichtiger Überlegungen beiträgt [KING 1994, S. 69].

Die Bedeutung des QFD im Rahmen der systematischen Aufgabenklärung zeigt sich jedoch auch darin, dass sich einige Betrachtungen in der Literatur (und auch Anwendungen in der Industrie) maßgeblich auf die Phase der **Anforderungskklärung und -übersetzung** konzentrieren. JUNG [2006, S. 25–69] stellt eine Bestandsaufnahme der Anforderungskklärung in der Entwicklungsmethodik vor. Dabei untersucht er diese sowohl als Teilbestandteil umfassender Modelle der Entwicklungsmethodik als auch in Form unabhängiger Ansätze. Hervorzuheben ist hierbei, dass in beiden Untersuchungsbereichen mehr als 50% der Ansätze in irgendeiner Form auf QFD aufbauen oder Teilaspekte des QFD – meist das House of Quality – integrieren.

CHAN & WU [2002, S. 467] resümieren aus einem breitangelegten Literatur-Review, in dem über 650 Arbeiten mit QFD-Bezug untersucht wurden, dass QFD primär zur Unterstützung der Produktentwicklung, des Qualitätsmanagements und der Kundenbedarfsanalyse eingesetzt wird. Durch spätere Ansätze wurde der Anwendungsbereich auf viele weitere die Richtungen¹³⁰ erweitert. Generell seien den potenziellen Anwendungsbereichen von QFD keine definitiven Grenzen gesetzt.

Hinsichtlich der technischen Anwendungsgebiete bestehen keine Beschränkungen, was durch zahlreiche Beispiele aus verschiedenen **Branchen** belegt ist – sowohl im Bereich materieller Güter, als auch im Software- und Dienstleistungsbereich [DANNER 1996, S. 50]. Uneinigkeit herrscht allerdings hinsichtlich der Eignung für verschiedene **Innovationsarten**. Zahlreiche Autoren sehen im Bereich von **inkrementellen Innovationen** eine wesentlich stärkere Eignung der Methodik als für **innovative Neuentwicklungen** [BAUMBERGER 2007, S. 87], da sie vor allem dann hilfreich ist, wenn Referenzlösungen im Form von Vorgängermodellen oder Konkurrenzprodukten vorliegen [PONN & LINDEMANN 2011, S. 51]. DANNER [1996, S. 89] betont jedoch, dass QFD auch für Neuentwicklungen zum Einsatz kommen kann, wo die Ergebnisse einer Initialphase des „freien Generierens“ die Eingangsinformationen für die Analyse, Verbesserung und Verfeinerung mittels QFD darstellen können.

4.3.3 Prinzipielles Vorgehen im QFD anhand des Makabe-Ansatzes

Der am weitesten verbreitete QFD-Ansatz ist der sogenannte **4-Phasen-Ansatz** nach MAKABE, der vor allem vom *American Supplier Institute (ASI)* im Zuge der Einführung von QFD in den USA propagiert wurde [ZERNIAL 2007, S. 92]. Die inhaltlich stark vereinfachte Variation des AKAO-Ansatzes [MAI 1998, S. 29] zeichnet sich durch eine eindeutige Gliederung aus [REFFLINGHAUS 2009, S. 17], die ein strukturiertes, hierarchisches und analytisches Vorgehen ermöglicht [ZERNIAL 2007, S. 92]. Generell ist dieses als zeitlich serielle Abfolge von Phasen vorgesehen, in dem nachfolgende Phasen auf den Ergebnissen der jeweils vorausgehenden Phase aufbauen [MAI 1998, S. 30]. Rücksprünge sind dabei ebenso wenig explizit vorgesehen wie eine Ergänzung der vier Phasen. FELGEN [2007, S. 86] weist jedoch darauf hin, dass der Ablauf dennoch durch Iterationsschleifen geprägt sei.

¹³⁰ CHAN & WU [2002] nennen hier exemplarisch *design, planning, decision-making, engineering, management, teamwork, timing* und *costing*.

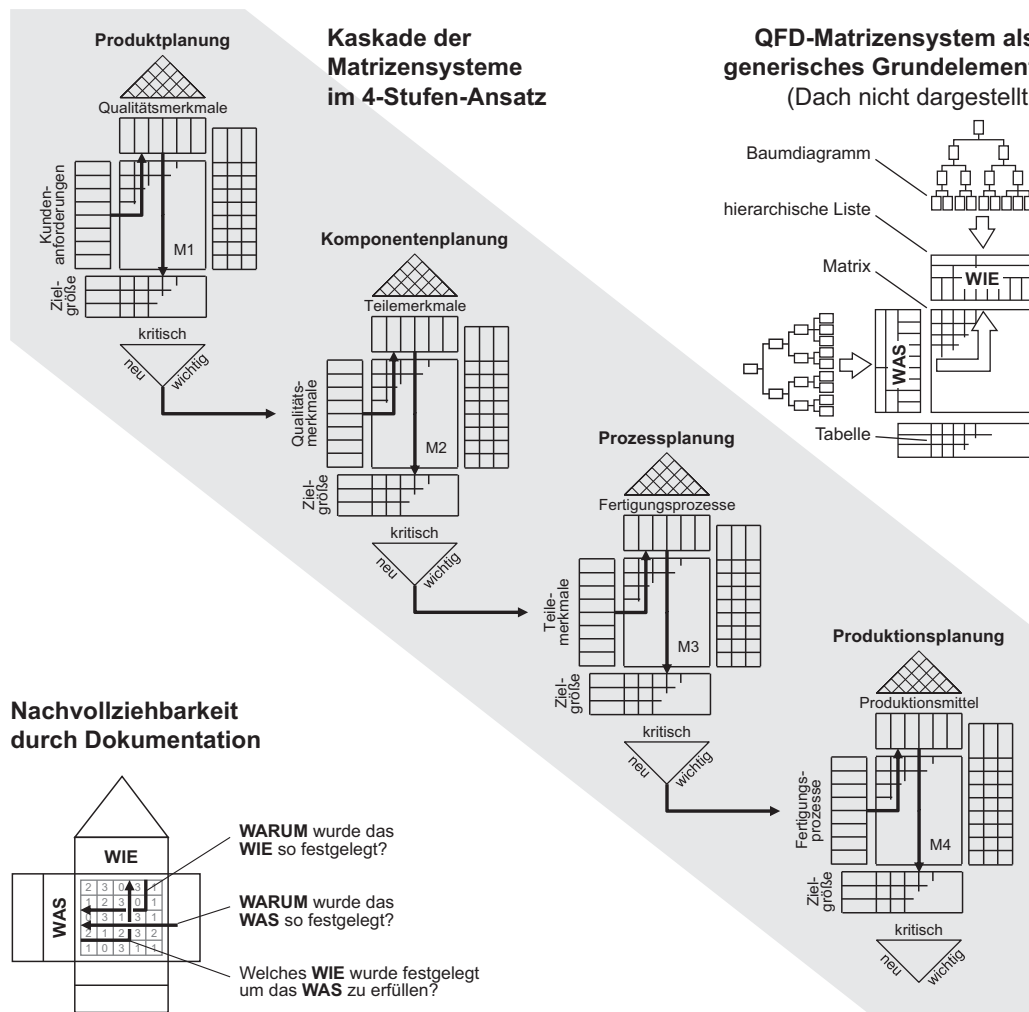


Abbildung 4-10: 4-Stufen-Ansatz nach MAKABE (kombinierte Darstellung in Anlehnung an DANNER [1996, S. 53, 58] und BOUTELLIER & BIEDERMANN [2014, S. 447])

Wie in Abbildung 4-10 dargestellt, umfasst der MAKABE-Ansatz die 4 Phasen der **Produktplanung**, **Komponentenplanung**, **Prozessplanung** und **Produktionsplanung**. Dadurch begleitet und unterstützt der Ansatz den Produktentstehungsprozess von der Entwicklungsphase bis zur Serien- bzw. Produktreife [ZERNIAL 2007, S. 93]. Wesentliches Arbeitsmittel innerhalb aller Phasen stellen die in Abbildung 4-11 auf der rechten Seite dargestellten verzahnten, durchgängig miteinander verknüpften Matrizen [REFFLINGHAUS 2009, S. 17] beziehungsweise Matrizenysteme¹³¹ dar, die als zu instanzierende Metamodelle¹³² das Vorgehen determinieren.

¹³¹ Fälschlicherweise wird in der Literatur der Begriff *Matrix* häufig synonym für das gesamte Matrizen-System einer Planungsphase verwendet. Da diese jedoch selbst aus mehreren Matrizen unterschiedlichen Typs bestehen, sollte hier klar differenziert werden.

¹³² Aus modelltheoretischer Sicht stellt ein Metamodell die konzeptionelle Grundlage einer Modellierungssprache dar, die – motiviert durch eine bestimmte Absicht – beinhaltete Element- und Relationsarten vorgibt, sowie Regeln zur Darstellung und Interpretation. Es definiert damit die Syntax und Semantik einer Modellierungssprache [KÜHNE 2006]. KOHN [2014, S. 36, 120] nutzt den Begriff des Metamodells synonym zu „Modelltyp“.

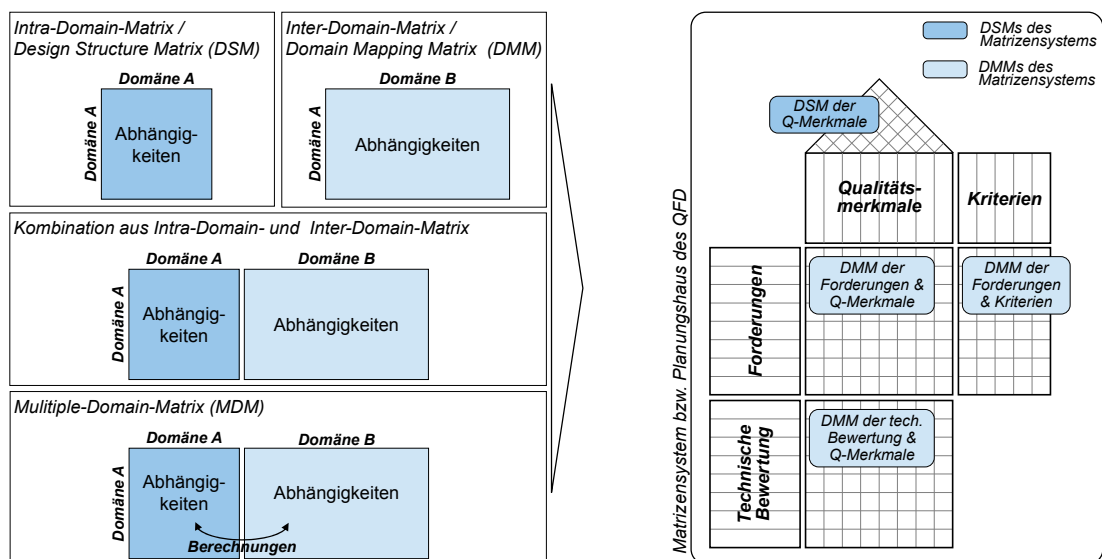


Abbildung 4-11: Planungshaus des QFD als Kombination von Intra- und Inter-Domänen-Matrizen¹³³
(kombinierte, leicht modifizierte Darstellung in Anlehnung an LINDEMANN ET AL. [2009, S. 50 bzw. 56])

Mit Ausnahme der Produktplanungsphase, für deren Matrixsystem sich die Bezeichnung „**House of Quality**“ („**HoQ**“) etabliert hat [HAUSER & CLAUSING 1988], ist die Bezeichnung der Matrixsysteme der anderen Phasen in der Literatur uneinheitlich. Prinzipiell zielt die Nutzung von Matrizen im QFD-Kontext darauf ab, Daten herzuleiten und aufzubereiten, Abhängigkeiten und Einflüsse aufzuzeigen sowie Zielkonflikte darzustellen [DANNER 1996, S. 53].

Basierend auf dem Arbeitsmittel der Matrixsysteme wird das Zurückgreifen auf generische Grundprinzipien ermöglicht, die sich durch alle genannten Phasen ziehen. Innerhalb der zentralen Matrizen der einzelnen Planungshäuser werden jeweils die Ergebnisse ermittelter WAS-WIE-Relationen festgehalten, was diese Mechanismen strukturierbarer und damit objektiver und planbarer macht, wodurch wiederum die Steuerbarkeit der Entwicklungsprozesse erhöht wird [DANNER 1996, S. 52]. Das WIE als Ausgangsinformation der einen Phase stellt wiederum das WAS der Folgephase, und damit dessen Eingangsinformation, dar. Eine zentrale Aufgabe der Planungs- und Entwicklungsteams ist dabei die Priorisierung innerhalb der Informationen einer Phase, sodass die jeweilige Fortführung unter Konzentration auf besonders kritische Informationen (z. B. wichtige oder neue Merkmale) stattfinden kann [DANNER 1996, S. 57]. Diese Mechanismen stellen damit die Grundstruktur der Bearbeitung dar, die wiederum durch die Anwendung phasenspezifischer Methoden unterstützt wird [ZERNIAL 2007, S. 53]. Dabei repräsentieren die einzelnen Planungshäuser die innerbetrieblichen Schnittstellen [DANNER 1996, S. 53] und dienen damit als Verständigungsmittel zwischen den verschiedenen Abteilungen [BOUTELLIER & BIEDERMANN 2014, S. 445].

¹³³ Die Leserichtung von beeinflussenden zu beeinflussten Elementen (vgl. auch Quellen- und Senkenknoten der Graphentheorie, Kapitel 6.3.1), die sich im Bereich des strukturellen Komplexitätsmanagement durchgesetzt hat (Zeile beeinflusst Spalte) entspricht der Umkehrung der im QFD etablierten Leserichtung.

Der allgemeine Prozess soll nun auf Basis der **Produktplanung**, die innerhalb des hier behandelten Feldes den Relevanzbereich der vorliegenden Arbeit darstellt, nachvollzogen werden, während auf die Phasen II bis IV nur oberflächlich eingegangen wird. Die erste Phase findet in quasi identischer Form auch in den umfassenden Ansätzen nach AKAO und KING statt.

Im **1.** Schritt werden die **Kundenforderungen** als Zeilen der zentralen Matrix im HoQ aufgenommen und strukturiert. Dabei wird häufig mit zwei bis drei Hierarchieebenen, ordnenden Oberbegriffen oder Baumdiagrammen gearbeitet [AKAO 1990, S. 20; KAMISKE & BRAUER 2011, S. 243]. Die eigentliche Forderungserhebung wird vielfach auch als „Phase Null“ oder Kundenphase bezeichnet [ZERNIAL 2007, S. 94; SAATWEBER 1997, S. 41], in welcher basierend auf Methoden der Marktforschung (z. B. Kundenumfragen, Publikationsanalysen, Beschwerdemanagement, Lead-User-Analysen, Applikationsstudien oder Expertengesprächen [SCHMIDT 1997; SAATWEBER 1997, S. 65–96]) explizite und implizite sowie offene und latente Anforderungen ermittelt werden. Im Kontext des Maschinen- und Anlagenbaus findet dies im Rahmen des Vertragsvereinbarung statt [AGOURIDAS ET AL. 2008] – mit den in Kapitel 2 genannten Herausforderungen.

HAUSER & CLAUSING [1988, S. 6] betonen die Bedeutung der Kompromissfindung bei der Produktentwicklung, da es im Allgemeinen nicht möglich ist, alle Bedarfe gleichermaßen und in vollem Umfang zu befriedigen. Daher erfolgt in Schritt **2** eine **Gewichtung** der Forderungen, auf die bei lösungsbezogenen Zielkonflikten zurückgegriffen wird, welche durch die geschaffene Transparenz sichtbar werden. Dies erfolgt entweder auf der Grundlage der Erfahrungen der Entwicklungsteammitglieder mit den Kunden, oder ebenfalls unter Zuhilfenahme mehr oder weniger aufwändiger Methoden¹³⁴ [HAUSER & CLAUSING 1988, S. 6]. Ist die Entwicklung einer ganzen Produktfamilie Gegenstand eines QFD-Projekts, so kann die Gewichtung basierend auf unterschiedlichen festgelegten Marktsegmenten erfolgen [KOPPENHAGEN 2014, S. 134 f.; NILSSON 2010, S. 35].

Die Aufstellung des **Qualitätsplans** im **3.** Schritt erfolgt auf Basis eines Benchmarks des eigenen Vorgängerprodukts sowie der wichtigsten Konkurrenzprodukte anhand der ermittelten Kundenforderungen [KAMISKE & BRAUER 2011, S. 244]. Dieser Vergleich dient der Ableitung von angestrebten **Zielwerten** und Verbesserungsraten für jede Forderung. Weitere Faktoren wie Verkaufs- oder Serviceschwerpunkte – definiert durch Marketing oder Vertrieb – können den Qualitätsplan vervollständigen. Aus den verwendeten Kennzahlen kann schließlich eine Priorisierung für die Entwicklung errechnet werden. Für die Auswahl der genauen Inhalte eines Qualitätsplans, sowie deren Repräsentationsform sind keine festen Regeln definiert [KLEIN 2012, S. 57]. Wie im Beispiel in Abbildung 4-12 enthält das HoQ häufig einen komprimierten, grafisch repräsentierten Qualitätsplan¹³⁵. Generell bieten die Listen aus den Spalten und Zeilen der Matrizen in allen Phasen die Möglichkeit, phasen- und aufgabenspezifisch – basierend auf der durch die Listen vorgegebenen Struktur – tabellarische Inhalte – beispielsweise zu assoziierten Kosten – zu ergänzen [DANNER 1996, S. 53].

¹³⁴ Eine Besprechung der wichtigsten Gewichtungs- und Priorisierungsverfahren findet sich in REFFLINGHAUS [2009], darunter der Analytische Hierarchieprozess (AHP), die Nutzwertanalyse und die Conjoint-Analyse.

¹³⁵ Die zugehörige vollständige Version des Qualitätsplans ist in der Quelle des Beispiels ebenfalls zu finden (vgl. [KLEIN 2012, S. 85]).

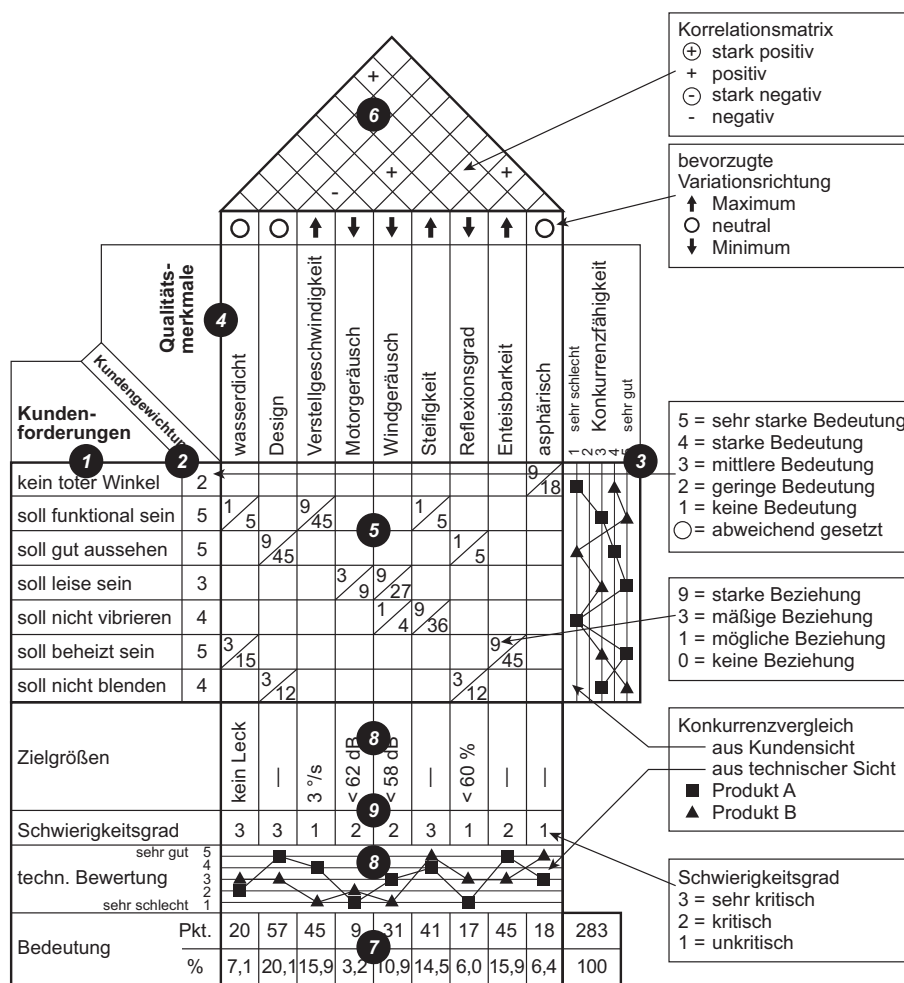


Abbildung 4-12: Instanziiertes House of Quality eines Autorückspiegels (in Anlehnung an KLEIN [2012, S. 98])

Schritt 4 beinhaltet die Ermittlung der sogenannten **Qualitätsmerkmale**. Diese stellen noch keine konstruktive Lösung dar [SAATWEBER 1997, S. 134], sondern geordnete und strukturierte, gegebenenfalls auch hierarchisierte technische Merkmale, die am fertigen Produkt als Ganzes eindeutig messbar sein müssen [KAMISKE & BRAUER 2011, S. 244; DANNER 1996, S. 57]. KLEIN [2012, S. 78] betont die Gefahr, dies als Syntheseschritt misszuverstehen und einfach zu jeder Kundenforderung ein abdeckendes Qualitätsmerkmal zu suchen. Diese Form des Pragmatismus könne jedoch nur per Zufall zu dem angestrebten ausgeglichenen, kundenorientierten und zugleich kostengerechten Eigenschaftsgefüge führen. Sein Vorschlag sieht daher ein erstes Gedankenkonzept vor, dessen Gegenprüfung mit dem Anforderungsprofil dann die Basis für weitere Verfeinerungen, Rückschlüsse und Richtungsentscheidungen darstellt. Die Indikation der bevorzugten **Variationsrichtung** sollte vor allem als ein Instrument dienen, Eindeutigkeit in den nachfolgenden Abhängigkeitsabfragen (insbesondere Schritte 5 und 6) herzustellen, und kann keine Absolutheit beanspruchen – dasselbe Qualitätsmerkmal kann sich schließlich positiv auf eine und negativ auf eine andere Kundenforderung auswirken.

Zentraler Arbeitsbereich jeder QFD-Anwendung ist die **Verknüpfungsmatrix**, welche den Zielbereich für die ermittelten Abhängigkeiten zwischen den **Qualitätsmerkmalen** und den

Kundenforderungen darstellt (Schritt 5). AKAO [1990, S. 7] beschreibt diese als visuelles Hilfsmittel zur Darstellung der Relationen zwischen den in den Forderungen enthaltenen Eigenschaften, welche die wahre, tatsächliche Qualität repräsentieren, und den Qualitätsmerkmalen, welche deren lösungsbezogenes Gegenstück („*counterpart characteristics*“) darstellen. Die Relationen, und damit die Grundlage des Lösungsvorschlags, werden in einem analytischen Prozess des Übersetzens, Schlussfolgerns und Argumentierens herausgearbeitet, welcher nicht klar von der zuvor beschriebenen Ermittlung der Qualitätsmerkmale zu trennen ist. Nach DANNER [1996, S. 56] können sowohl Fakten als auch Erfahrung und Intuition in die Entscheidungen einfließen. Die Stärke des Beitrags eines Qualitätsmerkmals zur Erfüllung einer Kundenforderung kann numerisch oder auf Basis von stärkeassoziierten Symbolen repräsentiert werden, wobei auch die Möglichkeit besteht, schädliche Einflüsse zu berücksichtigen [ZERNIAL 2007, S. 95]. Durch spezifische Kommentierung und Codierungen können Begründungen und Zuverlässigkeitsgrad (z. B. faktenbasiert vs. Expertenschätzung) zu einem bestimmten Zeitpunkt hinterlegt werden [DANNER 1996, S. 56], was jedoch ohne geeignete Softwareunterstützung nicht nutzerfreundlich und effizient umzusetzen ist. HAUSER & CLAUSING [1988, S. 8] betonen, dass die Stärke des HoQ darin liegt, allen Beteiligten eine Basis zu bieten, Prioritäten zu diskutieren, es den Anwender dabei allerdings keinesfalls von der Verantwortung entbindet, harte Entscheidungen zu treffen.

Das Dach des HoQ, dem Schritt 6 gewidmet ist, dient der Abbildung von **Korrelationen** innerhalb der Domäne der Qualitätsmerkmale, wodurch sowohl unterstützende als auch konkurrierende Beeinflussungen systematisch ermittelt und stärkebasiert festgehalten werden können [BOUTELLIER & BIEDERMANN 2014, S. 446; ZERNIAL 2007, S. 95]. Missverständnisse können wiederum durch Nutzung der angegebenen „bevorzugten“ Variationsrichtung (s. o.) vermieden werden. Die charakteristische Dreiecksform des Dachs ist der Tatsache geschuldet, dass es die Abhängigkeiten ungerichtet, also im Sinne einer symmetrischen DSM abbildet [LINDEMANN ET AL. 2009, S. 55] (Vgl. Abbildung 4-11). Eine den DSM-Konventionen entsprechende Darstellung mit einer zweifachen Auftragung der Qualitätsmerkmale (Auflösung der Dreiecksform) würde ohne weiteres die Abbildung gerichteter Abhängigkeiten ermöglichen.¹³⁶ Im Rahmen des entwickelten Lösungsansatzes wird dieses Potenzial aufgegriffen (vgl. Teilkapitel 6.3.1).

In Schritt 7 erfolgt die **numerische Gesamtbewertung der einzelnen Qualitätsmerkmale aus technischer Sicht** auf Basis der Addition der Produkte aus ermittelten Einflussstärken auf eine Kundenforderung und die zugehörige Gewichtung [KAMISKE & BRAUER 2011, S. 245]. Dadurch erfolgt eine unmittelbare Integration der lösungsunabhängigen Kundensicht und der technischen Abhängigkeiten.

Darüber hinaus erfolgt in Schritt 8 – ähnlich der Ableitung von Zielwerten im Qualitätsplan aus Kundensicht (Schritt 3) – eine Formulierung konkreter, **messbarer Zielwerte** für die definierten Qualitätsmerkmale, wozu diese ebenfalls einem Wettbewerbsbenchmark unterzogen werden. Nach SAATWEBER [1997, S. 137] sollten dabei für jene Qualitätsmerkmale, welche

¹³⁶ Dies erscheint sinnvoll, da durch eine zielgerichtete Ursache-Wirkungs-Abbildung das Diskutieren und Auflösen von Zielkonflikten erleichtert werden würde. Dass die Korrelationen technischer Merkmale nicht gleich- oder ungerichtet sind, zeigt das einfache Beispiel, dass die Masse eines Objektes zwar unmittelbar dessen Beschleunigung beeinflusst, eine bestimmte Beschleunigung jedoch keinen unmittelbaren Massetreiber darstellt.

starken Abhängigkeiten zu den wichtigsten Kundenforderungen aufweisen, für die Entwicklung besonders herausfordernde Zielwerte angesetzt werden. Auch weitere im Qualitätsplan festgehaltene Informationen – z. B. definierte Verkaufsschwerpunkte – können auf diese Weise Berücksichtigung finden.

Auf Basis der Zielwerte kann schließlich in Schritt **9** ein **technischer Schwierigkeitsgrad** zu deren Umsetzung abgeschätzt werden. Dieser sollte sich nach ZERNIAL [2007, S. 96] unmittelbar am Stand der Entwicklung und den verfügbaren Technologien orientieren.

Hinsichtlich der letzten Schritte unterscheiden sich die in der Literatur empfohlenen Sequenzen, da diese ohnehin stark iterativ geprägt sind. So kann beispielsweise ein technischer Schwierigkeitsgrad nicht ohne den im Zielwert enthaltenen Entwicklungssprung abgeschätzt werden, ein zu hoher, und damit risikoreicher und investitionsintensiver Schwierigkeitsgrad, zieht andererseits gegebenenfalls Anpassungen des Zielwertes nach sich. Auch die im Dach ermittelten Korrelationen können Anpassungen der Ausprägungen oder gar Substitutionen von Merkmalen erfordern [ZERNIAL 2007, S. 95].

Wie bereits im Zusammenhang mit der Anforderungsklä rung erwähnt, beschränkt sich der Einsatz des QFD in vielen Unternehmen auf die Bearbeitung und Nutzung des House of Quality [LESMEISTER 2001, S. 18], wovon abgeleitet werden kann, dass für andere Planungsaufgaben wie beispielsweise die Produktions- oder Technologieplanung auf unabhängige Ansätze vertraut wird. Auch in der Literatur kommt dem HoQ erhöhte Aufmerksamkeit zu, was damit einhergeht, dass sich die meisten Fallbeispiele zum Einsatz von QFD auf die Phase der Produktplanung und -entwicklung beziehen [GEIGER & KOTTE 2008, S. 166; MAI 1998, S. 33].

Basierend auf den Ergebnissen der Stufe I werden die Qualitätsmerkmale priorisiert – beispielsweise auf Basis der Schwierigkeitsgrade und der Gesamtbewertung [FELGEN 2007, S. 86; DANNER 1996, S. 57; ZERNIAL 2007, S. 96]. Gesamtbewertung und Zielwerte der als kritisch eingestuften Qualitätsmerkmale stellen die zentralen Eingangsinformationen für die in **Stufe II** des 4-Stufen-Ansatzes stattfindende **Komponentenplanung** dar. Ziel der Komponentenplanung ist die Verknüpfung der kritischen **Qualitätsmerkmale** mit **Teilemerkmalen** [FELGEN 2007, S. 86]. Hierzu erfolgt die Dekomposition eines oder mehrerer Lösungskonzepte sowie deren konstruktive Planung auf Baugruppen- und Teileebene, wobei auch ein geeigneter Detaillierungsgrad festzulegen ist [REFFLINGHAUS 2009, S. 18].¹³⁷ Erneut gilt es diejenigen Komponenten beziehungsweise Subsysteme zu ermitteln, welche für die Realisierung der wichtigsten Qualitätsmerkmale besonders relevant sind, wobei wiederum die Interaktion der Komponenten zu berücksichtigen ist [SAATWEBER 1997, S. 163]. Für die transparente Abbildung der ermittelten Korrelationen wird das Dach des Komponentenplanungshauses genutzt.

Nach dem nun bekannten Schema stellen die kritischen Teilemerkmale aus Stufe II die Eingangsinformationen der **Stufe III** dar. Inhalt der dort erfolgenden **Prozessplanung** ist die Festlegung des Herstellungsprozesses für die einzelnen Komponenten, sowie die Ermittlung der kritischen Prozessparameter um deren definierte Merkmale zu garantieren [ZERNIAL 2007, S. 97 f.]. Die Abschließende **Stufe IV** befasst sich mit der Produktionsplanung und der

¹³⁷ Siehe hierzu auch Kapitel 4.3.5, das sich nochmals explizit mit Aspekten der Systemtechnik, -architektur und -dekomposition im Rahmen des QFD auseinandersetzt.

Erstellung von Prüf-, Verfahrens- und Vorgehensplänen um die in Stufe III ermittelten kritischen Prozessparameter abzusichern, was wiederum nicht als vollumfängliche Planungsaufgabe zu sehen ist, sondern im Sinne einer Konzentration auf wesentliche, neue und kritische Produktionsprozesse erfolgt.

4.3.4 Die umfassenden QFD-Ansätze nach Akao und King

Wie eingangs dargestellt, stellt der vorab ausführlich vorgestellte MAKABE-Ansatz eine vereinfachte Weiterentwicklung amerikanischer Prägung des klassischen japanischen Ansatzes nach AKAO dar und hat ob seiner Kompaktheit, Übersichtlichkeit und geringeren Komplexität vor allem in der westlichen Industrie zu wesentlich mehr Akzeptanz gefunden [LESMEISTER 2001, S. 14; FELGEN 2007, S. 84; REFFLINGHAUS 2009, S. 26]. Bezüglich der Produktplanungsstufe im MAKABE-Ansatz, ist diese quasi identisch in den beiden umfassenden Ansätzen beinhaltet [FELGEN 2007, S. 86; DANNER 1996, S. 74]. Auch die für das verfolgte Kerninteresse dieser Arbeit relevanten Dekompositionsaspekte (Stufe II im MAKABE-Ansatz) sind in den umfassenden Ansätzen über die gleichen Domänenvernetzungen (Qualitäts- / Teilemerkmale) integriert.

Ein essenzieller Unterschied liegt hingegen in der Gesamtheit der vernetzten Domänen und Sichten, welche bei den Ansätzen von AKAO und KING deutlich umfangreicher sind, sowie der Vernetzungsstruktur, die ausschließlich beim vereinfachten MAKABE-Ansatz linear geprägt ist, repräsentiert durch die Kaskade der Planungshäuser. Die Struktur im Ansatz nach AKAO ist hingegen zweidimensional, und beinhaltet vier (vertikale) inhaltliche Planungsebenen und vier (horizontale) konkretisierungsbezogene Ebenen. Erstere stellen die übergreifenden Phasen des Vorgehens dar und sind in Qualitäts-, Technologie-, Kosten- und Zuverlässigkeitsentwicklung gegliedert. Diesen werden Anforderungen zunehmender Produktkonkretisierung und -detaillierung in Form von Kundenanforderungen, Funktionen, (detaillierteren) Qualitäts- und Teilemerkmalen gegenübergestellt [AKAO 1990, S. 16–17]. Die Ableitungs- und Verknüpfungsprozesse der diese Anforderungen widerspiegelnden Eigenschaften laufen dabei nicht sequenziell ab, sondern werden iterativ entwickelt und verfeinert, um die gewünschte hohe Konsistenz und Zuverlässigkeit der erarbeiteten Informationen zu erreichen [DANNER 1996, S. 75].

Während die Qualitätsentwicklung auch hier den wesentlichen Schritt darstellt, zielt die Technologieentwicklung unter anderem darauf ab, Engpässe zu identifizieren und zu vermeiden, werden in der Kostenentwicklung Kostensenkungsziele verfolgt und in der Zuverlässigkeitsentwicklung die Sicherstellung einer möglichst langen Funktionserfüllung angestrebt [ZERNIAL 2007, S. 91]. Im Zusammenhang mit der im Rahmen dieser Arbeit relevanten Qualitätsentwicklung sieht DANNER [1996, S. 62, 74 f.] den entscheidenden Unterschied zu Makabe in der expliziten Funktionsbetrachtung¹³⁸. Diese stellt sicher, dass im Sinne einer erweiterten Aufgabenklärung, neben den Kundenforderungen auch alle impliziten Anforderungen, Restriktionen, gesetzlichen Vorgaben, etc. ebenso wie die Berücksichtigung unerwünschter Funktionen in das in alle Phasen eingehende Kriteriengerüst mit eingewoben werden.

¹³⁸ Bei MAKABE findet diese nicht im Sinne einer eigenen Domäne, sondern als Element der Komponentenplanung statt [SAATWEBER 1997, S. 159 f.].

Auf Basis der durch die Betrachtungsebenen gegebenen Struktur werden die Informationen im Entwicklungsprozess auf verschiedenen Informationspfaden umgesetzt, welche teilweise die Kundensicht und teilweise die technische Sicht repräsentieren und durch Verzweigungen, Richtungswechsel und Kreuzungen weiterentwickelt werden [DANNER 1996, S. 72; FELGEN 2007, S. 88]. AKAO [1992, S. 59] betont den Vorschlagscharakter seines Vorgehens, welches sich zwar vielfach bewährt hat, jedoch explizit als Basis für unternehmens- und problemspezifischer Variationen zu verstehen sei. Darüber hinaus ist auch (und gerade) im umfassenden, zahlreiche Matrizen umfassenden Ansatz nach AKAO die Priorisierung im Entwicklungsverlauf von größter Bedeutung, da der Aufwand einer vollumfänglichen Ausarbeitung aller möglichen Matrizenszenarios nicht durch einen entsprechenden Nutzen rechtfertigbar wäre [DANNER 1996, S. 59]. Ein erfolgreiches Setzen von Prioritäten setzt jedoch einen vollständigen Qualitätsplan voraus – nach AKAO [1992, S. 21] kann Unvollständigkeit an dieser initialen Stelle mehr Schaden anrichten als Nutzen stiften.

HOFFMANN [1997] beschreibt den Ansatz nach AKAO als „*breitbandigen unternehmensweiten Ansatz*“ und jenen von MAKABE als Partialkonzept desselben¹³⁹. REFFLINGHAUS [2009, S. 24] sieht den AKAO-Ansatz ebenfalls als unternehmensweites Konzept während der MAKABE-Ansatz klar projektorientiert sei und auf die Verbesserung einzelner Produkte abziele. Tabelle 4-2 fasst die Ergebnisse seiner vergleichenden Analyse zusammen:

Tabelle 4-2: Vergleich der Ansätze nach MAKABE (ASI) und AKAO nach REFFLINGHAUS [2009, S. 25]

| | | QFD-Ansätze | | |
|--------------------------------|---|--|-----|---|
| | | Akao | ASI | |
| Anforderungen an die Methode | hohe Kundenorientierung | Ermitteln und Aktualisieren von Kundenbedürfnissen | ● | |
| | | Herleiten von innovativen zukünftigen Kundenbedürfnissen | | |
| | | präventive Fehlervermeidung | ● | ● |
| | einfache Integration in ein Unternehmen | sofortiger Nutzen bei der Einführung | ○ | ● |
| | | leichte Erlernbarkeit | ○ | ● |
| | | ohne Vorkenntnisse des Anwenders bzgl. der Methodik einsetzbar | | |
| | | aufgabenspezifische Anpassbarkeit | ○ | ○ |
| | | hohe Anpassbarkeit an ein Unternehmen (KMU) | | |
| | | hohe Anwenderfreundlichkeit | ○ | ● |
| | ganzheitlicher Ansatz | Steuerung und Überwachung eines Entwicklungsprojekts | ○ | ○ |
| | | integrierte Kostenentwicklung | ● | ○ |
| | | leichte Implementierung von anderen QM-Methoden | ● | ● |
| | | vollständige Betrachtungsweise (Technik, Organisation, Umwelt, rechtliche Anforderungen) | ● | ○ |
| | hohe Funktions-sicherheit | hohe Planungssicherheit (Durchgängigkeit, Transparenz) | ○ | ● |
| | | hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse | ● | ● |
| | | Umsetzung von wissenschaftlichen Grundsätzen, Beachtung des Standes der Technik | ● | ● |
| hohe Neutralität, Objektivität | | ● | ● | |

Legende

- erfüllt
- teilweise erfüllt
- nicht erfüllt

Abschließend sei noch der umfassende QFD-Ansatz nach KING [1989, 1994] erwähnt, welcher wesentlich auf AKAOs Arbeiten aufbaut. In der Beschreibungsphase¹⁴⁰ arbeitet KING mit einem gegenüber AKAO erweiterten Matrizensystem, nutzt jedoch keine Informationspfade zu deren

¹³⁹ DANNER [1996, S. 70 f.] präsentiert eine detaillierte Visualisierung des Ansatzes nach AKAO, in welcher die vier Stufen des MAKABE-Ansatzes nachvollziehbar verortet sind.

¹⁴⁰ Daneben gibt es im Ansatz nach KING noch die Phasen der Organisation, des Erfolgs sowie der Implementierung [KING 1994, S. 53].

prozessualer Verknüpfung [FELGEN 2007, S. 88]. In dem als „Matrix der Matrizen“ bezeichneten Gerüst bilden die Spalten „Neue Konzepte“ und „Hilfsmethoden“ die entscheidenden Erweiterungen gegenüber AKAO. Erstere zielt auf eine verbesserte Anwendbarkeit für Neuentwicklungsprojekte ab und integriert damit einen Vorschlag von PUGH [1981], der die Bewertung neuer Konzepte anhand des Vergleichs mit einer Referenzlösung vorsieht. Dieses Prinzip überträgt KING [1989, S. 20/2] auf die verschiedenen Konkretisierungsebenen innerhalb des Matrixsystems. Die Lösungsgenerierung selbst wird dabei – wie bei allen QFD-Ansätzen – nicht unterstützt und findet außerhalb des Matrixsystems statt [DANNER 1996, S. 77 f.]. Die zweite Erweiterung betrifft die explizite Einbindung weiterer qualitätsorientierter Methoden wie Wertanalyse, Fehlerbaumanalyse und FMEA in das Matrixsystem.

4.3.5 Bezug des QFD zu Systemtechnik und -architektur

Alle QFD-Vorgehen beinhalten eine vorgehensbegleitende Systemdekomposition und damit einen direkten Bezug zur **Systemarchitektur** (vgl. Kapitel 3.2). Der maßgebliche Zerlegungsschritt, der sich im Falle komplexer Systeme mehrfach wiederholen kann [TAKAI & ISHII 2006], erfolgt bei der Aufbereitung der Komponentendomäne, welche der Domäne der Qualitätsmerkmale zur systematischen Ableitung von Zusammenhängen gegenübergestellt wird. Im MAKABE-Ansatz erfolgt dies in der Komponentenplanung, im AKAO-Ansatz im sogenannten „Subsystem Deployment“ [AKAO 1990, S. 23]. Der genannte Aufbereitungsschritt wird durch die Nutzung von Baumdiagrammen und hierarchischen Listen systematisch-visuell unterstützt [DANNER 1996, S. 53; AKAO 1990, S. 23]. Die Verknüpfungsmatrix dieser Phase dient dann der Bewertung der Einflusstärke der definierten Subsysteme auf die Qualitätsmerkmale des Gesamtsystems. In der Praxis findet der Schritt der Dekomposition bereits häufig implizit im Zuge der schrittweisen Detaillierung der Qualitätsmerkmale statt, wie vielen in der Literatur dargestellten Anwendungsbeispielen¹⁴¹ zu entnehmen ist, teilweise wird gar direkt mit Komponenten anstelle von Qualitätsmerkmalen gearbeitet (z. B. [KOPPENHAGEN 2014, S. 137]).

Der eigentliche Dekompositionsvorgang wird im QFD-Vorgehen nicht explizit beschrieben. LO ET AL. [2010] argumentieren jedoch, dass im Falle „reifer“ Produkte die hauptsächlichen Module und deren prinzipielle Funktionen wohldefiniert sind, wodurch die prinzipielle Basis für die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen konkreteren Modul- beziehungsweise Komponentenmerkmalen und betrachteten Qualitätsmerkmalen in großen Teilen Vorliegt, und eine vollständige Dekomposition im Allgemeinen nicht erforderlich ist.

Im Zusammenhang mit komplexen Anlagen und Systemen, und der damit einhergehenden großen Anzahl von Komponenten und Hierarchieebenen stellen TAKAI & ISHII [2006] einen Auswahlprozess zwischen verschiedenen Dekompositionskonzepten vor. Das dafür vorgesehene Matrixsystem spiegelt die parallele stufenweise Auflösung der Systemstrukturalternativen und der für die resultierenden Subsysteme, Module etc. zu definierenden Anforderungen wider.

¹⁴¹ z. B. „Winkel des Schalters“ oder „Größe der Linse“ bei der Entwicklung einer Stirnlampe [AKAO 1990, S. 67], oder „Sicherheit des Tanks“, „Sicherheit des Gehäuses“, etc. bei der Entwicklung einer Rasenmähers [DEUBEL 2007, S. 116]

DANNER [1996, S. 90 ff.] stellt klar die Verwandtschaft der stufenweisen Auflösung der Anforderungen im QFD und der Vorgehensweise der **Systemtechnik** heraus. An das Gesamtprodukt gerichtete Kundenanforderungen werden durchgängig auf alle Dekompositionsebenen bis auf die Einzelteile projiziert, wobei sie durch spezifische, das Subsystem betreffende Anforderungen sowohl aus Kunden-, als auch aus technischer Sicht ergänzt werden. Bei Systembetrachtungen auf all diesen Ebenen wird dadurch die notwendige Berücksichtigung der „Belange des Ganzen“ ermöglicht. FELGEN [2007, S. 69] hebt hierbei die Möglichkeit der Berücksichtigung multiplanarer Vernetzungen hervor, wodurch der Tatsache Rechnung getragen werden kann, dass in der Realität selten Eins-zu-eins-Beziehungen zwischen den Ebenen auftreten.

4.3.6 Sonderformen des QFD und verwandte Ansätze

GERST [2002] stellt eine **QFD-Methodik** vor, die an die Bedingungen von **Zulieferern von Systemkomponenten und -modulen** angepasst ist. Per Definition handelt es sich also wie in der vorliegenden Arbeit um Modulentwicklung, mit dem Unterschied, dass die Systemintegration gänzlich außerhalb der Kompetenzen der betrachteten Unternehmen liegt. Die von GERST [2002, S. 45] charakterisierte Konstellation sieht den Kunden (OEM) des Zulieferers als Träger des Integrationswissens und ohne Modulwissen¹⁴², während beim Zulieferer die Wissensverteilung komplementär ist. Das vielfach dem Zulieferer nicht zur Verfügung stehende Wissen über Systemzusammenhänge außerhalb seiner Umfänge stellt eine große Herausforderung bei der scharfen Interpretation der Kundenanforderungen dar.

Dieser Konstellation begegnet GERST [2002, S. 101 ff.] mit einer Modifikation des klassischen QFD-Ansatzes. Die beiden essenziellen Veränderungen tragen dabei der architekturbezogenen Rolle des Moduls als Komponente eines übergeordneten Systems Rechnung, als auch der dargestellten Wissensverteilung. Zum einen werden die Qualitätsmerkmale des Moduls nicht „weichen, nicht-technischen“ Kundenanforderungen gegenübergestellt, sondern den **technischen Merkmalen des übergeordneten Systems** des Kunden. Darüber hinaus findet eine **Umkehrung der Betrachtungsreihenfolge der Domänen** statt. Auf diese generelle Möglichkeit weist auch FELGEN [2007, S. 86] hin. Dabei werden als erstes die wesentlichen technischen Merkmale des Moduls gesammelt. Anschließend werden unter Einbezug des Kunden die durch die Modulmerkmale beeinflussten technischen Merkmale des übergeordneten Systems erfasst und bewertet. Dadurch wird die unnötige Erfassung nicht beeinflusster, also für die Anforderungen des Zulieferers irrelevanter, Systemmerkmale vermieden.

Mehrere bekannte Ansätze aus dem Bereich der **Planung von Produktfamilien und -plattformen** auf der Basis **modularer Produktarchitekturen** setzen auf der Grundsystematik der ersten beiden Phasen des QFD (bezogen auf den MAKABE-Ansatz) auf (vgl. Kapitel 3.2.3). Das **Modular Function Deployment** (MFD) [ERIXON 1998; ERICSSON & ERIXON 1999] zielt auf eine nach produktstrategischen Zielsetzungen des Unternehmens optimale Modularisierung des zu entwickelnden Produktes ab. Kernelement des Ansatzes ist die sogenannte *Module Indication Matrix (MIM)*, in welcher die im Rahmen der Komponentenplanung definierten

¹⁴² Häufig werden aus Sicht des Zulieferers wichtige Moduleigenschaften durch den OEM aufgrund dessen geringen modulbezogenen Wissens nicht einmal wahrgenommen [GERST 2002, S. 45].

Komponenten 12 differenzierten *Modultreibern*¹⁴³ gegenübergestellt werden. Komponenten mit ähnlich starken Relationen zu den gleichen Modultreibern werden hinsichtlich ihrer Zusammenfassung in einem gemeinsamen Modul näher untersucht. NILSSON [2010] entwickelt diesen Ansatz zur **Product Management Map** weiter und verbessert damit die Integration von Kunden- und Modultreiberdomäne. Durch kundensegmentenspezifische Gewichtungen in der Initialphase des QFD lassen sich Innovationsschwerpunkte und marktseitig erwartete merkmalspezifische Varianz direkt im HoQ abbilden und in die MIM überführen. Das **Design for Variety** nach MARTIN & ISHII [2002] hat die Entwicklung robuster Modulplattformen zum Ziel. Ausgehend von einer Grobdefinition zukünftiger Derivate und ihres Markteintritts werden Dynamik und Varianz der Qualitätsmerkmale im Matrixsystem des QFD abgebildet und kalkulatorisch in einen *Generational Variety Index (GVI)* für jede Komponente überführt. Über eine zweite Kennzahl – den *Coupling Index (CI)* – wird die Änderungsabhängigkeit zwischen den Komponenten systematisch erfasst. Aus den Kennzahlen kann schließlich der potenzielle Anpassungsaufwand abgeschätzt und die Robustheit eines Produktkonzepts bewertet werden.

Der modifizierte QFD-Ansatz nach DURU ET AL. [2013] (Abbildung 4-13) zielt auf die Integration **unterschiedlicher Stakeholderperspektiven** ab. Anders als in den zuvor betrachteten Ansätzen geht es dabei nicht um die effiziente Gestaltung eines Variantenspektrums, sondern um die Kompromissfindung bezüglich singulärer, investitionsintensiver Güter und Dienstleistungen wie beispielsweise im Bereich der Schiffsindustrie. So soll den verschiedenen Parteien, die über ein (technisches) System in einer Geschäftsbeziehung stehen, ermöglicht werden, ihre Interessen nicht nur über die Vertragsgestaltung auf Basis eines bestehenden, einzusetzenden Systems zu verfolgen, sondern durch die Entwicklung oder Anschaffung eines für beide Seiten möglichst vorteilhaften Systems. Dazu wird in dem **Multi-Layer-QFD**-Ansatz nicht das gleiche Set an Forderungen stakeholder-spezifisch gewichtet, sondern es werden die Forderungen an sich stakeholder-spezifisch erhoben. Die beiden Kernelemente stellen dann ein Algorithmus zur Nachjustierung der jeweiligen Gewichtungen auf Basis der Abhängigkeiten zwischen den Forderungen, sowie eine Gewichtung der Qualitätsmerkmale auf Basis der Mittelwerte der nachjustierten relativen Gewichtungen dar.

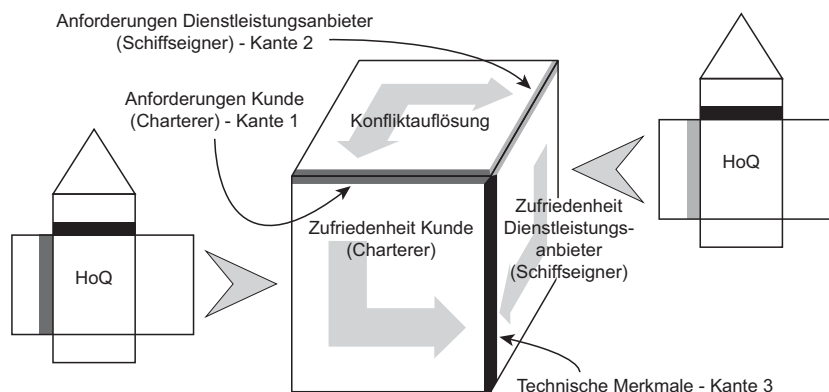


Abbildung 4-13: Dreidimensionale Darstellung des „Multi-Layer QFD“-Ansatzes nach DURU ET AL. [2013]

¹⁴³ Beispielhafte Modultreiber sind „carry over“ (geplante Wiederverwendung in späteren Generationen), „product plan“ (Komponente ist Träger von Merkmalen, die nach einem festgelegten Plan geändert werden) oder „service/maintenance“ (einfache Demontage zur Reparatur / Austausch der Komponente) [ERIXON 1998, S. 72].

Weitere Bereiche, zu deren Unterstützung auf den Grundprinzipien von QFD aufgebaut wird, sind beispielsweise

- Das **Änderungsmanagement**: Hier stellt KÖHLER [2009] eine an das HoQ angelehnte matrizenbasierte Darstellung der Zusammenhänge der Elemente des CPM/PDD-Ansatzes nach WEBER [2005] (Kapitel 3.3.2) für die Verfolgung von Änderungsfortpflanzungen vor.
- Die **Zielkostenplanung**: IBUSUKI & KAMINSKI [2007] heben im Kontext des „Target Costing“ die Möglichkeiten von QFD hervor, die Kompromissfindung bei Zielkonflikten zwischen Anforderungen (zu denen sie auch die Zielkosten zählen) zu unterstützen. Die genaue Schnittstelle besteht dabei zwischen der QFD-Phase der Komponentenplanung und der zweiten Phase der Zielkostenplanung, in der die Gesamtzielkosten auf die einzelnen Komponenten zu verteilen sind.
- Das **Innovationsmanagement**: Hier stellt REICHLE [2006] einen QFD-basierten Bewertungsalgorithmus zur Bestimmung des Erfolgspotenzials und des Innovationsgrads von Produktideen und Produkten vor, wohingegen das Technology Roadmap Deployment (TRD) nach ZERNIAL [2007] einen Ansatz zur integrierten strategischen Planung technologischer Innovationen für Industriegütermärkte darstellt, der das Technology Roadmapping durch die Integration der regelbasierten Aspekte des QFD weiterentwickelt.
- Die Unterscheidung unterschiedlicher **Nutzungsszenarios** innerhalb des HoQ im Ansatz nach HARI ET AL. [2007].
- Optimierungsansätze von **Bauteilverbindungen** nach EHRENSPIEL ET AL. [1992] sowie AKAO [1992].

Die zuletzt genannten Bereiche besitzen für die Problemstellung dieser Arbeit keine erhöhte Relevanz. Sie zeigen jedoch abschließend, wie breitgefächert die möglichen Anwendungsbereiche sind, und wie unterschiedlich diese hinsichtlich ihres Detaillierungsgrads sein können.

4.4 Teilfazit

*Im Zusammenhang mit der Begründung zur Auswahl des Quality Function Deployment als Basis für den Lösungsansatz dieser Arbeit, sowie im Zuge der Vorstellung der QFD-Ansätze wurde bereits auf zahlreiche Vorteile und Fähigkeiten der Methodik eingegangen. Im Folgenden sollen ergänzend die wichtigsten Einschränkungen und Nachteile zusammengefasst werden. Dies erfolgt zunächst anhand vielfach in der Literatur adressierter, meist **allgemeiner Schwachstellen**. Anschließend wird der Fokus auf **Defizite und ungenutzte Potenziale im Zusammenhang mit der in dieser Arbeit bearbeiteten Problemstellung der Modulentwicklung** gelegt. Dabei werden auch die durch den Autor selbst im Rahmen der intensiven Auseinandersetzung mit den verschiedenen Ansätzen identifizierten Aspekte zusammengefasst. Die Konsolidierung dieser Defizite und Potenziale bilden den Kristallisationskeim der Ableitung und Konkretisierung des Handlungsbedarfs in Kapitel 5, welcher die Absprungbasis des in Kapitel 6 beschriebenen Lösungsansatzes darstellt.*

4.4.1 Allgemeine Einschränkungen und Schwachstellen des QFD

Zu den am häufigsten genannten Schwächen des QFD, durch die trotz einer hohen Nutzenassoziation und erfolgreicher Anwendungen nicht von einer Akzeptanz auf breiter Ebene

gesprochen werden kann, muss der damit verbundene **Aufwand** und die teilweise sehr hohe wahrgenommene **Komplexität** der Methode gezählt werden. Dies gilt vor allem für die klassischen Ansätze nach AKAO und KING, jedoch auch für den vereinfachten MAKABE-Ansatz [LESMEISTER 2001, S. 17], und nach BAUMBERGER [2007, S. 87] insbesondere dann, wenn der vollständige Transformationsprozess bis zur Produktionsplanung durchlaufen wird. Besonders wenn als erstes Pilotprojekt ein zu komplexes gewählt wird, führt dies zu einem hohen Zeitaufwand [SAATWEBER 1997, S. 28]. Komplexe Problemstellungen oder gewählte Detaillierungsgrade führen häufig zu sehr großen Matrizen, woraus eine Überforderung in der Handhabbarkeit resultiert [SCHMIDT 1997].¹⁴⁴ In diesem Zusammenhang vermisst LESMEISTER [2001, S. 17] vor allem Werkzeuge, die sie bei der Auswahl, Gruppierung und Berücksichtigung der wichtigen Forderungen bei der Überführung in Produktmerkmale unterstützen. VON REGIUS [2006, S. 23] sieht die hohe Ressourcenbindung weniger als absolutes Problem, sondern als Akzeptanzproblem, durch das dem hohen Nutzen eine Motivationsbarriere in den Weg gestellt ist. Die Ausnutzung der Flexibilität zu einer problemspezifischen Reduktion auf das Notwendige wird daher auch von ihm gefordert.

Zwar werden gerade diese **Flexibilität und Anpassbarkeit** – auch im Sinne der Anwendbarkeit nur in Teilbereichen und nicht als gesamtheitliche Methodik – nicht nur explizit als Stärke hervorgehoben, sondern deren Ausnutzung sogar für einen erfolgreichen Einsatz vorausgesetzt [AKAO 1992, S. 59]. Doch bemängelt LESMEISTER [2001, S. 17], dass konkrete Empfehlungen fehlen, wie diese Anpassungen aussehen können. Weiter wird vielfach beklagt, dass einzelne **Teilaufgaben**¹⁴⁵, deren Ergebnisse durch das QFD zusammengeführt und weiterverarbeitet werden, nicht explizit durch die Methodik unterstützt werden. Dies ist jedoch auch nicht Anspruch und Zweck der Methodik, die vielmehr ein zusammenführendes, den gesamten Entwicklungsprozess begleitendes Kommunikations- und Dokumentationssystem darstellt, das ausdrücklich unterstützende Methoden integriert [DANNER 1996; ZERNIAL 2007; LESMEISTER 2001].

Vielfach wird auch die vornehmliche Eignung im Zusammenhang mit der **Weiterentwicklung bestehender Produkte**, beziehungsweise die limitierte Anwendbarkeit für innovative Neuentwicklungen als Einschränkung angeführt (z. B. [BAUMBERGER 2007, S. 87; PONN & LINDEMANN 2011, S. 51]). Die hängt unter anderem damit zusammen, dass die eigentliche Definition der das Produkt beschreibenden Qualitätsmerkmale nicht unterstützt wird. Sind hingegen Bedürfnis- und Produktstrukturen prinzipiell bekannt, leistet die Systematisierung des Zusammenhangs zwischen Qualitätsmerkmalen und Forderungen einen großen Mehrwert. Dennoch muss in diesem Zusammenhang die Frage gestellt werden, wie das technische Benchmark in dem Falle erfolgt, wenn sich das Konkurrenzprodukt über gänzlich andere Qualitätsmerkmale definiert und dennoch die gleichen Forderungen anspricht.

¹⁴⁴ Ein Nachteil kleiner Matrizen ist nach TAKAI & KALAPURACKAL [2012] allerdings eine größere Abhängigkeit der Ergebnisse von gewählten Gewichtungs- und Berechnungsschemata.

¹⁴⁵ Beispielsweise die Erfassung und Gewichtung von Kundenanforderungen BAUMBERGER [2007, S. 87], die kreative Konzeptentwicklung sowie die Generierung früher alternativer Grobkonzepte, oder die Definition technischer Zielwerte und deren Gewichtung [SCHMIDT 1997].

4.4.2 Relevante Defizite und Potenziale für eine modulzentrierte Perspektive

Die Hauptzielsetzung der Kundenorientierung führt nach LESMEISTER [2001, S. 17 ff.] häufig zur Vernachlässigung anderer Forderungen, insbesondere Selbstverständlichkeiten (latente Anforderungen) oder Sicherheitslücken. Auch lösungsbedingte Anforderungen (Constraints) finden keine Berücksichtigung. Damit verbunden ist ein weiterer häufiger Kritikpunkt, nämlich die mangelnde Nutzung der im Dach des HoQ identifizierten **Korrelationen der Qualitätsmerkmale** im weiteren Entscheidungsprozess (z. B. [LESMEISTER 2001, S. 17; BAUMBERGER 2007, S. 87]). Dies spiegelt sich auch in der **isolierten Betrachtung (je Qualitätsmerkmal) der technischen Umsetzungsschwierigkeit** wider¹⁴⁶, wodurch ebenjenes Wissen über Korrelationen und Zielkonflikte zwar aufgenommen, aber nicht explizit genutzt wird – beispielsweise durch die Berücksichtigung negativer Auswirkungen der Umsetzung eines Qualitätsmerkmals in deren Bewertung, die bislang ausschließlich auf Basis der Kundenbedeutung sowie der isolierten technischen Schwierigkeit stattfindet.

MAI [1998, S. 38] kritisiert die durch die Methodik suggerierte Geradlinigkeit des Entwicklungsprozesses. **Vervollständigungen** oder **Aktualisierungen** von Planungsvorgaben, welche aufgrund der entwicklungsbegleitend abnehmenden Unsicherheiten, sowie damit einhergehender Anforderungsänderungen notwendig seien, seien nicht ausreichend integriert. Eine prozessuale Anleitung für die Füllung der Bereiche und die Informationshandhabung im Allgemeinen sei nicht gegeben, obwohl der Umgang mit verschiedenen Reifegraden der Informationen (beispielsweise über Kommentierungen oder Farbcodierungen) prinzipiell befähigt wird [DANNER 1996, S. 56]. Ähnlich gilt es die **kritikalitätsgesteuerten Filtermechanismen** zu hinterfragen – besonders im sequenziellen MAKABE-Vorgehen. Wie kann sichergestellt werden, dass Qualitätsmerkmale, welche der Komponentenplanung nicht als kritisch zugeführt werden, nicht Ursache für gravierende Herausforderungen in der Produktionsphase sind?

SCHMIDT [1997] bemängelt die Linearität bei der Transformation der Forderungen in Qualitätsmerkmale und die damit einhergehende **Additivität** der Modellerstellung. Dies suggeriere einen real **nicht vorhandenen Kompensationszusammenhang** zwischen den Kundenanforderungen, wodurch beispielsweise Ausschlusskriterien nicht als solche behandelt würden. Ebenso setzen die Berechnungen, in die die Gewichtungen von Forderungen sowie die Stärke deren Beeinflussung durch Qualitätsmerkmale einfließen, eine **Unabhängigkeit der Forderungen** voraus, ohne diese jedoch konkret einzufordern (geschweige denn zu erwähnen, wie diese hergestellt werden kann). Auch ist die Angabe von **Korrelationsstärken vollkommen statisch**, wodurch ignoriert wird, dass die eigentliche Wirksamkeit stark von anderen Aspekten abhängen, wie der durch den Zielwert angestrebten Ausprägung(sdifferenz) des Qualitätsmerkmals, der Zielwerte für korrelierende Merkmale oder (im Falle von Komponentenmerkmalen) von den Merkmalen anderer, korrespondierender Komponenten des Systems¹⁴⁷.

¹⁴⁶ Nach SAATWEBER [1997, S. 137] erfolgt die Definition von Zielwerten gar noch gänzlich ohne Berücksichtigung der technischen Machbarkeit. Bezüglich der Machbarkeitsüberprüfung bleibt es bei dem Hinweis, dass diese später im Abgleich mit anderen Verbesserungsschritten erfolge, ohne dass darauf näher eingegangen wird.

¹⁴⁷ Vgl. das im Rahmen dieser Arbeit geschärfte Phänomen ineffektiver Beitragsanteile (Kapitel 6.4.4).

Ein essenzieller Aspekt, über den nicht ausreichend Klarheit geschaffen wird, stellt weiter die **eindeutige Charakterisierung der formal differenzierten genutzten Domänen** dar. So mangelt es beispielsweise an Empfehlungen oder Einschränkungen, an welchen **Eigenschaftstypen** (vgl. Kapitel 3.3) sich die Formulierung von Qualitätsmerkmalen oder Forderungen orientieren sollte. Dies führt selbst in der etablierten Literatur zu teilweise eklatanten Unterschieden in den Bezeichnungen der Domänen und der Eigenschaften. So ist im „Masing Handbuch Qualitätsmanagement“ von Funktionen¹⁴⁸ anstatt Qualitätsmerkmalen die Rede [BOUTELLIER & BIEDERMANN 2014], während IBUSUKI & KAMINSKI [2007] von Leistungspezifikationen sprechen und TEMPONI ET AL. [1999] von technischen Anforderungen. Dabei bleibt grundsätzlich unbekannt, ob diese Entscheidungen bewusst getroffen wurden, und – falls dem so sei – basierend auf welchen Motiven.

Dies trifft auch auf DEUBEL [2007, S. 115 f.] zu, der seinen VDD-Ansatz (**Value-Driven-Development**) im Rahmen der Evaluation anhand eines Anwendungsbeispiels einem Vergleich zum QFD unterzieht. Da die Differenzierung in Merkmale und Eigenschaften (nach dem CPM/PDD-Ansatz von WEBER [2005]) eine elementare Perspektive seiner Arbeit darstellt, überträgt er diese auf die QFD-Domänen (behandelt also Anforderungen als Eigenschaften und Qualitätsmerkmale als Merkmale), ohne dies jedoch zu argumentieren beziehungsweise zu hinterfragen. Da diese definierten Konventionen bei der Instanziierung letztlich nicht konsequent eingehalten werden, lassen sich leider keine Rückschlüsse dahingehend ziehen, ob eine solche Belegung der Domänen vorteilhaft ist. Wie in Kapitel 3.3 gezeigt, ist ein **klares Verständnis gehandhabter Eigenschaftstypen** jedoch gerade für die Frage der Abschätzbarkeit von Einflussstärken zwischen Eigenschaften unabdingbar. Die explizite und zweckorientierte Nutzung der Kenntnisse bezüglich verschiedener Eigenschaftsklassifikationen im QFD-Kontext muss bislang als sehr schwach ausgeprägt bewertet werden.

Im methodisch-spezifischen Bereich des QFD bestätigt sich das bereits im Rahmen der allgemeinen Entwicklungsansätze der Systemtechnik identifizierte Defizit der **Unterstützung einer klaren modulzentrierten Perspektive**. Dies deckt sich mit der Sichtweise von DANNER [1996, S. 91], der QFD als konsequent an einer Top-Down-Entwicklung des Produkts ausgerichtete Methode zur Aufschlüsselung dessen Beziehungsnetzes aus qualitätsorientierter Sicht beschreibt. In der Folge wird auch im QFD die Planung einzelner Module lediglich als Teilaspekt der übergeordneten Produkt- oder Systemplanung im Rahmen der Komponentenplanung¹⁴⁹ adressiert. Die Möglichkeit, das Modul selbst als System auf oberster Ebene aufzufassen, und durch etablierte QFD-Ansätze zu planen, scheitert daher bislang daran, dass weder die Einbindung in ein übergeordnetes System, noch die Beeinflussung der Systemeigenschaften abbildbar sind – ganz zu schweigen von der Varianz dieser Einflüsse im Falle variierender Gesamtsysteme.

¹⁴⁸ Im AKAO-Ansatz werden Funktionen wiederum als eigene Domäne gehandhabt.

¹⁴⁹ Hinsichtlich der von DANNER [1996, S. 90 ff.] geforderten Integration von „herunterprojizierten Anforderungen“ und spezifischen Komponentenanforderungen aus Kundensicht bewertet SCHMIDT [1997] wiederum die Berücksichtigung der Kundenanforderungen auf dieser Ebene als defizitär.

5. Folgerungen und Handlungsbedarf

5.1 Prinzipieller Handlungsbedarf aus der Konsolidierung der Forschungslücke

Wie in Kapitel 2 ausführlich hergeleitet, stellen Innovationen komplexer Kernmodule ein essenzielles Handlungsfeld vieler Unternehmen insbesondere im Anlagenbau dar. Die strategische Relevanz dieser systemhierarchischen Innovationsebene resultiert häufig aus einer starken Einschränkung des realen Handlungsspielraums für top-down initiierte Innovationen auf Systemebene. Dieser Relevanz folgend wurde als Teil der deskriptiven Studie dieser Arbeit die Frage in den Mittelpunkt gestellt, **inwiefern die Einnahme einer expliziten modulzentrierten Perspektive in bestehenden Ansätzen der Produktentwicklung Berücksichtigung findet**, wobei die Qualitätsorientierung einen Schwerpunkt der Betrachtung darstellte. Letztere zielt auf eine hohe Effektivität ab, im Sinne des Erreichens eines den Forderungen bestmöglich entsprechenden Eigenschaftsgefüges bei der Umsetzung von Innovationen. Stellt das einzelne Modul das konkrete Objekt der Entwicklung dar – so die Grundhypothese dieser Arbeit – so **erfordert eine adäquate Qualitätsorientierung auch die spezifische Schaffung von Transparenz aus einer modulzentrierten Perspektive**. Dies schließt sowohl die aus seiner systemtechnischer Rolle resultierenden Aggregationsmechanismen seiner Eigenschaften ein (inklusive deren Überlagerungen durch die Zugehörigkeit des Moduls zu verschiedenen möglichen Gesamtsystemen), als auch die Wahrnehmungsebenen, welche durch die verschiedenen Perspektiven der Stakeholder des Wertschöpfungsnetzwerks entstehen.

Die Untersuchung der dargestellten Frage aus verschiedenen **Blickwinkeln der Systemtechnik**¹⁵⁰ bestätigte die Eingangshypothese, dass die Betrachtung und Unterstützung von Problemstellungen, bei denen das einzelne Modul im Zentrum des Interesses steht und die Entwicklung desselben projektorganisatorisch abgekoppelt von der Entwicklung des zugehörigen Gesamtsystems stattfindet, stark unterrepräsentiert ist beziehungsweise überhaupt nicht erfolgt. Diese Schlussfolgerung ergibt sich aus der Konsolidierung der in den Kapiteln 3 und 4 gezogenen Zwischenfazits.

Durch das Fundament der Systemtechnik stellt das Modul als Element der Systemstruktur und Ergebnis der Dekomposition zwar ein zentrales Konstrukt innerhalb sämtlicher Perspektiven dar. Das Ideal des Top-Down-Vorgehens und des innerhalb diesem proklamierten ganzheitlichen Problemverständnisses ist in der Theorie jedoch so fest verankert, dass die darauf aufbauenden Vorgehensmodelle und Methoden durchgängig von der Annahme ausgehen, dass die Möglichkeiten der Gestaltung und das Gestaltungsinteresse sich stets auf das Gesamtsystem beziehen. Dies gilt für das einzelne technische System im Rahmen der Ansätze zur Produkt- oder Systementwicklung, aber auch für ganze Produktfamilien im Rahmen von Modularisierungsansätzen: Infolge der zentralen und wachsenden Bedeutung

¹⁵⁰ Allgemeine Systemtheorie, Systemarten der Sach-, Handlungs- und Zielsysteme, Systemarchitektur und Modularisierung, Eigenschaften auf System- und Modulebene und deren Abhängigkeiten, Module im Innovationskontext sowie Module im Kontext entwicklungsmethodischen Vorgehens.

zielgerichteter Modularität ist der **Gestaltung von Modularität (Modularisierung)** viel Aufmerksamkeit gewidmet worden. **Methoden zum Umgang mit gestalteter oder bestehender Modularität** als Rahmenbedingung planerischen und entwicklerischen Handelns auf Ebene einzelner Module sind aus diesem Forschungsbereich jedoch nicht hervorgegangen.

Vor dem Hintergrund dieses Idealbilds werden Modulinnovationen – wenn überhaupt – meist aus der Perspektive des Vergleichs heraus mit den theoretischen Möglichkeiten einer Top-Down-Betrachtung bewertet und gegenüber dieser als suboptimale Möglichkeit der inkrementellen Systemverbesserung angesehen. Dadurch wird allerdings eine explizite Hinterfragung der **Verfügbarkeit realer Handlungsspielräume bezogen auf die unterschiedlichen systemhierarchischen Innovationsebenen eines Unternehmens** vernachlässigt. In Konsequenz wird die Modulentwicklung als eigenständige Entwicklungsaufgabe mit veränderten Randbedingungen, Fragestellungen und Schwerpunkten innerhalb von Vorgehensmodellen und unterstützenden Einzelmethoden nicht adressiert. Die etablierte Sichtweise verschließt sich damit der realen Relevanz des Handlungsfelds von Modulinnovationen, welche unter den Randbedingungen zahlreicher Industrien – insbesondere des Anlagenbaus – den einzig praktisch verfügbaren Hebel zur Sicherung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit darstellt.¹⁵¹ Unter diesen Voraussetzungen ist es von begrenztem Mehrwert, sich mit der Frage auseinanderzusetzen, ob die theoretisch erreichbare Systemoptimalität besser über ganzheitliche Top-Down-Ansätze oder über Schrittweise Innovationen auf Modulebene anzustreben ist. Wenn real nur letztere umsetzbar sind, kann – trotz theoretischer Nicht-Optimalität – ein praktischer Mehrwert nur über die Frage erreicht werden, wie die spezifische Perspektive der Modulentwicklung bestmöglich in einem methodischen Vorgehen unterstützt werden kann.

Hierzu sind Ansätze erforderlich, die die **Prinzipien des Systemdenkens** durch die Einnahme einer spezifischen **modulzentrierten Perspektive** übersetzen. Wie in Kapitel 3.1.4 argumentiert, erfordert dies, die Möglichkeiten der Über- und Untersystembetrachtung ausgehend von jeder beliebigen Ebene des Systems konsequent umzusetzen (vgl. Abbildung 1-1). Die Perspektive der Modulentwicklung (mit dem Modul als zu gestaltendes „System“) steht damit nicht im Widerspruch zur Top-Down-Vorgehensweise, sondern ist vielmehr die Folge eines abweichenden Einstiegspunkts mit abweichenden bzw. ergänzenden Herausforderungen. Beispielsweise wird die gedankliche Einbettung von Modulen in den Kontext des Gesamtkonzepts im Systems Engineering ausgehend von der Situation beschrieben, dass diese im Projektkontext der Gesamtsystementwicklung als direktes Ergebnis der dort durchgeführten Dekomposition stattfindet.¹⁵² Wie verändern sich jedoch die Herausforderungen bei der gedanklichen Einbettung, wenn eine Gesamtsystemdekomposition als Ergebnis jahrzehntelanger Architekturrevolution

¹⁵¹ Dadurch muss im Grunde gar die Ganzheitlichkeit der reinen Top-Down-Sichtweise infrage gestellt werden. Diese betrachtet zwar die technische Problemstellung ganzheitlich, erkennt jedoch Einflüsse auf deren Lösbarkeit, die beispielsweise aus etablierten Strukturen und Interaktionsformen zwischen den beteiligten Stakeholdern resultieren, nicht als Teil des Entwicklungsproblems an. Vgl. hierzu Kapitel 3.1.3 und 3.1.4 bzgl. der Implikationen der Hierarchieebene auf Sach-, Handlungs- und Zielsysteme sowie deren Abhängigkeiten.

¹⁵² Nach HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 139] sollten Lösungen schon im Entwurfsstadium zu Ende gedacht werden. Dafür müssen sie wiederholt in das Problemfeld eingebettet werden, damit eine Beurteilung möglich ist, ob im Lösungssystem tatsächlich die angestrebten Veränderungen bewirkt werden, oder ob unerwünschte – noch vermeidbare – Nebenwirkungen eintreten können, an die man bisher nicht dachte.

bereits – als kaum beeinflussbare Randbedingung – vorliegt, oder wenn verschiedene Architekturen mit dem weiterzuentwickelnden Modul bedient werden sollen? Welche Auswirkungen hat dies auf die Relevanz bestimmter Eigenschaften und Ausprägungen?

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur **Schließung der dargestellten Perspektivlücke** zu leisten, wobei der Schwerpunkt auf die Unterstützung der qualitätsorientierten Planung und Entwicklung komplexer Module gelegt wird. Im Speziellen sollen dafür die **systemtechnischen Besonderheiten der modulzentrierten Perspektive im Anlagenbau** auf die Grundidee des **Quality Function Deployment** übertragen werden. Ausschlaggebend für den gewählten Fokus auf die Methodik des QFD sind die in Kapitel 4.3.1 konsolidierten Hauptgründe zu nennen:

- QFD stellt eine **ganzheitliche Methodik** dar, die in sämtlichen Phasen des Produktplanungs- und Entwicklungsprozesses die Aufschlüsselung des entstehenden Beziehungsnetzes aus qualitätsorientierter Sicht unterstützt, und zu einer umfassenden Problemsicht und dem Lösen von Zielkonflikten beiträgt.
- Bei der Methodik steht die Effektivität des Erreichens eines im Sinne der Qualitätsdefinition **optimalen Eigenschaftsgefüges** klar im Vordergrund, wobei dieses Ziel von der Aufgabenklärung und -strukturierung an verfolgt wird, was über die Transparenzschaffung in sämtlichen Analyse- und Syntheseschritten erfolgen soll.
- Der Umgang mit mehreren **systemhierarchischen Ebenen** ist fester Bestandteil der Methodik, wodurch ein expliziter **Bezug zur Systemarchitektur** besteht.
- Die Stärken von QFD werden insbesondere im Anwendungskontext von **Weiterentwicklungen**¹⁵³ gesehen, was sich vor allem auf die Existenz von Referenzlösungen in Form von Vorgängermodellen oder Konkurrenzprodukten bezieht. Durch das Vorliegen verfestigter Systemarchitekturen und Module, sowie die für etablierte Industrien relativ hohe Transparenz bezüglich eines Großteils der Anforderungen, sowie der diese bedienenden Merkmale, wird dieser Schwerpunkt im betrachteten Anwendungskontext unterstützt.
- Die flexible Anpassbarkeit der Methodik stellt nicht nur einen optional nutzbaren Vorteil dar – die **Anpassung an industriespezifische** Randbedingungen wird sogar streng gefordert.

Allerdings spiegelt sich – wie in den meisten, auf Prinzipien der Systemtechnik zurückgreifenden Methoden – auch in der Methodik QFD die ausgeprägte Ausrichtung an dem Ideal der Top-Down-Entwicklung respektive der Gesamtsystembetrachtung wider. Der im Folgenden dargelegte **konkretisierte Handlungsbedarf** basiert demnach auf der Überlagerung der Teilzielsetzungen, die Einnahme einer expliziten modulzentrierten Perspektive auf Basis systemtechnischer Überlegungen einerseits generell zu ermöglichen, und andererseits die Potenziale des QFD in spezifischen Modulplanungs- und Entwicklungsprojekten nutzbar zu machen, und die QFD-Ziele an diesen Kontext anzupassen.

5.2 Notwendige Grundausrichtung eines modulzentrierten QFD

Bezüglich einer umfassenden Adaption der Methodik QFD zur expliziten Ausrichtung an der Perspektive und den Erfordernissen der Entwicklung komplexer, multifunktionaler

¹⁵³ Hierzu sind jedoch dringend die in Teilfazitkapitel 3.4.3 gezogenen Schlussfolgerungen zu beachten.

Kernmodule, sollen im nächsten Unterkapitel Handlungsfelder und -schwerpunkte detailliert werden. Um dies zielgerichtet zu ermöglichen, werden dafür in diesem Abschnitt die notwendige **Grundausrichtung** einer solchen Methodik dargelegt (in der initialen Form publiziert in [HERBERG & LINDEMANN 2013]), sowie wichtige **Abgrenzungsaspekte** geklärt.

Es wird ein klar abgegrenzter Bereich innerhalb der möglichen **Innovationsfelder** eines Unternehmens adressiert. Der Fokus auf **Modulinnovationen** wurde eingangs ausführlich mit einem oftmals auf dieser systemhierarchischen Innovationsebene vorherrschenden, wesentlich größeren realen Handlungs- und Gestaltungsspielraum für entwickelnde Unternehmen insbesondere der Bereiche Anlagenbau und Investitionsgüter motiviert. Im Gegensatz zur Systemkonfiguration und -entwicklung erfolgt die **Zielbildung** für Modulinnovationen typischerweise **kundenbeziehungsweise auftragsneutral**.¹⁵⁴ Der betrachtete Anwendungsbereich ist zudem mit dem Vorliegen **etablierter Systemarchitekturen und inkrementeller Weiterentwicklungen** sowohl jener etablierter Architekturen als auch der ausgeprägten Module charakterisiert (vgl. Abbildung 2-3). Da es sich im Allgemeinen um hochspezifizierte Technologien mit klarem Zweckbezug handelt, stellt das Eindringen in neue Märkte¹⁵⁵ keinen strategischen Schwerpunkt dar. Innovationsstrategisch steht die langfristige Sicherung des Kerngeschäfts, also – im klassischen Verständnis von ANSOFF [1957] – die weitere *Marktdurchdringung* sowie die *Produktentwicklung* im Vordergrund, wobei der **Erhalt profitabler Kunden und Einsatzbereiche** für das Unternehmen das Ziel konstanter Innovationen darstellt [GERST 2002, S. 47].

Der Kern des im Rahmen dieser Arbeit abgeleiteten Handlungsbedarfs besteht darin, das Modul als zentrales Entwicklungsobjekt zu begreifen, und dies zugleich als eigenständiges System sowie in seiner Rolle als Eigenschaftsträger eines übergeordneten Gesamtsystems (beziehungsweise im Falle multifunktionaler Kernmodule unterschiedlicher relevanter Gesamtsysteme). Der Aufschlüsselung von „abwärts gerichteten“ Abhängigkeiten innerhalb des zu entwickelnden Moduls (Untersystembetrachtung), die gemäß der Top-Down-Sichtweise im klassischen QFD stattfindet, soll daher ein **differenzierter „Blick nach oben“** (in die nicht im Rahmen des gleichen Entwicklungsprojekts gestaltbaren, aber zur Bewertung notwendigen Systembereiche) zur Seite gestellt werden. Dadurch wird der Bedarf einer **essenziellen Aufwertung der Übersystembetrachtung** adressiert. Entwicklungen auf System- und Portfolioebene werden als primär zu berücksichtigende Kontextfaktoren betrachtet. Eine direkte Beeinflussbarkeit dieser über die Methodik soll als Konsequenz der Akzeptanz ihres Nichtvorhandenseins nicht stattfinden.¹⁵⁶

Hinsichtlich der **betrachteten QFD-Domänen** erfolgt eine Konzentration auf das **Modul als eigentliches Gestaltungsobjekt** mit seinen Eigenschaften und Abhängigkeiten in der Unter-

¹⁵⁴ Diese relativ eindeutige Zuordnungstendenz für die Zielbildung – kundenspezifisch auf Systemebene, kundenneutral auf Modulebene – hat keine generelle Gültigkeit. In anderen Branchen können auch beide Zielbildungsarten auf derselben systemhierarchischen Innovationsebene vorliegen (vgl. hierzu GERST [2002, S. 45 ff.]) oder es kann eine Reduktion auf kundenneutrale Zielbildung vorliegen (z. B. Konsumgüter).

¹⁵⁵ Im Sinne von Anwendungsbereichen einer Technologie

¹⁵⁶ Es muss selbstverständlich davon ausgegangen werden, dass das gänzliche Fehlen von Gestaltungsmöglichkeiten ein übertriebenes Szenario darstellt. Dennoch wird diese Abgrenzung definiert, um die Eindeutigkeit des Zielbereichs der Methodik zu wahren.

und Übersystembetrachtung. Die Gestaltungsdomänen der Produktionsprozesse und -systeme, welche Bestandteil der klassischen umfassenden QFD-Ansätze sind, liegen außerhalb des Betrachtungsbereichs der Methodikentwicklung dieser Arbeit.

Die hohe Komplexität der Module, Systeme und Anwendungsprozesse erfordert in erster Linie die **Schaffung von Transparenz** als Voraussetzung erfolgreicher Qualitätsorientierung. Auch marktseitig wird dieser Fokus honoriert, da der **Beherrschung der Abhängigkeiten** im Zuge kleinerer funktionaler oder anwendungsbereichsbezogener Weiterentwicklungen ein höherer Stellenwert zu kommt, als der Entwicklung neuartiger Ideen, deren Umsetzung das Risiko unbeherrschter Wirkungen auf das Gesamtsystem bergen. Die Unterstützung von Systemanalyse und -synthese zielt daher auf die **Identifikation und Behebung von Schwachstellen sowie die Konsolidierung des Eigenschaftsgefüges im Rahmen bekannter Merkmale und Eigenschaften** ab, und nicht auf ein prioritätsgetriebenes Vorgehen hinsichtlich neuartiger Lösungsmerkmale und Funktionen.¹⁵⁷ Durch die Konstellation der Verwendung kundenneutral zu entwickelnder Module im Rahmen von kundenspezifischen Aufträgen auf Gesamtsystemebene steht für das adaptierte, QFD-basierte Vorgehen nicht die individuelle Ausrichtung an einem Kunden (oder statistisch gemittelten Kundenbedürfnissen) im Vordergrund. Als weiterer Aspekt der Transparenz, wird vielmehr die Überprüfbarkeit des Eigenschaftsgefüges und dessen **Akzeptanz aus Sicht unterschiedlicher Stakeholder** angestrebt, deren wirtschaftliche oder funktionale Interessen potenziell mit dem System im Zusammenhang stehen.¹⁵⁸

Die Transparenz bezüglich der multiplen Wirkungen des entstehenden Eigenschaftsgefüges bietet eine gemeinsame Basis für **abteilungsübergreifende, interdisziplinäre Entwicklungsarbeit**. Nach AKAO [1990, S. 53 f.] tragen die transparenzschaffenden Matrixensystemen des QFD essenziell zu diesem Ziel bei. Durch die Dokumentation der zahlreichen Relationen, werden verzerrte Entscheidungen, die auf einem „Black-Box“-Denken basieren und gegebenenfalls von meinungsstarken Teammitgliedern durchgesetzt werden, vermieden, und – auch langfristig wirkende – **Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen** hergestellt. Dies ist im Sinne von HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 278] zu verstehen, die den Mehrwert bewertungs- und entscheidungsunterstützender Modelle in der Möglichkeit einer **Begründung für Entscheidungsvorschläge** sehen, die allen Beteiligten zugänglich gemacht wird, und nicht in einer scheinobjektivierten Entscheidung *auf Knopfdruck*. Durch dargestellte Zusammenhänge soll zwar **auf lokale Abhängigkeiten quantitativ fokussiert** werden können, ein quantitatives Gesamtmodell zu Optimierungszwecken auf Basis einer absoluten Lösungsgüte wird jedoch bewusst nicht angestrebt.¹⁵⁹ Da diese Arbeit jedoch im Kern darauf abzielt, die systemtechnischen Besonderheiten der Modulentwicklung abzubilden und diese exemplarisch auf die

¹⁵⁷ Der im Rahmen der klassischen QFD-Ansätze essenzielle Priorisierung bezieht sich außerdem maßgeblich auf die in der Untersystembetrachtung detaillierten Subsysteme sowie die weiteren, hier nicht betrachteten Domänen der Produktionsprozesse und -systeme.

¹⁵⁸ Dadurch fokussiert die Analyse des Handlungsbedarfs nicht die Problematik optimaler Gewichtungskoeffizienten, deren Betrachtung beispielsweise Gegenstand des Sonderforschungsbereichs 696 ist [REFFLINGHAUS 2009].

¹⁵⁹ Womit eine Relativierung des von SCHMIDT [1997, S. 296] bemängelten, bereits auf Seite 120 beschriebenen, Kompensationseffekts zwischen den Anforderungen für die zu entwickelnde Adaption der Methodik gegeben ist.

QFD-Methodik zu übertragen, stellt der Einfluss auf die **Informationshandhabung innerhalb der Matrizen** den Kernbetrachtungsbereich der QFD-Adaption dar. Die Auswirkungen auf die QFD-gestützte Koordination sämtlicher relevanter Unternehmensfähigkeiten ist nicht Gegenstand der Betrachtung.

5.3 Strukturierung der Handlungsschwerpunkte

Grundlage der nachfolgend detaillierten **Handlungsschwerpunkte** stellt der in Teilkapitel 5.1 aus der integrierten Analyse der betrachteten Bereiche konsolidierte, übergreifende Handlungsbedarf dar, für eine zielgerichtete Nutzbarkeit der Potenziale des QFD in spezifischen Modulplanungs- und Entwicklungsprojekten, dessen Grundkonzept mit den systemtechnischen Besonderheiten einer modulzentrierten Perspektive in Einklang zu bringen. Dafür werden insbesondere die in Teilfazit 4.4 zusammengefassten Defizite und Potenziale des QFD mit spezifischer Relevanz für die Modulperspektive und den zu entwickelnden Lösungsansatz aufgegriffen. Die Ableitung der Handlungsschwerpunkte erfolgte über folgende Schlussfolgerungsarten:

- Allgemeine, ansatzneutrale Defizite bezüglich der Möglichkeit der Einnahme einer expliziten modulzentrierten Perspektive.
- Infolge der Auswahl des QFD als grundlegend anzupassende Methodik – aufgrund ihrer prinzipiell angenommenen Tragfähigkeit bezüglich der Adaption an die Problemstellung – an diese selbst gerichtete Modifikationsbedarfe für die angestrebten Zielkonsistenz.
- Aus der Konzeption und Schärfung des Lösungsansatzes heraus identifizierte Potenziale (bzw. Schwachstellen), deren Nutzbarmachung (bzw. Umgang) als zusätzliche Handlungsbedarfe aufgenommen wurden.
- Durch die geänderte Schwerpunktsetzungen und Modifikationen entstehende Möglichkeiten, mit allgemeine Schwach- und Kritikpunkten des QFD umzugehen.

Die abgeleiteten Handlungsschwerpunkte werden nachfolgend in 4 Handlungsfelder eingeteilt:

1. Handlungsfeld *Systemtechnik / modulzentrierte Perspektive*
2. Handlungsfeld *Schwerpunkte und Funktionalitäten der Methodik*
3. Handlungsfeld *Prozessuale Unterstützung*
4. Handlungsfeld *Anwendungs- und Implementierungserfolg*

Im Folgenden werden die einzelnen Handlungsfelder und zugehörigen Handlungsschwerpunkte vorgestellt.

5.3.1 Handlungsfeld 1: Systemtechnik / modulzentrierte Perspektive

Das für diese Arbeit zentrale Handlungsfeld der Systemtechnik bezieht sich auf die erforderlichen Aspekte, die eine den Problemkontext repräsentierende, modulzentrierte Perspektive, aufweisen muss, aber in der allgemeinen, dem Top-Down-Ideal folgenden Sichtweise nicht verkörpert sind. Der beschriebene Problemkontext fokussiert die Modulentwicklung als vom Projektkontext der Systementwicklung losgelöstes, eigenständiges Planungs- und Entwicklungsproblem. Im Rahmen der Top-Down-Systementwicklung resultieren die Anforderungen an ein Modul aus dem Prozess der schrittweisen Auflösung der Systemanforderungen und deren Projektion auf systemhierarchisch niedrigere Ebenen. Zu Beginn wird dabei in der

Übersystembetrachtung primär die angestrebte Interaktion zwischen Gesamtsystem und Umwelt geklärt – das technische Gesamtsystem liegt vollständig im Gestaltungsbereich und wird in der Untersystembetrachtung gefasst. Bei diesem durchgängig dekompositionsgetriebenen Vorgehen werden parallel die Anforderungen der anderen Module auf gleicher Ebene definiert. Grundsätzlich besteht dabei außerdem die Möglichkeit, auf die Erkenntnisse und Auswirkungen der Entscheidungen auf Modulebene – und das sich dadurch ergebende Gesamtbild – durch Korrekturen auf Systemebene beziehungsweise Anpassung anderer Module zu reagieren (vgl. Abbildung 3-13).

Im Kontrast dazu – jedoch klar zu differenzieren vom Bottom-Up-Ansatz als Inversion des Top-Down-Ansatzes, dessen Gestaltungsbereich sich ebenfalls auf das Gesamtsystem erstreckt – bedeutet der systemhierarchische Einstiegspunkt bei Modulinnovationen (Abbildung 5-1),

- dass die Anforderungen an das Modul nicht im Rahmen des Dekompositionsprozesses des Gesamtsystems abgeleitet werden,
- dass die Korrektur- und Anpassungsmöglichkeiten in modulumgebenden Systembereichen im selben Projektkontext nicht vorliegen,
- dass die Übersystembetrachtung nicht auf die Systemumwelt, sondern vor allem auf das technische, dem Modul übergeordnete System fokussieren muss, und darauf, ob dessen Eigenschaften in gewünschter Weise beeinflusst werden und welche weiteren Wirkungen auf das System entstehen.
- dass die Übersystembetrachtung dabei der Multiplizität desselben folgen muss.

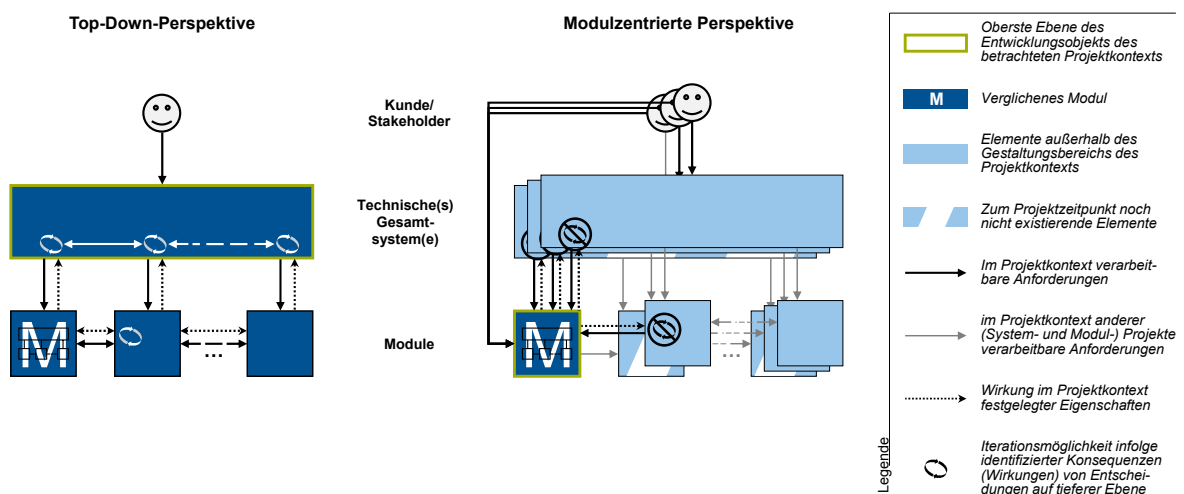


Abbildung 5-1: Spezifika der modulzentrierten gegenüber der Top-Down-Perspektive (vgl. auch Abbildung 1-1)

Einen essenziellen Handlungsschwerpunkt stellt dadurch die **Integration einer vollwertigen Übersystembetrachtung** [HS1.1] dar, welche ausgehend von jeder systemhierarchischen Ebene einen problem-adäquaten „Blick nach oben“ erlaubt. In der Untersystembetrachtung (aus Modulperspektive) ergeben sich hingegen keine essenziellen Unterschiede in der systemtechnischen Sichtweise. Das Modul selbst wird als System dekompositionsbasiert entwickelt.

Eine weitere Konsequenz daraus, das Modul nicht als im Rahmen eines Systementwicklungsprojekts entstehender Bestandteil eines singulären Systems zu sehen, sondern als Teil eines

Modulportfolios, welches die Konfigurationsbasis für verschiedene Gesamtsysteme darstellt, führt zum zweiten Handlungsschwerpunkt: Im adressierten Problemkontext der Weiterentwicklung etablierter Kernmodule komplexer Anlagen bedarf die Übersystembetrachtung der Berücksichtigung **multipler übergeordneter Systeme** [HS1.2]. Dies bezieht sich einerseits auf verschiedene mögliche Gesamtsysteme und Architekturen. Andererseits kann auch innerhalb desselben Gesamtsystems die Untersuchung der Rolle eines Moduls innerhalb verschiedener Modulgruppen erforderlich sein, die sich beispielsweise aus Sicht technischer Hauptprozesse, unterschiedlicher Sicherheitszonen oder der Zugehörigkeit zu Stoff-, Signal- oder Energiekreisläufen ergeben. Aus diesem Grund darf sich die Übersystembetrachtung nicht nur auf die physisch-geometrische Beziehungsdimension und die aus dieser resultierenden systemhierarchischen Struktur beziehen, sondern muss die **problemspezifische Abbildung verschiedener Beziehungsdimensionen** [HS1.3] integrieren. Hier kommt die in den Kapiteln 3.2.2 und 3.2.4 erläuterte Überlagerung von Strukturen unterschiedlicher Beziehungsdimensionen zum Tragen.

Die im Zusammenhang mit dem theoretisch-idealen Top-Down-Vorgehen proklamierte Gesamtsystembetrachtung impliziert, dass sich sowohl der Gestaltungs- als auch der Wirkungsbereich der Entwicklungsproblemstellung auf das Gesamtsystem beziehen. Eigenschaftsfestlegungen können auf allen Ebenen des Systems getroffen werden, um das angestrebte Verhalten auf Gesamtsystemebene zu erzeugen. Die modulzentrierte Perspektive hingegen fordert per Definition unterschiedliche Systemgrenzen des Gestaltungsbereichs (das Modul, dessen Eigenschaften im Kontext des Innovationsprojekts im Rahmen der bestehenden Randbedingungen vollumfänglich festgelegt und variiert werden kann) und des Wirkungsbereichs (übergeordnetes System, dessen Eigenschaftsbeeinflussung den zentralen Zweck der Modulentwicklung darstellt, die sich jedoch erst aus dem Zusammenwirken mit den Eigenschaften weiterer, nicht im Projektkontext beeinflussbarer Module und Teilsysteme aggregieren).

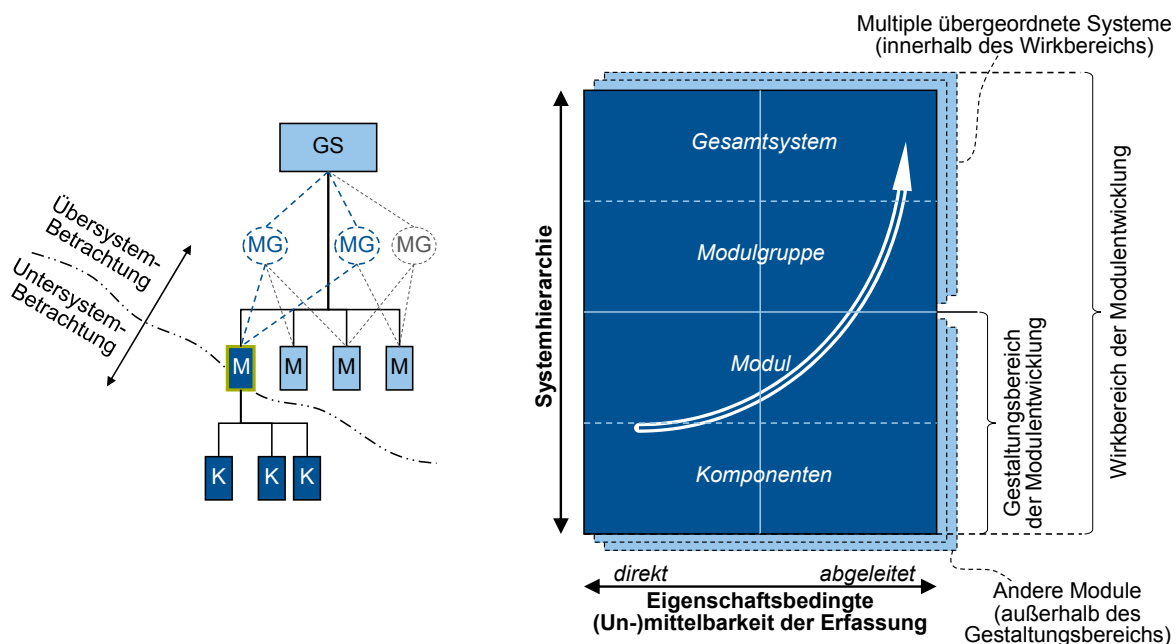


Abbildung 5-2: Eigenschaftsportfolio zur Einordnung von Aggregationsmechanismen der im Rahmen einer modulzentrierten Entwicklung zu berücksichtigenden Eigenschaften (horizontale und vertikale Aggregation).

Die klare **Differenzierbarkeit und Transparenz bezüglich Gestaltungs- und Wirkungsbereich der Entwicklung** [HS1.4] stellt daher einen weiteren wichtigen Handlungsschwerpunkt dar. Es ist zu beachten, dass die Betrachtung der Eigenschaftsabhängigkeiten im Gestaltungsbereich – der aus Modulsicht dem Bereich der Untersystembetrachtung entspricht – eine singuläre Problemstellung repräsentiert, wohingegen im Wirkungsbereich multiple Ausprägungen zu berücksichtigen sind. Die Varietät der zu berücksichtigenden Übersysteme (auf System- und Modulgruppenebene) ist dabei abhängig vom Problem sowie den verfügbaren Ressourcen.

Die hier adressierte systemhierarchische Sichtweise auf die Gestaltbarkeit von Eigenschaften auf Modulebene und die resultierenden Wirkungen im System (vgl. auch Kapitel 3.3.3) lassen sich überlagern mit den in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 behandelten eigenschaftstypologischen Sichtweisen hinsichtlich deren (un)mittelbarer Erfass- beziehungsweise Festlegbarkeit. Daraus ergibt sich ein zweidimensionales Eigenschaftsportfolio zur qualitativen Abbildung zu betrachtender Aggregationsstufen (Abbildung 5-2). Eine differenzierte Handhabung und Repräsentation der dargestellten Bereiche wird für die angestrebte Transparenz im Rahmen eines modulzentrierten Vorgehens auf Basis der Grundprinzipien des QFD als wesentliches Kriterium gesehen. Essenziell ist daher die Frage des **problemorientiert zu adaptierenden Domänenverständnisses** [HS1.5] für die einzusetzenden Matrixensysteme. Dabei müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden:¹⁶⁰

- Die Ermittlung der geforderten Eigenschaften des Kernmoduls eines komplexen Systems kann nicht aus einer reinen Kundensicht heraus erfolgen, da sich nur ein geringer Teil der Kundenwahrnehmung direkt auf die Eigenschaften des Moduls bezieht und zum Großteil auf Systemebene stattfindet.
- Im Allgemeinen kann beim Kunden nicht von einer ausreichenden Beurteilungskompetenz der Eigenschaften auf Modulebene und deren Beitrag zum Systemverhalten ausgegangen werden.
- Im Zusammenhang mit den betrachteten komplexen Systemen im Investitionsgüterbereich gibt es zahlreiche Stakeholder mit unterschiedlichsten Interessen und resultierenden Eigenschaftspräferenzen.

Im traditionellen QFD-Vorgehen dominiert der Pol der aus Kundensicht artikulierten Anforderungen als alleiniger Ausgangspunkt der Entwicklung (von diesem aus findet sodann eine Übersetzung der Qualitätsmerkmale statt, welche die technische Problemstellung repräsentieren, die anschließend in einem klassischen Top-Down-Vorgehen dekomponierend bearbeitet wird). Die modulzentrierte Perspektive im betrachteten Kontext erfordert hingegen eine wesentlich stärkere Ausrichtung am Ziel der systemtechnischen Transparenzschaffung der Eigenschaftsabhängigkeiten sowohl innerhalb des betrachteten Moduls (Untersystembetrachtung) als auch in Bezug auf den Beitrag zu relevanten Systemeigenschaften (Übersystembetrachtung), ohne jedoch eine gänzliche Anonymisierung der Kundensicht vorzunehmen, wie die beispielsweise GERST [2002] in seinem Ansatz für den Zuliefererkontext vorschlägt. Daraus ergibt sich die Zielstellung eines objektiv darstellbaren Eigenschaftsgefüges, das sich auf unterschiedlichen systemhierarchischen Ebenen aus Sicht verschiedener Stakeholder bewerten lässt. Dies erlaubt

¹⁶⁰ Vergleiche hierzu auch die in Kapitel 4.3.6 zusammengefassten Argumentationen von GERST [2002] bezüglich des verteilten Modul- und Systemwissens im Kontext von Zulieferer/OEM-Konstellationen.

einerseits einen differenzierten Umgang mit system- beziehungsweise interessenbedingten Zielkonflikten und reduziert andererseits das Risiko einer vorschnellen Vorfilterung oder Prioritätensetzung. Letztlich ist bei der Festlegung des adaptierten Domänenverständnisses auf größtmögliche Eindeutigkeit bezüglich der Zuordnung von Eigenschaftstypen zu den Domänen zu achten, um die in Teilfazitkapitel 4.4.2 adressierte Willkür, die diesbezüglich in den meisten in der Literatur zu findenden Praxisbeispielen des QFD zu beobachten ist, zu vermeiden.

5.3.2 Handlungsfeld 2: Schwerpunkte und Funktionalitäten der Methodik

Im adressierten Umfeld etablierter Industrien mit hochkomplexen Systemen, stellt weniger die Begeisterung durch neue, unerwartete Funktionen und Eigenschaften den entscheidenden Schlüssel zur Kundenzufriedenheit dar, als vielmehr die Komplexitätsbeherrschung zur Vermeidung von Kundenunzufriedenheit durch nicht berücksichtigte Basisanforderungen oder unvorhergesehene Entscheidungsauswirkungen. Daraus leitet sich – wie bereits in Teilkapitel 5.2 erwähnt – der Handlungsschwerpunkt ab, die **Transparenzschaffung als wesentlichen Aspekt der Grundausrichtung [HS2.1]** einer modulzentrierten Methodik vorzusehen. Die Betrachtung darf sich daher nicht auf gewünschte, positiv formulierte Eigenschaften beschränken, sondern muss eine Abbildung sämtlicher relevanter Eigenschaften und deren Abhängigkeiten auf einem handhabbaren Detaillierungsgrad berücksichtigen. Nur dadurch können Transparenz und Nachvollziehbarkeit im eigentlichen Sinne erreicht werden, wohingegen vorab angelegte Informationsfilter diese eher gefährden oder sogar verfälschen. Die im Teilfazitkapitel 4.4.2 angeführten Risiken bezüglich vermeintlich logischer, numerisch abgeleiteter Kennzahlen unterstützen diese Argumentation. Indikatoren sollen daher einen klaren transparenzunterstützenden¹⁶¹ Zweck haben und keine automatisierten Prozessentscheidungen auslösen. Der Transparenzfokus zielt auch auf einen flexiblen Umgang mit abzubildenden Stakeholderperspektiven ab. Deren Relevanz ist abhängig von den spezifischen Projektzielen und einer gegebenenfalls formulierten Stakeholderstrategie. Auch hinsichtlich dieser Dimension steht daher die Informationsstrukturierung im Vordergrund und keine vorgegebenen Rechenoperationen, welche eine bestimmte Strategie voraussetzen (beispielsweise die Bevorzugung eines zentralen Stakeholders).

Eine zentralere und intensivere **Nutzung der Konfliktinformationen [HS2.2]** stellt einen weiteren Handlungsschwerpunkt dar. Damit wird ein wesentlicher Kritikpunkt des traditionellen QFD aufgegriffen, der sich auf die mangelhafte Nutzung dieser aufwändig akquirierten Informationen im Sinne ungenutzter Potenziale einerseits bezieht. Andererseits wurde auf die unzulässigen Vereinfachungen hingewiesen, beispielsweise im Zusammenhang mit der Bewertung des technischen Schwierigkeitsgrads, der durch eine isolierte Betrachtung der Umsetzbarkeit einzelner Qualitätsmerkmale erfolgt und deren Wechselwirkungen nicht aufgreift. Gerade in komplexen Systemen stellt der Umgang mit diesen Abhängigkeiten häufig die entscheidende Herausforderung bei der Lösungssuche dar, die im traditionellen QFD

¹⁶¹ Transparenzschaffung wird hier im Sinne von SAATWEBER [1997, S. 34] verstanden, die die Stärke der Transparenzschaffung im Kontext des QFD in der übersichtlichen Darstellung der Informationen im House of Quality als „QFD-Landkarte“ beschreibt, die dem Auge jederzeit ermöglicht über diese zu schweifen und Verbesserungen zu erkennen.

ausgeblendet wird. Die gezielte Identifikation und Verständnisförderung potenzieller Widerspruchsbereiche, soll das Adressieren der richtigen Fragestellungen ermöglichen, um diese in die Entscheidungsfindung einzusteuern.

Durch die geplante Gleichstellung der berücksichtigten, erwartungsbezogenen Eigenschaftsklassen wird bereits der Handlungsschwerpunkt einer **vollständigeren Abdeckung des Qualitätsbegriffs** [HS2.3] adressiert, wodurch unter anderem das Risiko des Übersehens auch von Selbstverständlichkeiten reduziert wird. Auf Ebene der Ausprägungen dieser Eigenschaften muss darüber hinaus der Aspekt der Übererfüllung als besonders kontextrelevant hervorgehoben werden. Aus Sicht der Investitionsintensität liegt hierin zum einen ein erhöhtes Verschwendungsrisiko. Zum anderen werden Freiheitsgrade für andere Eigenschaften und Lösungsbereiche beschränkt, deren Identifikation und Auflösung gerade in etablierten, komplexen Strukturen Potenzial für echte Qualitätssteigerungen (im Sinne eines konsolidierten, erwartungskonformen Eigenschaftsgefüges) und zur Lösung von Zielkonflikten bietet.

Die folgenden Handlungsschwerpunkte resultieren primär aus den erst durch die Modifikationsintention entstehenden Potenzialen und Reflexionen. Vor allem die intensive Auseinandersetzung mit der Vielschichtigkeit und den Potenzialen des Themas Eigenschaftsübererfüllung wirft Handlungsbedarf hinsichtlich der Frage auf, ob die Abbildung des Beitrags der einzelnen Qualitätsmerkmale zu den geforderten Eigenschaften in absoluter, statischer Form diesem wichtigen Qualitätsaspekt gerecht wird. Ein Handlungsschwerpunkt wird daher auf die mögliche **Darstellbarkeit eines Bezugs der Eigenschaftsabhängigkeiten zu einem zum Betrachtungszeitraum vorliegenden Konzept- beziehungsweise Lösungsstadium** [HS2.4] gelegt. Eingang in die Beurteilung findet folglich nicht nur der prinzipiell vorhandene Stärke- und richtungsbehaftete Beitrag einer E_{Quelle} zu einer geforderten E_{Senke} , sondern zusätzlich – sobald im Projekt ein konkreter Lösungsbezug vorhanden ist – die Information, ob eine weitere Änderung dieser E_{Quelle} in eine bestimmte Richtung einen Effekt einer bestimmten Stärke hätte. Eine systematische Identifizierbarkeit ungenutzter Potenziale und deren Nutzung für die Ableitung und gleichzeitige Absicherung konkreter Vorschläge für gestaltungsbezogene Verbesserungsmaßnahmen versprechen einen hohen, bislang wenig adressierten Mehrwert, der auf Basis der Grundmethodik integrierbar scheint. Die **Nutzbarmachung für Änderungsabschätzungen** [HS2.5] sowie eine **stärkere Verflechtung der Methodik mit Syntheseaktivitäten** [HS2.6] stellen daher die abschließenden Handlungsschwerpunkte dieses Handlungsfelds dar.

5.3.3 Handlungsfeld 3: Prozessuale Unterstützung

Dieses Handlungsfeld adressiert die Notwendigkeit, für einen zweckmäßigen Einsatz der adaptierten Methodik und der zugehörigen unterstützenden Werkzeuge, einen konkreten Bezug zu den Nutzungs- und Wirkungsebenen in den einzelnen Phasen und diskreten Zeitpunkten des Planungs- und Entwicklungsprozesses herzustellen. Der erste Handlungsschwerpunkt stellt daher darauf ab, dass **der Ausnutzung der übergreifenden Vorteile des QFD** – Erhöhung der Transparenz und des gemeinsamen Verständnisses des Entwicklungsproblems, Förderung der Kommunikation und des Erkennens von Abstimmungsbedarfen – **die initiale Sicherstellung des gemeinsamen Verständnisses der zugrunde gelegten Modulperspektive** [HS3.1] vorausgehen, und diese daher fest im Vorgehen der Methodik verankert sein muss.

Darüber hinaus muss die Bereitstellung der unterstützenden Methodik mit konkreten Handlungsanweisungen beziehungsweise -möglichkeiten einhergehen.¹⁶² Sinnvolle Differenzierungsaspekte stellen dabei die folgenden Punkte dar:

- Unterscheidung zwischen obligatorischen Schritten und optionalen Möglichkeiten mit Kopplung letzterer an beispielhafte Problemszenarios und Gesichtspunkte.
- Unterscheidung zwischen operativen Nutzern der Methodik, welche sowohl in die Modellbildung als auch in die Modellnutzung involviert sind, und Entscheidungsträgern, welche eher einen Orientierungszugang im Rahmen größerer Entscheidungssituationen benötigen.
- Unterstützung operativer Nutzer sowohl auf Einzelpersonenebene (Orientierung des Einzelnen und Nachvollziehbarkeit seiner Schnittstellen sowie der Auswirkungsbereiche seiner Entscheidungen) als auch hinsichtlich einer nutzerübergreifenden, gemeinsam genutzten Diskussions- und Kommunikationsbasis.
- Kommunikationsunterstützung auf gleicher Verantwortungsebene im Unternehmen sowie hierarchieebenenübergreifend.

Diese Aspekte werden durch die Handlungsschwerpunkte der **prozessbegleitenden Unterstützung** [HS3.2] und der **meilensteinbezogenen Unterstützung** [HS3.3] adressiert.¹⁶³ Diese Art der durchgängigen Unterstützung zielt auf einen hohen wahrgenommenen und tatsächlichen Mehrwert der Methodik ab. Ein weiterer positiver Effekt expliziter Schnittstellen aller operativen und leitenden Projektbeteiligten zu der Methodik wird in einer Erhöhung der allgemeinen Involvierung, und damit der Akzeptanz und der Verbindlichkeit der Anwendung gesehen.

Je nach Ausgangssituation, Ziel und Stadium eines Projektes (vgl. auch [HS3.5]) ergeben sich verschiedene Konstellationen aus Untersuchungs- beziehungsweise Modellierungsobjekten, Analysesinteresse und zu wählenden Vorgehensschwerpunkten. Beispielsweise kann das Analysesinteresse sich auf die Absicherung getroffener Konzeptentscheidungen oder auf die Identifikation weiterer Gestaltungspotenziale beziehen, wobei in beiden Fällen ein Lösungsentwurf Gegenstand der Analyse wäre. Divergieren würden hingegen die für mögliche Design-Reviews kritischen Aspekte – beispielsweise in Form von abzuleitenden Kennzahlen oder Mustern – und die für deren Herausbildung nötigen Schritte. Alternativ kann die angestrebte Abbildung der qualitätsrelevanten Abhängigkeiten auf bestehende, eigene oder fremde Module

¹⁶² Durch die Bereitstellung eines durchgängigen Lösungsansatzes von der Sicherstellung des unterstützten Perspektivenverständnisses, über die Methodik und die verwendeten Hilfsmittel bis zur entsprechenden prozessualen Einbindung wird der zentraler Kritikpunkt adressiert, dass die Anpassbarkeit des QFD zwar häufig hervorgehoben wird, allerdings ein Mangel an konkreten Hinweisen zur Ausnutzung dieser Flexibilität besteht. Diesem wird im Rahmen dieser Arbeit für einen spezifischen Problembereich – auch durch die innerhalb desselben beschriebenen Flexibilitäten – begegnet.

¹⁶³ Sie greifen direkt an den von DAENZER [1989, S. 5 f.] postulierten entscheidungsrelevanten Faktoren eines erfolgreichen Systems Engineerings an: Einerseits soll entwicklungsbegleitend das Spektrum an möglichen Lösungen zwar stets breit abgesucht werden. Die nötige Effizienzorientierung erfordert jedoch gleichzeitig eine andauernde Einschränkung auf erfolgversprechende Lösungen. Hier sind also „Zwischenentscheidungen“ durch das operative Entwicklungsteam zu treffen, die keinen direkten Meilensteincharakter haben. Für weitreichende Entscheidungen mit Beschlusscharakter fordert DAENZER allerdings eine Kompetenzabgrenzung zwischen Entscheidungsträgern und Fachspezialisten. Die Methodik muss also auch eine Entwicklungsstandsrepräsentation erlauben, die es nicht in die operative Entwicklung eingebundenen Entscheidungsträgern schnell ermöglicht, entscheidungsrelevante Zusammenhänge zu erfassen.

angewendet werden, beispielsweise im Rahmen einer ganzheitlichen Schwachstellen- oder Übererfüllungsanalyse zur Ableitung von Innovationspotenzialen. Auch das Erkennen dieser Möglichkeiten und die flexible Anwendung der Methodik müssen Ziel des zu verankernden Verständnisses der spezifischen Modulperspektive sowie der prozessualen Unterstützung sein.

Die definierte Modulperspektive ist durch eine Nicht-Singularität der Problemstellung charakterisiert (vgl. Handlungsfeld 1). Insbesondere die Übersystembetrachtung erfordert die Abbildung relevanter Abhängigkeiten zwischen Modul und System für verschiedene Systeme. Aber auch die Berücksichtigung unterschiedlicher Modulgruppen, die innerhalb eines Systems differenziert werden können oder die Differenzierung von Stakeholderperspektiven stellen diversifizierend in die Problemstellung einfließende Aspekte dar. Die Ausgestaltung der prinzipiell in der Methodik enthaltenen, und durch diese hinsichtlich ihrer Zusammenhänge beschriebenen Domänen stellt also einen elementaren Schritt dar. Innerhalb der einzelnen Domänen sind die notwendige Varietät (hinsichtlich zu differenzierender Alternativen) und der sinnvolle Detaillierungsgrad projektspezifisch zu definieren. Ein Handlungsschwerpunkt stellt daher eine geeignete Bereitstellung der **Flexibilität hinsichtlich des zu definierenden Problemumfangs („Projektionsraum“)** [HS3.4] dar. Zur zielgerichteten Ausnutzung dieser Flexibilität ist die Bedeutung des in HS3.1 geforderten Fokus auf eine initiale Verständnisschaffung hinsichtlich der Modulperspektive nochmals hervorzuheben. Bestandteil dieser ist die Rolle des Projektionsraums, sowie die Auswirkungen der konkreten Belegung seiner Dimensionen. Letztere muss darüber hinaus als wesentlicher Schritt der Methodik verankert sein.

Planungs- und Entwicklungsprojekte haben unterschiedliche Entstehungskanäle, woraus sich ein weiterer – in der Theorie häufig unterschlagener – wichtiger Flexibilitätsaspekt dieses Handlungsfelds ergibt. Im Idealfall stellen Projekte das Resultat systematischer, strategischer Überlegungen dar oder sie folgen klar definierter Innovations-Roadmaps. In der industriellen Realität kommen jedoch weitere potenzielle Projektauslöser hinzu – beispielsweise unvorhergesehene Wünsche strategisch wichtiger Stakeholder; unerwartete, zu behebende (weil rufschädigende) Probleme; oder konkrete Produktideen einzelner Mitarbeiter – die nach einer aktiven Entscheidung durch entsprechende Gremien in den Status eines konkreten Projekts erhoben werden können. Jeder dieser Fälle weist sehr unterschiedliche Ausgangssituationen in Bezug auf die verfügbaren Informationen zur Problem- beziehungsweise initialen Lösungsbeschreibung auf. Dieser Varietät darf eine Methodik nicht dadurch im Wege stehen, dass sie von einer „Standardsituation“ ausgeht, sondern sie muss dieser durch ausdrückliche **Flexibilität bezüglich des Problem- / Lösungsstadiums zu Projektbeginn** [HS3.5] gerecht werden.

5.3.4 Handlungsfeld 4: Anwendungs- und Implementierungserfolg

Die in Handlungsfeld 3 adressierten Flexibilitätsaspekte haben eine große Überschneidung zum hier diskutierten Handlungsfeld der Anwendungs- und Implementierungsakzeptanz. Die Aspekte wurden zwar aus prozessperspektive diskutiert, haben jedoch ebenfalls eine große Relevanz im Zusammenhang mit den im Folgenden aufgegriffenen Ebenen der Effizienz und der Akzeptanz aus Anwender- und Managementsicht. Die primär angestrebte Wirkungsebene der Methodik ist die Steigerung der Qualitätseffektivität von Modulentwicklungen, was einen maßgeblichen Grund für die Auswahl des QFD als grundsätzlich zu adaptierende Basis darstellt. Eine gleichzeitige Effizienzorientierung ist dennoch Grundvoraussetzung für reale

Einführungschancen einer Methodik im industriellen Umfeld, welcher durch die unterschiedlichen Handlungsschwerpunkte **Anwendungseffizienz** [HS4.1] und **Langzeiteffizienz** [HS4.2] begegnet werden soll.

Gerade erstere ist im Hinblick auf den häufig mit QFD assoziierten hohen Aufwand ein entscheidendes Kriterium, das VON REGIUS [2006, S. 23] zwar aufgrund des hohen Nutzens nicht als absolutes Problem einstuft, welchem als Akzeptanz- und Motivationsbarriere jedoch dennoch adäquat begegnet werden muss. Für die Festlegung der betrachteten Problembereiche (vor allem hinsichtlich der Übersystembetrachtung und deren Multiplizität) sowie der innerhalb dieser zu akquirierenden und vernetzenden Informationen sind daher geeignete Reduktionsstrategien zu integrieren, um Umfang und Komplexität im Rahmen des Möglichen eindämmen.

Zusätzlich sind Mechanismen zu erkennen und auszunutzen, die die Wirtschaftlichkeit im Zusammenhang mit der Mehrfachanwendung über einen längeren Zeitraum adressieren, wobei die Wiederverwendbarmachung von Ergebnissen einen wichtigen Faktor darstellt. Diese kann sich sowohl auf zu etablierende Listen oder Kataloge abzufragender Elemente beziehen (insbesondere Merkmale und Eigenschaften), als auch auf konkrete Teilergebnisse. Letzteres beispielsweise, indem bereits über die Methodik systematisierte Zusammenhänge eines Vorgängermodells als zu erweiternde / zu modifizierende Ausgangsbasis für dessen Weiterentwicklung herangezogen werden, was durch die klare Trennung von Gestaltungs- und Wirkungsbereich (vgl. [HS1.4]) befähigt werden kann. Letztlich sollten möglichst klare Ursache-Wirkungs-Effekte der Methodik Lerneffekte unterstützen. Während Lerneffekte und Wiederverwendung sich in erster Linie über eine schrittweise Steigerung der Anwendungseffizienz auf die Langzeiteffizienz auswirken, erwirkt eine nutzenbringende Anwendbarkeit im Rahmen möglichst vieler Projekte, welche zusätzlich über die Flexibilitätsaspekte in Handlungsfeld 3 adressiert wird, eine möglichst wirkungsvolle Amortisation anfänglicher hoher Implementierungs- und Schulungsaufwände.

Auch jenseits rationaler Effizienzgesichtspunkte sind Kriterien zu berücksichtigen, welche für die **individuelle Anwenderakzeptanz und -motivation** [HS4.3] sowie die **Management-Akzeptanz** [HS4.4] von erhöhter Bedeutung sind, und daher als abschließende Handlungsschwerpunkte formuliert werden. Ein positives individuelles Aufwands-Nutzen-Verhältnis und eine möglichst geringe Frustration im Lern- und Anwendungsprozess erfordern eine schnelle Ersichtlichkeit der Vorteile und des individuellen und projektbezogenen Nutzens. Verständlichkeit und Anwendbarkeit der Methodik müssen diesem insbesondere im Kontext der Erstanwendung angemessen sein. Letztere stellt auch für geübte Nutzer ein wichtiges Kriterium dar, welches ergänzt wird durch eine nachvollziehbare Reproduzierbarkeit zielführender Anwendungsstrategien. Zuletzt ist die Kompatibilität mit bestehenden Unternehmensprozessen zu erwähnen, welche nicht nur für den einzelnen Nutzer relevant ist, sondern auch aus Managementsicht unter dem Gesichtspunkt der gesamten Methoden- und Prozesslandschaft.

6. Lösungsansatz der qualitätsorientierten Modulplanungsmethodik M-QFD

Um dem herausgearbeiteten Handlungsbedarf zu begegnen wurde die Methodik M-QFD entwickelt, welche in diesem Kapitel vorgestellt wird. Ausgehend von der verfolgten Zielsetzung werden zunächst die Erfolgskriterien und Anforderungen an den Lösungsansatz geklärt. Anschließend wird die Methodik als Ganzes dargestellt, wobei die grundlegenden Überlegungen und Konzepte erläutert werden, bevor detailliert auf die einzelnen Bausteine, Schritte und Mechanismen eingegangen wird.

6.1 Erfolgskriterien und Anforderungen an den Lösungsansatz

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die methodische Unterstützung der Qualitätsorientierung im spezifischen Kontext der Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule. Über die Befähigung zur konsequenten Einnahme einer modulzentrierten Perspektive wird beabsichtigt, der essenziellen strategischen Bedeutung von Modulinnovationen in bestimmten Branchen – insbesondere innerhalb des Anlagenbaus – Rechnung zu tragen. Im Speziellen wurde dafür die Zielsetzung formuliert, die **systemtechnischen Besonderheiten der modulzentrierten Perspektive** auf die Grundidee des **Quality Function Deployment** zu übertragen (vgl. [HERBERG & LINDEMANN 2013]).

Tabelle 6-1 gibt eine Übersicht¹⁶⁴ über die auf Basis des Handlungsbedarfs abgeleiteten, übergeordneten Anforderungen an den Lösungsansatz. Letztere sind in 3 Klassen zu jeweils 6 Anforderungen kategorisiert. Die Übersicht zeigt, auf welche der im vorigen Kapitel hergeleiteten Handlungsfelder über die Erfüllung der entsprechenden Anforderung abgezielt wird.

Tabelle 6-1: Zusammenhang zwischen den Anforderungen an den Lösungsansatz und den zuvor identifizierten Handlungsfeldern (vgl. Kapitel 5.3), aus denen die Anforderungen abgeleitet wurden.

| | | Anforderungsklassen | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|----|----|----|----|----|--|----|----|----|----|----|----------------------------------|----|----|----|----|----|---|
| | | Effektivitäts- bezogener Nutzen | | | | | | Nutzen der prozessualen Unterstützung | | | | | | Implementierung und Akzeptanz | | | | | | |
| | | Anforderungen | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | |
| Handlungsfelder | 1 | Systemtechnik / modulzentrierte Perspektive | ● | ● | | | ○ | | | ○ | | | | | | | ● | | | |
| | 2 | Schwerpunkte und Funktionalitäten der Methodik | | | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ● | ○ | ● | | | | | | | ○ |
| | 3 | Prozessuale Unterstützung | ○ | ● | | ○ | | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ○ |
| | 4 | Anwendungs- und Implementierungserfolg | | ○ | | | | | | | | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

¹⁶⁴ Die hier dargestellte Übersicht stellt eine komprimierte Version der abgeleiteten Zusammenhänge zwischen den Anforderungen und den spezifischen Handlungsschwerpunkten innerhalb der Handlungsfelder dar, die in Tabelle 10-1 des Anhangs zu finden ist.

Die 18 übergeordneten **Anforderungen** fungieren zugleich als **Erfolgskriterien** der späteren initialen Evaluation. Wie in Kapitel 7 noch ausführlich beschrieben, wurden diese Kriterien im Rahmen der Expertenstudie der Evaluation nochmals validiert und gewichtet. Die folgenden Abschnitte stellen die Anforderungen bzw. Erfolgskriterien der 3 Klassen vor, wobei in den Tabellen rechts jeweils die durch diese maßgeblich adressierten Handlungsschwerpunkte gekennzeichnet sind. Eine erweiterte Darstellung des Kriterienkatalogs mit **detaillierten Erläuterungen und Unteranforderungen** findet sich in Kapitel 10.1.2 des Anhangs.

Effektivitätsbezogener Nutzen

Die erste Anforderungsklasse bezieht sich auf die inhaltlich angestrebten Wirkmechanismen des Ansatzes. Der systemtechnische Perspektivwechsel stellt dabei sowohl ein Zielobjekt dar, an das konkrete Anforderungen gestellt werden, sowie Auslöser weiterer dadurch notwendiger Anforderungen.

Tabelle 6-2: Anforderungen / Erfolgskriterien der Klasse A „Effektivitätsbezogener Nutzen“ (detaillierende Erläuterungen und Unteranforderungen vgl. Kapitel 10.1.2 des Anhangs)

| Nr. | Anforderung / Erfolgskriterium Klasse A „Effektivitätsbezogener Nutzen“ | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkte | | |
|-----|--|--|-------|-------|
| | | HS1.1 | HS1.2 | HS1.3 |
| A1 | Explizite Berücksichtigung der systemtechnischen Rolle des fokalen Moduls bei der Ausrichtung des Vorgehens (M-QFD) sowie des Aufbaus des zentralen Metamodells (M-HoQ) | HS1.1 | HS1.2 | HS1.3 |
| A2 | Verankerung eines ganzheitlichen Problemverständnisses, das die spezifische Entwicklerperspektive bei der Modulentwicklung berücksichtigt und integriert | HS1.4 | HS1.5 | HS3.1 |
| A3 | Der modulzentrierten Perspektive folgende Schwerpunktlegung bezüglich der präventiv-qualitätsorientierten Risikominimierung kostenintensiver Fehlplanungen und -entwicklungen. | HS2.1 | HS2.2 | |
| A4 | Flexibilität der Methodik bezüglich möglicher Stakeholderstrategien | HS2.1 | HS2.2 | |
| A5 | Der modulzentrierten Perspektive folgende Schwerpunktlegung bezüglich der frühen Identifizierbarkeit und Charakterisierbarkeit von Zielkonflikten. | HS2.2 | HS2.5 | |
| A6 | Identifikationsmöglichkeit und Differenzierbarkeit unterschiedlicher Arten von / Ursachen für Eigenschaftsübererfüllung (Overengineering) | HS2.3 | HS2.4 | HS2.6 |

Nutzen der prozessualen Unterstützung

Während die Anforderungen der Klasse A die aus dem modulzentrierten Problemverständnis abgeleiteten, kombinierten Wirkprinzipien der Methodik im Sinne ihrer geforderten Wirkweise adressieren, beziehen sich die Anforderungen der Klasse B in erster Linie auf Aspekte der weiteren Ausgestaltung sowie der prozessualen Nutzung, um die gewünschten Effekte einer verbesserten Qualitätsorientierung im Kontext von Modulentwicklungsprojekten zu erreichen.

Tabelle 6-3: Anforderungen / Erfolgskriterien der Klasse B „Nutzen der prozessualen Unterstützung“ (detaillierende Erläuterungen und Untieranforderungen vgl. Kapitel 10.1.2 des Anhangs)

| Nr. | Anforderung / Erfolgskriterium Klasse B „Nutzen der prozessualen Unterstützung“ | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkte | | |
|-----|--|--|-------|-------|
| | | HS2.6 | HS3.2 | HS3.3 |
| B1 | Durchgängigkeit und Flexibilität bezüglich verschiedener prozessphasenbezogener Unterstützungsziele und -schwerpunkte innerhalb eines Projekts | HS2.6 | HS3.2 | HS3.3 |
| B2 | Gleichzeitige Unterstützung eines gemeinsamen Problemverständnisses und der Orientierung einzelner Entwicklungsbeteiligter bzgl. ihrer individuellen Gestaltungs- und Einflussbereiche | HS3.1 | HS3.4 | |
| B3 | Erleichterung der Konsensfindung und Kommunikation innerhalb des operativen Planungsteams (prozessbegleitende Unterstützung) | HS2.4 | HS3.1 | HS3.2 |
| B4 | Unterstützung von Entscheidungssituationen im Rahmen von Meilensteinen hinsichtlich erhöhter Entscheidungsqualität (z. B. Ablaufstrukturierung Design-Reviews) | HS3.1 | HS3.3 | |
| B5 | Befähigung und Anregung der systematischen Identifikation und durchgängigen Untersuchung von Handlungsoptionen | HS2.4 | HS2.6 | HS3.2 |
| B6 | Einsetzbarkeit der unterstützenden Methodik unabhängig vom Eintrittsstadium in das konkrete Planungsprojekt (z. B. Problemdefinition, konkrete Konzeptideen) | HS3.1 | HS3.2 | HS3.5 |

Implementierung und Akzeptanz

Die Anforderungen der Klasse C zielen auf Aspekte der wirtschaftlichen und motivatorischen Akzeptanz ab. Ihre Relevanz ergibt sich weniger aus der vorliegenden spezifischen Zielsetzung, der Art der Methodik oder der adaptierten Problemperspektive, sondern ist universell gültig. Da die Stellhebel, über die diese allgemeinen Effekte erreicht werden können und sollen jedoch wiederum vom Konzept des Lösungsansatzes abhängen, müssen die Anforderungen einen konkreten Bezug zu diesen Spezifika aufweisen.

Tabelle 6-4: Anforderungen / Erfolgskriterien der Klasse C „Implementierung und Akzeptanz“ (detaillierende Erläuterungen und Untieranforderungen vgl. Kapitel 10.1.2 des Anhangs)

| Nr. | Anforderung / Erfolgskriterium Klasse C „Implementierung und Akzeptanz“ | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkte | | |
|-----|--|--|-------|-------|
| | | HS4.1 | HS4.2 | HS4.3 |
| C1 | Sicherstellung einer hohen Anwendungseffizienz (der projektspezifische Anwendungsaufwand der Methodik muss gegenüber ihrem erwartbaren Nutzen angemessen sein) | HS4.1 | | |
| C2 | Sicherstellung einer hohen Informationseffizienz | HS4.1 | HS4.2 | |
| C3 | Sicherstellung einer hohen projektübergreifenden, langfristigen Effizienz | HS1.4 | HS4.2 | |
| C4 | Nutzengerechter Schwierigkeitsgrad der Methodikanwendung (Annahme: geschulter Nutzer, Methodik im Unternehmen etabliert) | HS3.4 | HS4.1 | HS4.3 |
| C5 | Nutzengerechte Verständlichkeit der Methodik (Lern- / Schulungsaufwand) | HS3.1 | HS3.4 | HS4.3 |
| C6 | Hohe Kompatibilität der Methodik mit bestehenden Methoden und Prozessen | HS4.4 | | |

6.2 Übersicht über die Gesamtmethodik M-QFD

Die im vorigen Teilkapitel vorgestellten Erfolgskriterien und Anforderungen stellen die Basis für die entwickelte **Methodik zur qualitätsorientierten Planung multifunktionaler Kernmodule** dar. Als vorgeschlagener Lösungsansatz um der herausgearbeiteten Problemstellung zu begegnen repräsentiert sie das Ergebnis der **präskriptiven Studie** dieser Dissertation, das in den folgenden Teilkapiteln vorgestellt wird. Die Strukturen und Denkweisen des Quality Function Deployment (QFD) bilden den Ausgangspunkt der Methodik, wie in Kapitel 4.3.1 motiviert und in Teilfazitkapitel 4.4 im Kontext der Problemstellung reflektiert wurde. Um die notwendige **Einnahme einer modulzentrierten Perspektive** ganzheitlich zu ermöglichen, erfolgte eine grundlegende Modifikation des QFD, was durch das vorangestellte „M“ der gewählten Bezeichnung „**M-QFD**“ (modulzentriertes QFD) hervorgehoben wird. Diese durch die spezifische Ausrichtung nötigen Adaptionen beziehen sich auf sämtliche Ebenen der Methodik. Insbesondere auf den Aufbau des **zentralen Metamodells**¹⁶⁵ **M-HoQ**, jedoch gleichfalls auf das mit dessen Instanziierung, Ausbau und Nutzung eng verknüpfte **Vorgehen** sowie die zentralen **Unterstützungsschwerpunkte**.

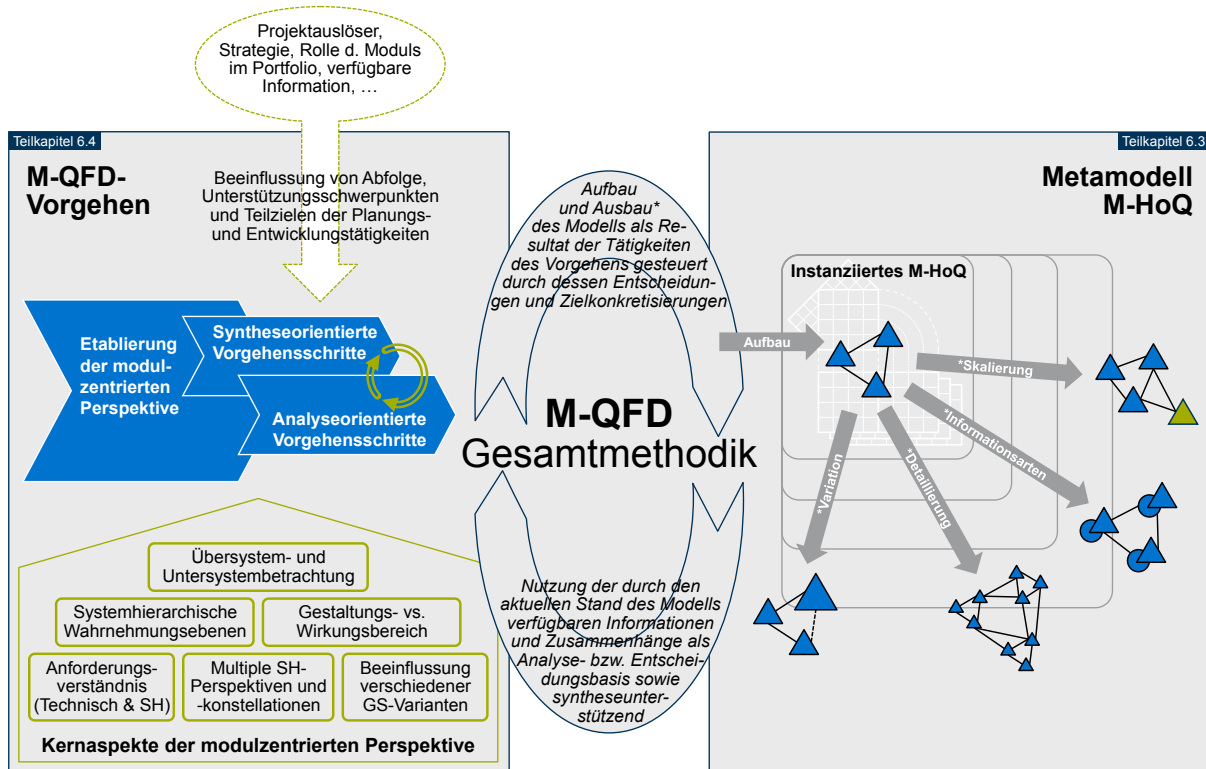


Abbildung 6-1: Übersicht über die M-QFD-Gesamtmethodik als Interaktion zwischen Planungsvorgehen und auf Basis des Planungsobjekts instanziiertem Metamodell

¹⁶⁵ Der Begriff des Metamodells (vgl. Kapitel 4.3.3) wird im Rahmen der Beschreibung des Lösungsansatzes dieser Arbeit verwendet, um eine klare Abgrenzung zu schaffen zwischen den Kernkonzepten und strukturellen Überlegungen der entwickelten Modellgrundlage und den durch die Modellierung konkreter Systeme entstehenden Modellen, welche Instanziierungen desselben Metamodells darstellen. Anhand der Auseinandersetzung mit dem Metamodell soll auch das Verständnis der modulzentrierten Perspektive gefördert werden.

Wie in Abbildung 6-1 verdeutlicht, kann die Methodik über die Interaktion des Planungs- und Entwicklungsvorgehens mit dem „**M-HoQ**“ (modulzentriertes House of Quality) beschrieben werden. Bei der durch Anwendung des Vorgehens aufzubauenden und schrittweise auszubauenden Abhängigkeitsrepräsentation sowie deren Nutzung zur Entscheidungs- und Handlungsunterstützung stellen die strukturellen und inhaltlichen Vorgaben dieses Metamodells die explizite Berücksichtigung der identifizierten **Kernaspekte der modulzentrierten Perspektive** innerhalb des Vorgehens sicher.

Das **M-HoQ** befähigt die Abbild- und Ableitbarkeit der eigenschaftsbezogenen Informationen und der Abhängigkeiten dieser für die für die ganzheitliche Planung und Entwicklung komplexer Module¹⁶⁶ notwendigen Perspektive. Als tiefgreifende Adaption der Matrixensysteme traditioneller QFD-Ansätze stellt es den Kern des entwickelten Lösungsansatzes dar. Es hat die **Stärkung eines an den Spezifika der Problemstellung der Modulentwicklung ausgerichteten Systemdenkens** zum Ziel. Als Träger und Strukturierungswerkzeug der zu akquirierenden und zu verarbeitenden Informationen determiniert das M-HoQ die Schritte und Tätigkeiten des Planungs- und Entwicklungsvorgehens. Das folgende Teilkapitel 6.3 widmet sich daher zunächst dem Metamodell und den diesem zugrundeliegenden Überlegungen.

Das **Planungs- und Entwicklungsvorgehen** ist Inhalt des Teilkapitels 6.4. Ihm liegen einige zentrale Schritte zu Grunde, die zur **Etablierung der modulzentrierten Perspektive** auf das Entwicklungsproblem dienen. Dadurch wird sichergestellt, dass das Planungsobjekt von Beginn an eingebettet in den Kontext seines Übersystems modelliert und bewertet wird. Die für den Grundaufbau des Abhängigkeitsmodells erforderlichen Schritte leiten sich von der Struktur und dem Domänenverständnis des Metamodells ab. Teilkapitel 6.4.2 behandelt diese initialen Schritte. Auf Basis der etablierten Perspektive ist das weitere Vorgehen am allgemeinen Verständnis des Planungs- und Entwicklungsprozesses als **iterative Abfolge von Synthese-, Analyse und Entscheidungsschritten** angelehnt, welche jedoch durch die spezifische Entwicklungssituation und -problemstellung, den konkreten Projektverlauf sowie weitere Rahmenbedingungen beeinflusst wird. Um bezüglich der frühen Phasen der weiteren Konkretisierung des initial modellierten Planungsobjekts die charakteristischen Spezifika der Modulentwicklung ins Zentrum der Betrachtung zu rücken, steht im Rahmen der Beschreibung dieser Phase die **Interaktion mit dem Modell** im Fokus, wobei Teilkapitel 6.4.3 die **syntheseorientierte Interaktion** und Teilkapitel 6.4.4 die **analyseorientierte Interaktion** adressieren.

Dies spiegelt einen zentralen Unterschied im Vergleich zu vielen traditionellen QFD-Ansätzen wider, in welchen die Nutzung des House of Quality auf die frühen Planungsphasen beschränkt ist. In diesen Ansätzen wird die folgende Detailierung der Qualitätsmerkmale im Zuge der Lösungskonkretisierung, bei welcher die Komponenten als Träger dieser Merkmale festgelegt werden, über den Aufbau sequenziell folgender, weiterer Matrixensysteme unterstützt.¹⁶⁷ Im

¹⁶⁶ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird der Begriff des „multifunktionalen Kernmoduls“ (zur Herleitung sei auf die Kapitel 2.2.1 und 3.2.4 verwiesen) im Folgenden nicht jedes Mal vollständig aufgeführt, sondern vereinfachend durch den Begriff oder das Präfix „Modul“ substituiert, wo keine Gefahr für Missverständnisse besteht (wie bspw. im Vorgehensschritt der Überprüfung des Vorliegens eines multifunktionalen Kernmoduls).

¹⁶⁷ Dies gilt ebenso für die Phasen der Prozess- und Produktionsplanung, die jedoch nicht Gegenstand der Betrachtung dieser Arbeit sind.

M-QFD hingegen findet die Detaillierung des Abhängigkeitswissens durch den **Ausbau und die Verfeinerung derselben Modellbasis** statt. Das M-HoQ begleitet somit den Übergang von der Modulplanung in die Modulentwicklung und stellt als durchgehend genutztes Instrument die **Konsistenz und Transparenz der Zusammenhänge** sicher. Dadurch wird der spezifischen Komplexität der Modulentwicklung des Anwendungskontexts Rechnung getragen, indem die Durchgängigkeit von den elementaren Eigenschaften des Moduls bis zu den ermittelten aggregierten Auswirkungen auf höheren Ebenen der Systemhierarchie hergestellt wird. Durch die Abbildung des Stellenwerts dieser Eigenschaften, sowohl für die relevanten Stakeholder, als auch aus technischer beziehungsweise Verhaltenssicht, ist ein **differenziertes Qualitätsbild** generierbar.

Es geht also nicht nur um die Vorverlagerung von Aufwand in die Aufgabenklärung, aus welcher wie im klassischen QFD aus Kundensicht abgesicherte Anforderungen hervorgehen, die anschließend schwer wieder infrage zu stellen sind. Durch die verfeinernde Nutzung eines konsistenten Modells wird vielmehr das schärfer werdende Bild der Bedeutung von Anforderungen und geplanten Eigenschaften für die entstehende Gesamtlösung zur Handlungs- und Entscheidungsunterstützung herangezogen, was auch das Überdenken und Ändern von Anforderungen nach der Anforderungskklärung einschließt, zum Beispiel durch die qualitative Simulation verschiedener Variationsmöglichkeiten. Durch das Voranstellen der **Effektivität** hinsichtlich eines möglichst ganzheitlich verstandenen und „stimmigen“ Eigenschaftsgefüges gegenüber einem reinen Effizienzfokus berücksichtigt das M-QFD neben der spezifischen Komplexität das spezifische **Qualitätsverständnis des Anwendungskontexts** der Weiterentwicklung komplexer Module in etablierten Systemen des Anlagenbaus. Innerhalb diesem wiegt die Vermeidung negativ wahrgenommener Eigenschaften und unerwünschter Nebenwirkungen im Sinne eines stimmigen Eigenschaftsgefüges weitaus schwerer als die Identifikation neuer, begeisternder Merkmale, beziehungsweise können trotz deren Umsetzung teure, für die Unternehmen folgenschwere Misserfolge auf dem Markt resultieren, deren Vermeidung daher eines der Hauptziele der Unterstützung darstellt.

6.3 Modulzentriertes Metamodell der Methodik

6.3.1 Grundaufbau des M-HoQ und Domänenverständnis des Modulbereichs

Adaption des Domänenverständnisses

In den vorangegangenen Kapiteln wurden bereits verschiedene Anforderungen an ein Domänenverständnis hergeleitet, welche an ein der modulzentrierten Perspektive gerecht werdendes Matrixensystem gestellt werden müssen. Den Überbau für die lösungsseitige Umsetzung dieser Anforderungen stellt das in Kapitel 5.3.1 (vgl. Abbildung 5-2) konsolidierte Eigenschaftsordnungsschema dar, woraus die Notwendigkeit der Integration der horizontalen und vertikalen Eigenschaftsaggregation resultiert. Einen geeigneten Ausgangspunkt der **Domänenadaption** gegenüber dem traditionellen QFD bilden daher die in Abbildung 6-2 gegenübergestellten

Teillösungsansätze¹⁶⁸. Dargestellt ist das Ergebnis der separaten konsequenten Überführung dieser Ansätze in ein entsprechendes Domänenengerüst, woraus ersichtlich wird, dass diese im Kern jeweils nur eine der Aggregationsdimensionen ansprechen. Aufgrund der resultierenden, im Folgenden detaillierten Defizite ist eine Integration beider Ansätze erforderlich.

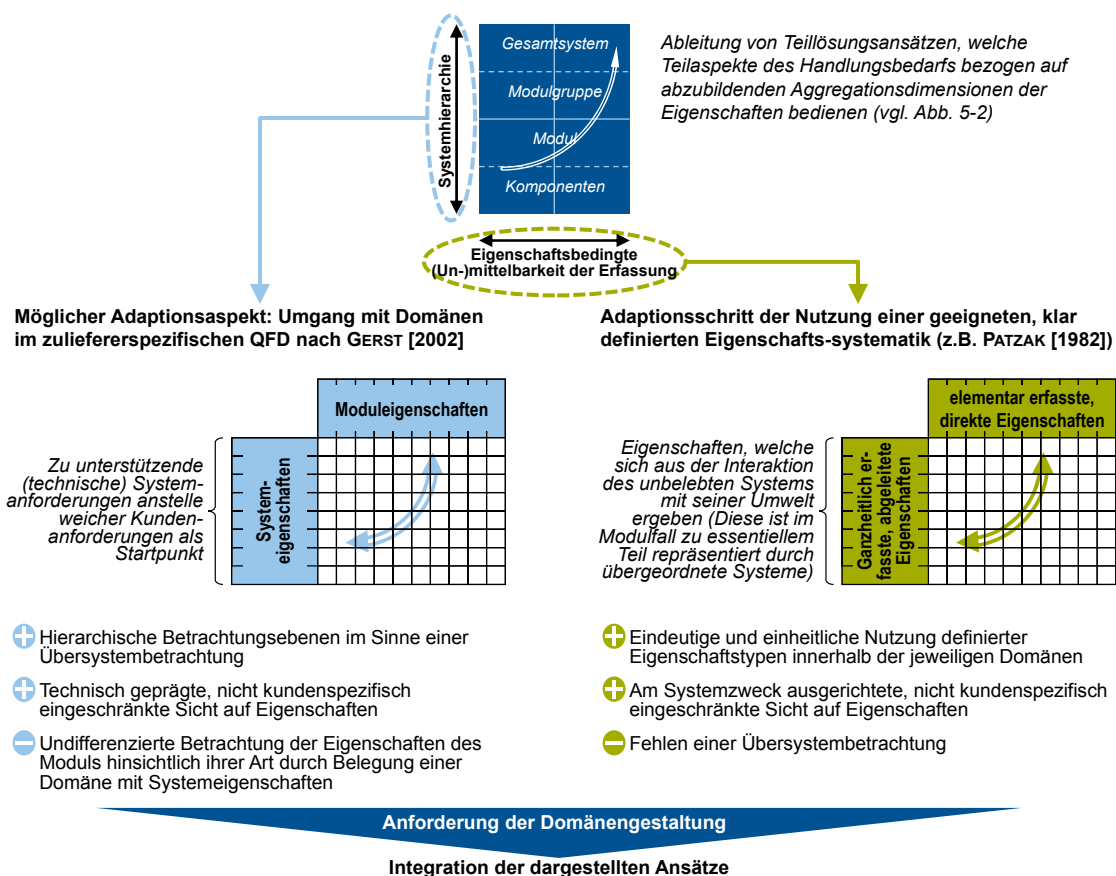


Abbildung 6-2: Herleitung der Teilaspekte des adaptierten Domänenverständnisses

Die Grundüberlegungen, die GERST [2002] seinem gegenüber dem traditionellen QFD stark abgewandelten Anforderungs- beziehungsweise Domänenverständnis zugrunde legt, haben deutliche Parallelen zu jenen der vorliegenden Arbeit.¹⁶⁹ Während GERST sich jedoch auf eine einfache Umfunktionierung der Domänen beschränkt (bei Beibehaltung der übrigen Modellstruktur), geht die Adaption im M-QFD mit einer Erweiterung des Gesamtmodells einher. Dadurch bleibt in der Verknüpfungsmatrix für den Modulbereich der Betrachtungsraum

¹⁶⁸ Vgl. Kapitel 3.3.1 und 4.3.6 zur jeweiligen Einführung.

¹⁶⁹ Das QFD-basierte Vorgehen nach GERST [2002, S. 100] berücksichtigt die spezifischen Herausforderungen von Unternehmen der Zuliefererindustrie. Der Ansatz basiert auf einem angepassten Domänenverständnis, durch welches den technischen Merkmalen der zu entwickelnden Komponente anstelle weicher, nicht-technischer Kundenanforderungen die technischen Merkmale des übergeordneten Systems des Kunden gegenübergestellt werden. Dadurch werden gleichzeitig Betrachtungsbereich und Abstraktionsgrad der für die Qualität maßgeblichen Eigenschaften variiert, zu welchen die Eigenschaften der Komponente beitragen.

des Moduls erhalten und die Anforderungsdomäne wird nicht vertikal auf die Systemebene angehoben.¹⁷⁰ Dies ist erforderlich, um hinsichtlich der Auswirkungen zu variierender Modulmerkmale eine klare Trennung zwischen der Beeinflussung von Eigenschaften des Moduls selbst und Eigenschaften auf höheren Hierarchieebenen zu gewährleisten. Für eine betrachtete Lösung sind erstere invariant, während letztere bei Variation des übergeordneten Systems ebenfalls variieren können, und daher einer multiplen Betrachtung zugänglich gemacht werden müssen. Darüber hinaus müssen erstere möglichst vollständig betrachtet werden, während letztere durch das übergeordnete Vorgehen einer selektiven Betrachtung unterliegen (die Betrachtung des Übersystembereichs erfolgt im nächsten Unterkapitel).

Innerhalb des **Modulbereichs** werden im M-QFD „**elementare Moduleigenschaften**“ („ EE_M “) und darauf aufbauende „**Relationseigenschaften des Moduls**“ („ RE_M “) als Domänen unterschieden, womit eine explizite Orientierung an der Merkmalssystematik nach PATZAK [1982, S. 36 f.] erfolgt. Eigenschaftstypologisch entsprechen die EE_M den „elementar erfassten, direkten Eigenschaften“, welche im vorliegenden Metamodell allerdings klar auf das Modul bezogen sind. Durch sie wird das Modul eindeutig charakterisiert, womit die EE_M die Basis für die technische Umsetzung der Lösung darstellen. Sie sind messbar und kontrollierbar sowie unabhängig von der Verwendung des Moduls und seiner übergeordneten Systeme beziehungsweise von den Einsatzbedingungen. Die RE_M , die in der QFD-Logik funktional an die Stelle der klassischen Kundenanforderungen treten, entsprechen den „Verhaltenseigenschaften“.¹⁷¹ Sie stellen also „*ganzheitlich erfasste, abgeleitete Eigenschaften dar, die auf den elementar erfassten, direkten Moduleigenschaften aufbauen und sich „aus der Beziehung des betrachteten unbelebten Systems mit der Umwelt ergeben“*“ [PATZAK 1982, S. 37], wobei auch hier das fokale Modul an die Stelle des Systems tritt. Aus der modulzentrierten Perspektive ist damit zu berücksichtigen, dass ein essenzieller Teil dieser mit dem Modul in Beziehung stehenden Umwelt das übergeordnete Gesamtsystem ist, dessen Bestandteil das Modul ist.

Der linke Ast in Abbildung 6-3 repräsentiert die zuvor diskutierten Aspekte des Domänenverständnisses, welches zusammengefasst durch eine Adaption der eigenschaftstypologischen Belegung der Domänen sowie einer strengen **hierarchischen Separation vom Übersystembereich** charakterisiert ist. Dem mittig dargestellten Ergebnis der Integration dieser Adaptionsschritte liegt zusätzlich eine **strukturelle Erweiterung des Matrixsystems** im Vergleich zum traditionellen QFD zu Grunde (rechter Ast), welches zu Gunsten einer höheren Informationsdichte und -eindeutigkeit im Sinne einer konsequenten Umsetzung des Matrixgedankens ausgebaut ist (vgl. Abbildung 4-11). Zum einen ist die Abbildung von **Intra-Domänen-Korrelationen** auch für die zweite Domäne vorgesehen, zum anderen werden diese als asymmetrische DSMs gehandhabt. Die daraus resultierende Möglichkeit, die akquirierten Abhängigkeiten gerichtet abzubilden, erlaubt einen differenzierteren Umgang mit Zielkonflikten hinsichtlich Ursache und Wirkung. Als Leserichtung wird die Konvention des QFD beibehalten, wonach gilt „Spalte beeinflusst Zeile“. Dadurch bleibt die theoretisch vorhandene

¹⁷⁰ Dies greift auch die Kritik von HARTUNG [1994] sowie von STAUSS [1994] auf, dass (Kunden)anforderungen, die sich explizit auf Teilsysteme beziehen, im traditionellen QFD ignoriert werden (vgl. außerdem Kapitel 4.4.2).

¹⁷¹ Die Konsequenzen des adaptierten Domänenverständnisses hinsichtlich des Verständnisses von und des prozesualen Umgangs mit Anforderungen werden in Unterkapitel 6.3.3 beleuchtet.

$DMM_{REM \rightarrow EEM}$ ohne Funktion, da die RE_M als höher aggregierte Eigenschaften zwar von EE_M beeinflusst werden können ($DMM_{REM \rightarrow EEM}$), nicht jedoch umgekehrt.

Beide Domänen des Modulbereichs können sowohl Gesamtmoduleigenschaften enthalten, als auch Eigenschaften, die sich auf Subsysteme des Moduls beziehen. Während EE_M häufig bereits konkreten Bauteilen bzw. -gruppen zugeordnet werden können (insbesondere im Falle der Weiterentwicklung etablierter Produkte wäre es der Problemstellung unangemessen, hier von Lösungsneutralität auszugehen) bietet sich in der Domäne der RE_M eine Gruppierung nach Funktions- bzw. Prozesszugehörigkeit an. Im Rahmen der Eigenschaftsakquise können dafür analog zum klassischen QFD Baumdiagramme und hierarchische Listen verwendet werden.¹⁷²

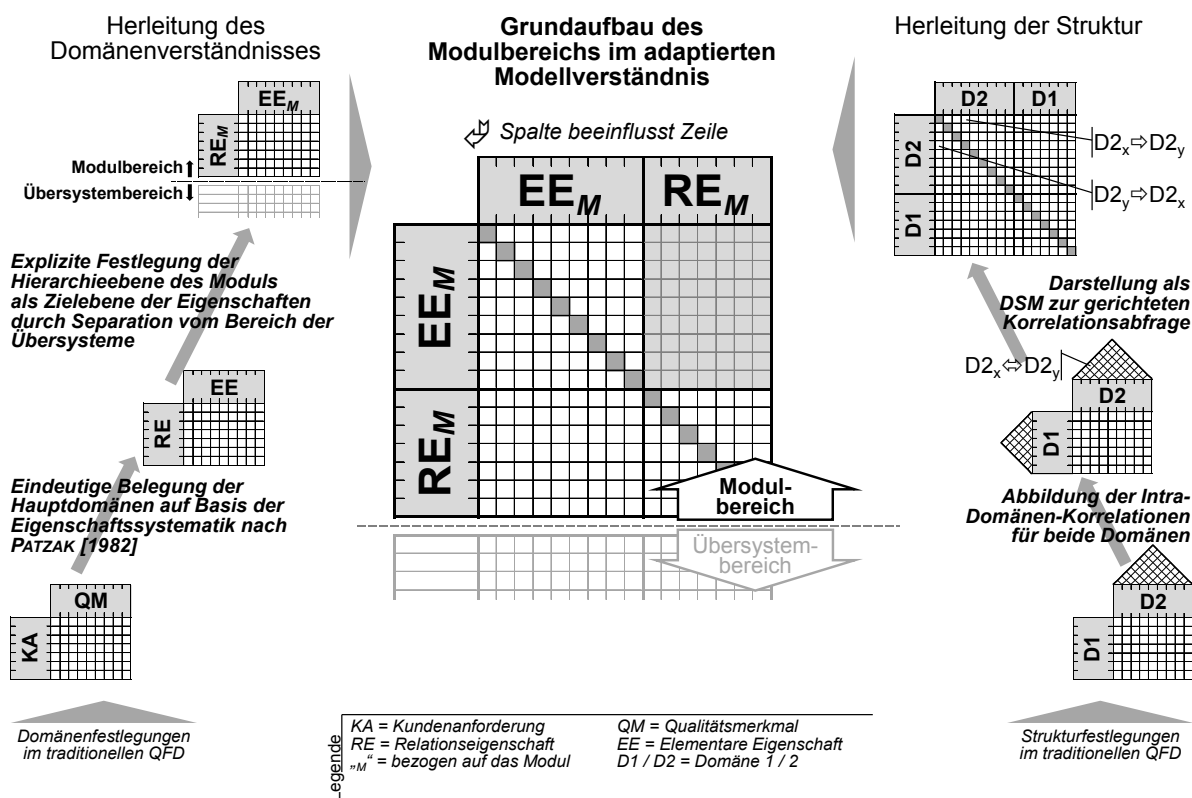


Abbildung 6-3: Grundaufbau des Modulbereichs des Metamodells

Die Gesamtmoduleigenschaften repräsentieren das systemhierarchische **Nullniveau** der modulzentrierten Perspektive, unterhalb dessen die Untersystembetrachtung stattfindet. Der Modulbereich fasst als klar vom **Übersystembereich** abgegrenzter Bereich das Eigenschaftsgefüge des Entwicklungsobjekts.¹⁷³ Dadurch sind die Zusammenhänge innerhalb des

¹⁷² Alternativ wäre ein rein auf den Modulbereich bezogenes dekomponierendes Vorgehen auf Basis der Ausleitung von Untermatrizen in Anlehnung an den MAKABE-Ansatz denkbar, was im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht näher untersucht wird.

¹⁷³ Er entspricht damit dem **Gestaltungsbereich**, wohingegen als **Wirkbereich** weitere nicht direkt beeinflussbare Systembereiche zu berücksichtigen sind (vgl. nächstes Unterkapitel).

Modulbereichs im Rahmen der modulzentrierten Perspektive invariant und damit sowohl im Kontext variiertes Stakeholderperspektiven als auch variiertes Übersysteme wiederverwendbar, was jedoch gravierende Auswirkungen auf die Bewertung des Eigenschaftsgefüges hat.

Quellen- und Senkeneigenschaften

Durch die Grundsystematik des matrixbasierten Metamodells besteht die Möglichkeit der Diskussion von Eigenschaften hinsichtlich ihrer **Ursache(n)** (in Form von **beeinflussenden Eigenschaften**) und **Wirkung(en)** (in Form von **beeinflussten Eigenschaften**) unabhängig von ihrer spezifischer Domänenart und Hierarchieebene. Durch generisch beschreibbare Zusammenhänge können einzelne Vorgehensweisen, die im Rahmen der Methodik nutzbar sind, allgemein formuliert werden, wodurch auch das Verständnis der Methodik erhöht sowie die Kommunikation im Rahmen ihrer Anwendung erleichtert werden soll.

Hierfür werden an dieser Stelle die Begriffe **Quelleneigenschaft („E_{Quelle}“)** und **Senkeneigenschaft („E_{Senke}“)** eingeführt. Die Nutzung des Begriffskonzepts von „Quellen“ und „Senken“ in Anlehnung an die Graphentheorie (z. B. [VOLKMANN 1996]) erfolgt auf Basis der Möglichkeit, das betrachtete Eigenschaftsgefüge als gerichteten Graphen zu begreifen.¹⁷⁴ Gegenüber dem Verständnis der Graphentheorie, wo eine Quelle als Knoten ohne Eingangskanten und eine Senke als Knoten ohne Ausgangskanten definiert sind [VOLKMANN 1996, S. 338], konzentriert sich die Bedeutung im Rahmen dieser Arbeit auf den Aspekt, dass aus Sicht einer fokalen Eigenschaft diese von E_{Quelle} beeinflusst wird und selbst E_{Senke} beeinflusst. E_{Senke} liegen gegenüber E_{Quelle} immer in Richtung höherer vertikaler oder horizontaler Aggregation¹⁷⁵. Je nach Betrachtungsfokus kann damit eine Eigenschaft sowohl E_{Senke} als auch E_{Quelle} sein. Für eine klare Unterscheidung werden im Bedarfsfall Ordnungsebenen genutzt. So stellt eine E¹_{Quelle} (E_{Quelle} erster Ordnung) einer fokalen Eigenschaft für deren E¹_{Senke} eine E²_{Quelle} dar.

Nach der im M-HoQ getroffenen Konvention der Leserichtung wird eine Zeile stets durch eine Eigenschaft in ihrer Rolle als E_{Senke} repräsentiert, wobei die Einträge sämtliche Relationen zu E_{Quelle} beinhalten. Für eine RE_M können dies sowohl EE_M als auch andere RE_M sein, für eine EE_M lediglich andere EE_M, da RE_M vertikal höher aggregiert sind. Eine Spalte repräsentiert hingegen die Quellenrolle einer Eigenschaft.

6.3.2 Übersystembetrachtung und Kernkonzept des Projektionsraums

Die Betrachtung des **Übersystembereichs** des Metamodells M-HoQ der modulzentrierten Perspektive erfolgt aus den systemtechnischen Blickwinkeln des Objektsystems und des Handlungssystems. Aus Objektsystemsicht wird zunächst auf die strukturelle Ausgestaltung des Übersystems eingegangen, bevor im anschließenden Unterkapitel aus Handlungssystem-sicht die Beeinflussbarkeit der Eigenschaften des ÜS-Bereichs aus Sicht des Modulentwicklers beleuchtet wird.

¹⁷⁴ Die Repräsentation von Systemen über ihre Elemente und deren Abhängigkeiten ist formal gleichwertig in Form von Matrixensystemen und von Graphen (Knoten und Kanten) möglich [LINDEMANN ET AL. 2009, S. 87 ff.].

¹⁷⁵ Vgl. Abbildung 5-2, sowie zur vertikalen Aggregation das anschließende Unterkapitel.

In einem ersten Schritt (Abbildung 6-4) sei das fokale Modul in ein singuläres Gesamtsystem (GS) eingebettet, dessen Eigenschaften es beeinflusst. Diese Eigenschaften sind vertikal höher aggregiert, liegen also über dem im vorigen Unterkapitel definierten Nullniveau der Moduleigenschaften.¹⁷⁶ Per Definition (vgl. Kapitel 2.2.1 und 3.2.4) sind die in dieser Arbeit im Fokus stehenden multifunktionalen Kernmodule innerhalb eines GS Bestandteil **verschiedener Modulgruppen** (MG). Neben der Abbildbarkeit von beeinflussten GS-Eigenschaften hält das Metamodell daher für jede relevante MG einen eigenen Bereich zur differenzierten Abfrage der Beeinflussung der Eigenschaften vor. Dieser bezieht sich explizit auf diese MG als Teilsystem, ist vertikal also zwischen den Moduleigenschaften und den Gesamtsystemeigenschaften angesiedelt. Für die innerhalb der Übersystemeigenschaften („E_{ÜS}“) unterschiedenen Gesamtsystemeigenschaften und Modulgruppeneigenschaften gelten im weiteren Verlauf dieser Arbeit die Abkürzungen „E_{GS}“ und „E_{MG}“ (letztere mit einem ergänzenden Modulgruppenindex).

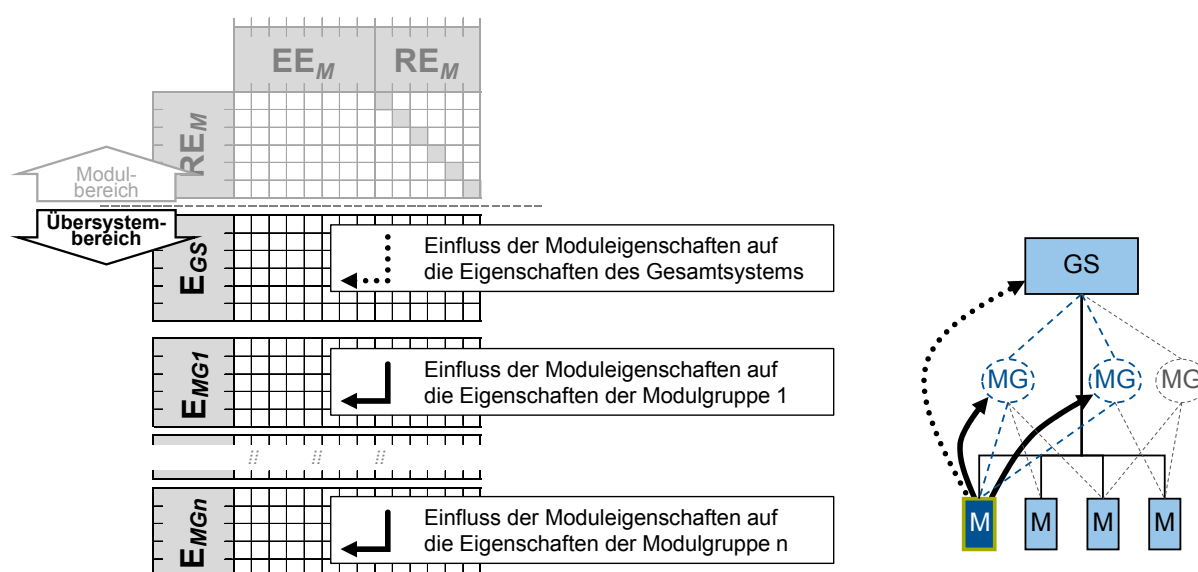


Abbildung 6-4: Grundaufbau des Übersystembereichs im Metamodell für ein einzelnes (!) Gesamtsystem (vgl. Abbildung 5-2)

Die bisher ausgeführte Betrachtung ist genau für ein übergeordnetes GS gültig. Einem der Kernmotivationsaspekte dieser Arbeit (sowie einem der generellen definitonischen Hauptmodulzwecke) folgend soll ein zu entwickelndes Modul jedoch Bestandteil mehrerer GS sein, deren Architekturen sich grundsätzlich unterscheiden können, und deren Verhalten über die Moduleigenschaften auf unterschiedliche Art und Weise beeinflusst werden. Ein weiteres Merkmal des Metamodells ist daher die differenzierte Darstellbarkeit der Abhängigkeiten innerhalb der Architekturen **verschiedener Systeme**, wofür Stellvertreterarchitekturen – sog. Basisarchitekturen – verwendet werden. Abbildung 6-5 zeigt dies stellvertretend für den Bereich der E_{GS}, das Prinzip ist allerdings analog auf die Bereiche der einzelnen MG anwendbar.

¹⁷⁶ Die örtliche Anordnung des ÜS-Bereichs im M-HoQ unter dem Modulbereich resultiert aus Handhabungsgründen, da es der Gewohnheit widerspricht, in Matrizen „von oben nach unten“ zu arbeiten bzw. zu denken.

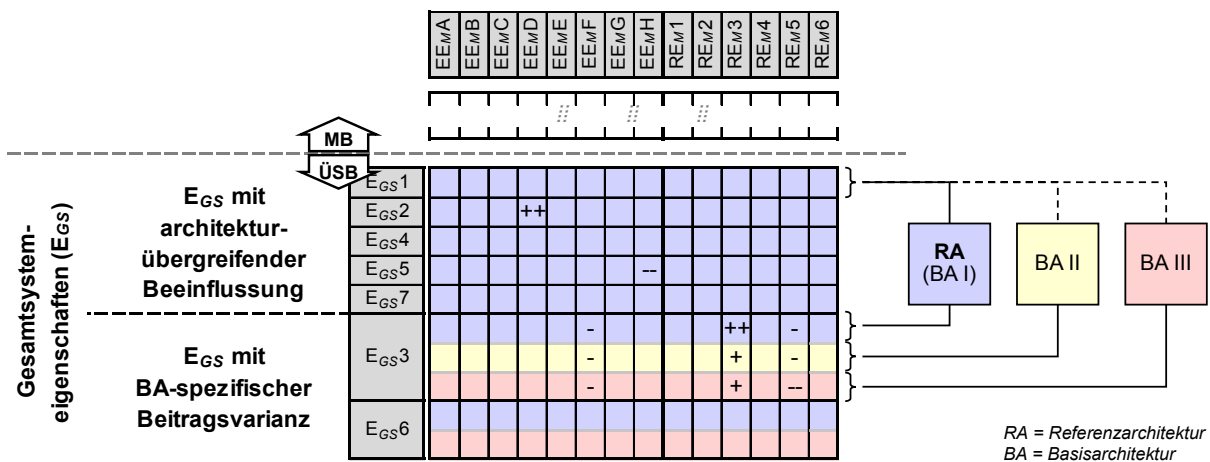


Abbildung 6-5: Umgang mit verschiedenen Gesamtsystemen über die Abbildung von architekturübergreifenden und architektur-spezifischen Beeinflussungen im Übersystembereich des Metamodells

Für ein festgelegtes **Referenzsystem**¹⁷⁷ werden stets *alle* zu berücksichtigenden Eigenschaften und Abhängigkeiten in das Modell aufgenommen. Solange hinsichtlich der Beeinflussung der E_{ÜS} keine Abhängigkeit von der zugrundeliegenden „**Basisarchitektur („BA“)**“ festgestellt wird – was auch noch im Verlauf des Prozesses erfolgen kann (vgl. Teilkapitel 6.4) – gelten die für die RA eingetragenen Relationen *stellvertretend* für sämtliche berücksichtigte BAs. Variiert die Beeinflussung einer E_{GS} durch eine oder mehrere Moduleigenschaften jedoch abhängig von der BA, werden diese Beeinflussungen architektur-spezifisch – jeweils in einer eigenen Zeile – dargestellt.¹⁷⁸ Diese E_{ÜS} mit **BA-abhängiger Beitragsvarianz** werden jeweils im unteren Bereich eine E_{GS}- beziehungsweise E_{MG}-Domäne gebündelt. Dieses Vorgehen zur selektiven Abbildung **BA-spezifischer Abhängigkeitsdifferenzierung** stellt einen von mehreren **Reduktionsmechanismen** des Ansatzes hinsichtlich der handzuhabenden (also z. B. zu akquirierenden, zu vernetzenden und zu analysieren) Informationsmenge dar. Diese sind wichtige, projektabhängig zielgerichtet einzusetzende Stellhebel, um die Informationsmenge sinnvoll einzuschränken und zu komprimieren und dennoch alle Problemaspekte einer modulzentrierten Perspektive konsequent einzubeziehen.

Eine zentrale Rolle innerhalb der **Reduktionsstrategie** spielt das Kernkonzept eines **Projektionsraums**, welcher den Bewertungskontext des Moduls als Projektionsobjekt repräsentiert. Der Projektionsraum stellt eine Untermenge des vollständigen Übersystembereichs dar, welcher sämtliche prinzipiell vorhandenen (und zukünftig theoretisch möglichen) Ausprägungen von Gesamtsystemen beinhalten würde. Über eine **systematische Auswahl von BAs** zielt die **projektspezifische Definition des Projektionsraums** darauf ab, den vollständigen Übersystembereich über die explizite Berücksichtigung der relevantesten und kritischsten

¹⁷⁷ Im Folgenden wird hierfür der Begriff Referenzarchitektur („RA“) verwendet, da die Systeme auf Ebene der Architektur betrachtet und unterschieden werden.

¹⁷⁸ Für invariante Beeinflussungen durch weitere RE_M oder EE_M entsteht der Darstellungszwang, diese in allen Zeilen redundant zu repräsentieren.

GS-Architekturen (innerhalb dieser gegebenenfalls eine Konzentration auf die wesentlichen MG stattfindet) bestmöglich zu repräsentieren.¹⁷⁹ Im Sinne der Szenariodenkweise erfolgt die Planung und Entwicklung des Moduls damit auf Basis der Gleichzeitigkeit dessen **gedanklicher (modellbasierter) Einbettung in verschiedene Übersysteme („Projektion“)**, um die dort wirksamen Abhängigkeiten zu ermitteln und bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen. Eine weitere Dimension des Projektionsraums sind die zur Bewertung herangezogenen **Stakeholderperspektiven** (vgl. Unterkapitel 6.3.3). Kapitel 6.4.2 geht auf die Vorgehensschritte zur Definition des Projektionsraums ein, die auch die Festlegung der Referenzarchitektur enthalten.

Ein weiterer Aspekt der Reduktionsstrategie ist die Beschränkung der Abbildung von Eigenschaften im Übersystembereich auf jene, die von den Eigenschaften des Entwicklungsobjekts (also des fokalen Moduls) auch tatsächlich beeinflusst werden, wodurch keine vollständige, eigenschaftsbezogene Modellierung der GS beziehungsweise deren MG erforderlich ist. Wie in Kapitel 6.4.2 näher beschrieben, findet die Aufnahme von Eigenschaften in die entsprechenden Teilbereiche, sowie die Klärung der Frage, ob diese architekturübergreifend oder -spezifisch zu betrachten sind, prozessbegleitend statt.

Während das Konzept des Projektionsraums primär auf die Schnittstelle zwischen Objekt- und Zielsystem abzielt, macht sich die Methodik auch zentrale Auswirkungen der klaren Trennung von Modul- und Übersystembereich auf Handlungssystemebene zu Nutze. Auf dieser Ebene kann daraus eine entsprechende Einteilung eines **Gestaltungsbereichs** und eines **Wirkbereichs** der Entscheidungen der Modulentwicklung vorgenommen werden (Abbildung 6-6). Lediglich die Eigenschaften des Modulbereichs sind unmittelbar im Rahmen der Modulentwicklung beeinflussbar, weswegen diese den **Gestaltungsbereich** darstellen. Die Eigenschaften der Übersysteme (E_{GS}/E_{MG}) werden zwar ebenfalls durch die Moduleigenschaften beeinflusst, sie stellen aber immer Aggregationen aus dem horizontalen Zusammenwirken mit weiteren Eigenschaften außerhalb des Gestaltungsbereichs dar und liegen damit selbst außerhalb, und zwar vertikal über selbigem. Prinzipiell sind alle in das Modell einfließenden Eigenschaften – sowohl des Moduls als auch der Übersysteme – Teil des „**Wirkbereichs**“. Die Eigenschaften des Übersystembereichs, die nicht durch die Eigenschaften des Moduls beeinflusst werden, liegen außerhalb beider Bereiche, und sind damit nicht Bestandteil des Modells.

Letztlich sind die Eigenschaften im Übersystembereich allerdings jene, deren Beeinflussung dem eigentlichen Zweck des Moduls entsprechen, und die in der Wahrnehmung der meisten Stakeholder die entscheidende Rolle spielen. Die Direktheit möglicher Beeinflussungen kann dabei stark variieren, was sowohl von der Art der betrachteten Eigenschaften, als auch von der hierarchischen Distanz abhängt. Hierbei spielt auch das Verhältnis zu Menge und Art der Eigenschaften eine Rolle, welche durch die Module und Modulgruppen des nicht beeinflussbaren Bereichs mit eingesteuert (aggregiert) werden.

¹⁷⁹ Die lediglich theoretisch vorstellbare Möglichkeit, sämtliche Abhängigkeiten vollumfänglich für alle denkbaren Gesamtsysteme, in die das Modul eingebettet sein wird – darüber hinaus differenziert nach allen vorkommenden Modulgruppen – abzubilden, würde einem reduktionistischen Umgang mit der Übersystembetrachtung darstellen, der die Grenzen der Handhabbarkeit schnell sprengen würde.

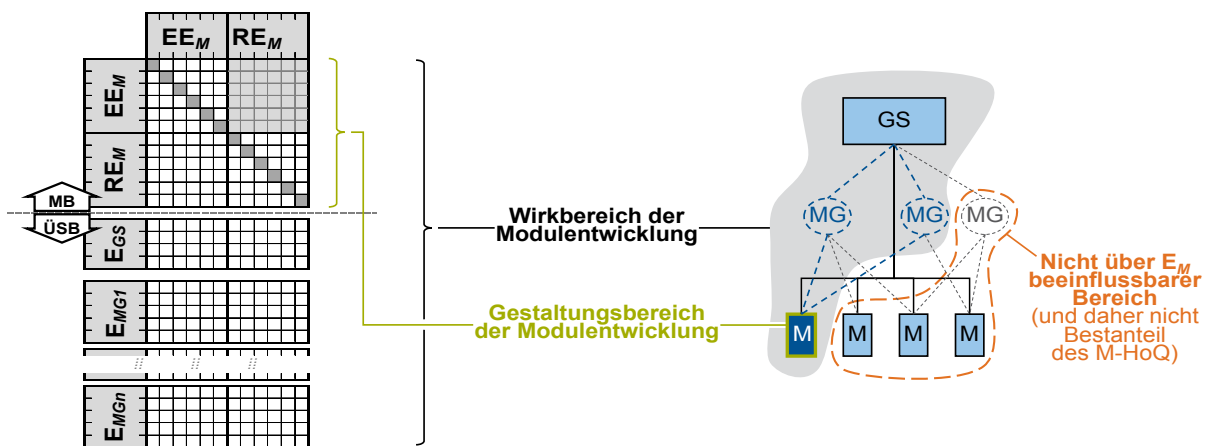


Abbildung 6-6: Zusammenhang zwischen Übersystembetrachtung und Wirkungsbereich der Modulentwicklung (vgl. Abbildung 5-2)

Die Dargestellten Zusammenhänge müssen im **Domänenverständnis des Übersystembereichs** verankert sein. Zum einen kann bezüglich der dort enthaltenen Eigenschaften in der Modulentwicklung nicht davon ausgegangen werden, dass für diese quantitative Zielgrößen vorliegen.¹⁸⁰ Zum anderen muss das Fehlen an Informationen hinsichtlich der Eigenschaften aus dem nicht beeinflussbaren Bereich in Betracht gezogen werden. Konsequenzen für die Eigenschaftsdomänen des Übersystembereichs sind daher die Notwendigkeit hinsichtlich der Zielwerte gegebenenfalls mit **Wertebereichen** zu arbeiten, sowie hinsichtlich der zu ermittelnden Abhängigkeiten mit **qualitativen Abschätzungen** bezüglich der Beeinflussung der E_{GS} und E_{MG} . Eine weitere Erläuterung dieser Zusammenhänge erfolgt in Kapitel 6.4.2 (Schritt 2), welches auf die prozessualen Aspekte der Modellerstellung eingeht.

6.3.3 Anforderungsverständnis und Stakeholderperspektiven

Anforderungsverständnis in der modulzentrierten Perspektive

Die aus dem Handlungsbedarf abgeleitete Anforderung (A2) an den Lösungsansatz der modulzentrierten Perspektive bezüglich eines im Vergleich zum traditionellen QFD angepassten Umgangs mit Kundenanforderungen ist eng verknüpft mit dem in Abschnitt 6.3.1 adressierten adaptierten Domänenverständnis. Durch das Metamodell des M-QFD erfolgt daher **keine einseitige Ausrichtung an Kundenanforderungen**, sondern es fließen im Zuge der Beachtung der systemhierarchischen Rolle des Moduls **gleichberechtigt technische Anforderungen** mit ein, die zur Erfüllung der notwendigen Ausprägungen von Eigenschaften der Übersysteme erforderlich sind.

Diese Forderung ist zunächst auf die in Kapitel 4.3.6 in Anlehnung an GERST [2002, S. 101 ff.] hergeleitete Begründung zurückzuführen, dass für den Kunden beziehungsweise die meisten

¹⁸⁰ Entweder weil diese für zukünftige Systeme noch nicht festgelegt sind, oder weil diese unter Umständen nicht zu den Eigenschaften gehören, die bei der Systemprojektierung vorab vertraglich festgelegt werden.

Stakeholder primär Eigenschaften auf Gesamtsystemebene im Vordergrund stehen. Die Problematik der daraus resultierenden **limitierte Artikulationsfähigkeit der SH von an das Modul gerichteten Anforderungen** wird nach GERST zusätzlich dadurch verstärkt, dass im Allgemeinen nicht davon ausgegangen werden kann, dass bei diesen ein hinreichendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Modul- und Übersystemeigenschaften vorliegt, um als adäquate Basis für eine vollständige Anforderungsklä rung auf Modulebene nutzbar zu sein. Der System-OEM muss hierfür auf sein eigenes Zusammenhangswissen zurückgreifen und dieses in Form von technischen Anforderungen einsteuern. In der Konsequenz soll die Methodik auch in diesem Aspekt ihrem Anwendungsbereich – also der qualitätsorientierten **Weiterentwicklung etablierter Module** – gerecht werden und baut explizit auf vorliegendes **Lösungswissen** auf, anstelle dieses auszublenden, wie dies im klassischen QFD zur Maximierung innovativer Freiheitsgrade vorgesehen ist.

Das Metamodell wird diesem Anspruch gerecht, indem die „WAS“-Domäne des Modulbereichs nicht über Kundenanforderungen definiert ist, sondern in Form von kundenneutralen, jedoch **typologisch als klar definierten RE_M , welche aus Sicht unterschiedlicher SH gewichtet werden** (vgl. nächster Abschnitt). In diesem Punkt wird der durch GERSTs Ansatz stark vereinfachenden Empfehlung nicht gefolgt, den Kundenbezug der Anforderungen vollständig aufzuheben. Letztlich darf darüber hinaus nicht ignoriert werden, dass – gerade im Kontext etablierter Systeme – SH bezüglich oftmals sehr spezifischer Moduleigenschaften sehr konkrete Ausprägungspräferenzen haben, die unabhängig von ihrer objektiven Bedeutung für den Systemzweck ernstgenommen werden müssen.¹⁸¹

Prozessual wird den genannten Aspekten wie folgt begegnet: Während die streng sequenzielle Bearbeitungsreihenfolge der klassischen QFD-Ansätze das vollständige Vorliegen der Kundenanforderungen voraussetzt, bevor mit der Ermittlung der „technischen“ Qualitätsmerkmale begonnen wird, **parallelisiert der M-QFD-Ansatz die Akquise von Eigenschaften beider Domänen** (in ihrer adaptierten Form) explizit in der initialen Modellierungsphase. Wie in Kapitel 6.4 noch näher erläutert, werden die Eigenschaften aller Domänen prozessbegleitend erweitert und hinsichtlich des Informationsgehalts der Vernetzung verfeinert. Damit steht ein **schrittweiser Ausbau des Eigenschaftsnetzwerks unter Transparenthaltung aller Abhängigkeiten** im Vordergrund und es wird der Forderung Rechnung getragen, Kundenanforderungen zu Beginn nicht unverrückbar zu fixieren, da diese zu diesem Zeitpunkt weder vollständig bekannt sein können, noch von ihrer Korrektheit ausgegangen werden kann (z. B. [FRICKE 2003, S. 73]).

Anforderungsgewichtung im Rahmen des Anwendungskontexts

Einen zentralen Aspekt im Kontext komplexer Systeme und Anlagen stellt die Menge an Stakeholdern (SH) dar, welche sehr unterschiedliche Aufgaben und Rollen im übergeordneten Wertschöpfungsprozess und dessen einzelnen Lebenszyklusphasen vertreten. Dadurch ergibt sich für dasselbe System in verschiedenen SH-spezifischen Wertschöpfungskontexten eine grundverschiedene Bedeutung, woraus unterschiedliche SH-Sichten auf dessen Eigenschaften

¹⁸¹ Dies beinhaltet auch den Aspekt, dass vom Nutzer geforderte Eigenschaften für den Systemzweck durchaus gänzlich überflüssig sein können [FRICKE 2003, S. 93].

resultieren. Verstärkt wird diese Heterogenität durch projektspezifisch variierende vertragliche Beziehungen untereinander.¹⁸² Im Kontrast beispielsweise zu Konsumgütern kann der Problematik individuell ausgeprägter Kundenerwartungen nicht durch eine Erhöhung der extern angebotenen Varianz begegnet werden, sondern es liegen durch ein und dasselbe System gleichzeitig zu bedienende, überlagerte Erwartungsgefüge vor, wodurch dem Finden geeigneter Kompromisse eine elementare Bedeutung zufällt. Grundlage hierfür ist die **Gewichtung** aller höher aggregierter Eigenschaften¹⁸³ aus Sicht aller im Projektionsraum berücksichtigter SH unabhängig von der Herkunft dieser Eigenschaften im Akquiseprozess.¹⁸⁴

In Modulentwicklungsprojekten ist außerdem zu berücksichtigen, dass die zukünftigen kundenspezifischen Systementwicklungsprojekte, in deren Kontext das Modul als Konfigurationsbaustein herangezogen wird, nicht immer von Unternehmen derselben SH-Klasse in Auftrag gegeben werden. Auch aus diesem Grund würde ein starres, aus einer bestimmten Konstellation abgeleitetes Kundenanforderungsgefüge der Problemstellung nicht gerecht. Das Modul muss stattdessen hinsichtlich seiner Adäquatheit gegenüber aus verschiedenen **SH-Konstellationen** hervorgehenden Erwartungsgefügen betrachtet werden können. Im M-HoQ werden aus den Einzelgewichtungen der SH-Perspektiven sowohl die maximalen Gewichtungsdifferenzen als auch die Mittelwerte abgeleitet. Diese Werte sind Teil der **Aggregationsmetriken** des M-HoQ (vgl. nachfolgendes Unterkapitel) und haben je nach Fragestellung und zu treffender Entscheidung unterschiedliche Relevanz. Eine Sonderrolle spielen hierbei jene Eigenschaften, bezüglich derer aufgrund ihrer hohen **Sicherheitsrelevanz** oder der angestrebten Einstufung des Moduls in eine definierte **Leistungsklasse** a priori keine Kompromisse eingegangen werden können. Diese „Festforderungen“ werden methodisch dadurch berücksichtigt, dass SH-übergreifend die Maximalgewichtung angesetzt wird,¹⁸⁵ was im Gegensatz zu den übrigen Eigenschaften auch in der EE_M -Domäne erfolgt.

Durch das beschriebene Vorgehen, enthält das Modell einen Kern technisch-eigenschaftsbezogener Informationen und Abhängigkeiten, der für das betrachtete Modul allgemeine Gültigkeit besitzt, und das Projektionsobjekt repräsentiert. Das diesem gegenübergestellte, variable, und von der zugrunde gelegten SH-Konstellation abhängige Erwartungsgefüge stellt also eine weitere Dimension des in Unterkapitel 6.3.2 im Zusammenhang mit der Übersystembetrachtung eingeführten **Projektionsraums** dar. Bei der Definition der zur

¹⁸² Die Dynamik von SH-Rollen und vertraglichen Konstellationen in industriellen Wertschöpfungsnetzwerken wurde in Kapitel 2.2.2 exemplarisch anhand des Industriebeispiels der Offshore-Bohrindustrie aufgezeigt.

¹⁸³ Diese haben – wie bereits erwähnt – eine erhöhte Relevanz aus SH-Sicht. Dazu gehören zum einen die aus eigenschaftstypologischer Sicht horizontal höher aggregierten RE_M der Untersystembetrachtung des Moduls. Zum anderen die systemhierarchisch vertikal höher aggregierten $E_{ÜS}$ (vgl. Aggregationsdimensionen in Abbildung 5-2). Die EE_M hingegen, welche in ihrer Rolle den Qualitätsmerkmalen des QFD entsprechen, werden nicht aus SH-Sicht bewertet, sondern repräsentieren die elementaren Stellhebel der Entwicklerperspektive.

¹⁸⁴ Auch FRICKE [2003, S. 91] unterstreicht die Bedeutung der Gewichtung sowohl von Kundenanforderungen sowie von Systemanforderungen, um Prioritäten und Aufwand festlegen und sinnvoll umsetzen zu können.

¹⁸⁵ Damit wird dem Aspekt Rechnung getragen, dass Festforderungen nicht Gegenstand von Alternativenbewertungen sein sollten, da ihre Nichterfüllung zum Ausscheiden einer Alternative führen muss, und nicht durch die exzellente Erfüllung anderer Eigenschaften kompensiert werden kann (z. B. [VDI 2222 Blatt 1:1997, S. 15]).

Entscheidungsfindung heranzuziehenden SH-Konstellation, kann der Fokus beispielsweise auf eine möglichst breite Abdeckung der relevanten SH-Klassen gelegt werden, auf die Differenzierung verschiedener Unternehmen derselben SH-Klasse oder aber auf die Differenzierung der Präferenzen desselben SH unter verschiedenen vertraglichen Rahmenbedingungen. Der objektive, da SH-unabhängige Modellkern ist aus dem Modell extrahierbar und in anderen Projekten oder unter sich ändernden SH-bezogenen Präferenzgefügen **wiederverwendbar**.

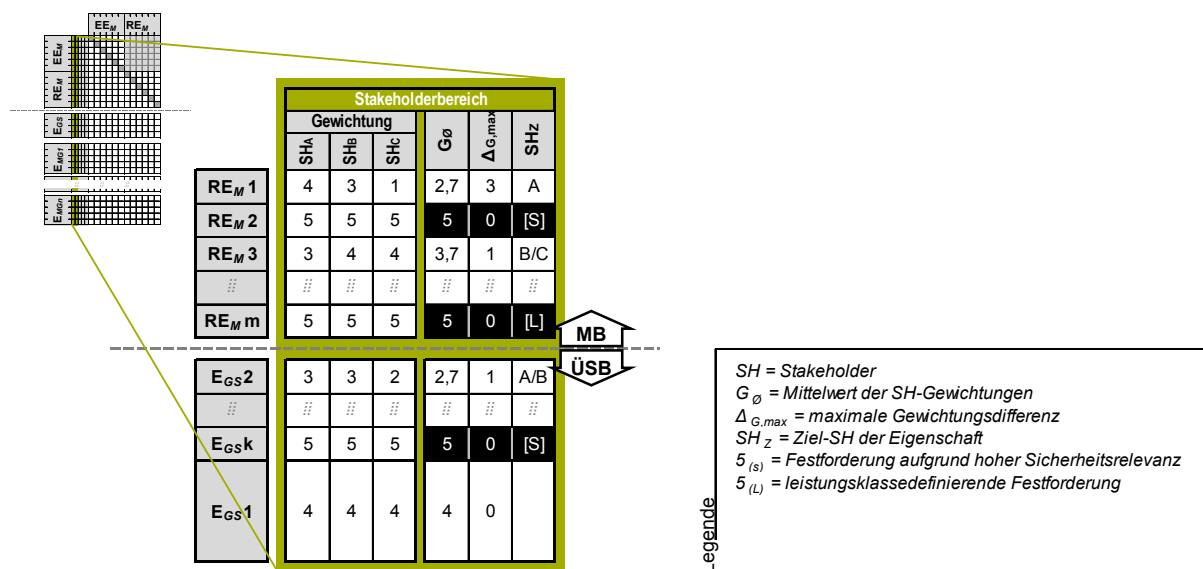


Abbildung 6-7: Stakeholderspezifische Gewichtungen sowie weitere aggregierte bzw. abgeleitete Informationen des SH-Bereichs (nicht alle Eigenschaftsdomänen dargestellt)

6.3.4 Aggregationsbereich und Anreicherung der Abhängigkeitsinformationen

Aggregationsbereich der Abhängigkeitsinformationen

Im vorigen Unterkapitel wurden unter anderem Möglichkeiten vorgestellt, die Informationen bezüglich der SH-Perspektiven mithilfe verschiedener Metriken zu aggregieren. Die Bedeutung der Eigenschaften welche zunächst differenziert für die einzelnen SH akquiriert und unaggregiert dargestellt werden, stellen die Basis für direkt abgeleitete Informationen dar, welche das Modell bezüglich des Vorliegens und der Ausprägung von Zielkonflikten anreichern. Diese **Zielkonflikte** sind prinzipiell nicht über die Veränderung der Eigenschaften einer Lösung auflösbar¹⁸⁶, da sie unabhängig von dieser existieren, und in unterschiedlichen Absichten und Wertschöpfungsrollen der Stakeholder begründet sind. Der Konfliktaspekt ist hier **interessensbezogen**.

¹⁸⁶ Obschon die Existenz der Lösung selbst und der mit ihr verbundene Zweck bzw. Nutzen für die involvierten SH Voraussetzung für die Konfliktexistenz sind.

Ein anderer Konflikaspekt bezieht sich auf **Zielbeziehungen** im Sinne konkurrierender Eigenschaften, die als inhärenter Teil einer (technischen) Lösung unabhängig von deren Bedeutung für einen Betrachter vorliegen.¹⁸⁷ Zielbeziehungen werden im traditionellen QFD als Korrelationen der Qualitätsmerkmale im Dach des HoQ dargestellt (Vgl. Kapitel 4.3.3), wobei der Umgang mit diesen Informationen Gegenstand verschiedener Kritikpunkte ist (Teilfazitkapitel 4.4). Insbesondere gilt dies für das Fehlen von Empfehlungen für eine weitere Nutzung oder Verarbeitung dieser Informationen im Entscheidungsprozess beziehungsweise im matrixenbasierten Informationssystem beispielsweise im Rahmen der Bewertung der technischen Schwierigkeit der Umsetzung eines Qualitätsmerkmals.¹⁸⁸

Im M-HoQ hingegen erfolgt die Weiterverarbeitung der **intramodularen (das Modul betreffenden) Zielbeziehungen** auf mehreren Stufen, wie in Abbildung 6-8 dargestellt, welcher auch die zugehörigen Rechenoperationen und Bedeutungen zu entnehmen sind. Zunächst wird zu jeder EE_M in ihrer Funktion als E_{Quelle} (also spaltenweise) ein **Korrelationsprofil** abgeleitet, welches ein Indikator dafür ist, wie groß die positive und negative Beeinflussungsstärke dieser EE_M auf die übrigen EE_M ist, sowie wie diese verteilt ist.¹⁸⁹ Auf die Submetriken des Korrelationsprofils wird wiederum durch jede RE_M/EE_M -Relation derselben Spalte zugegriffen, und durch Verrechnung mit deren Werten in eine **Korrelationstendenz** überführt.

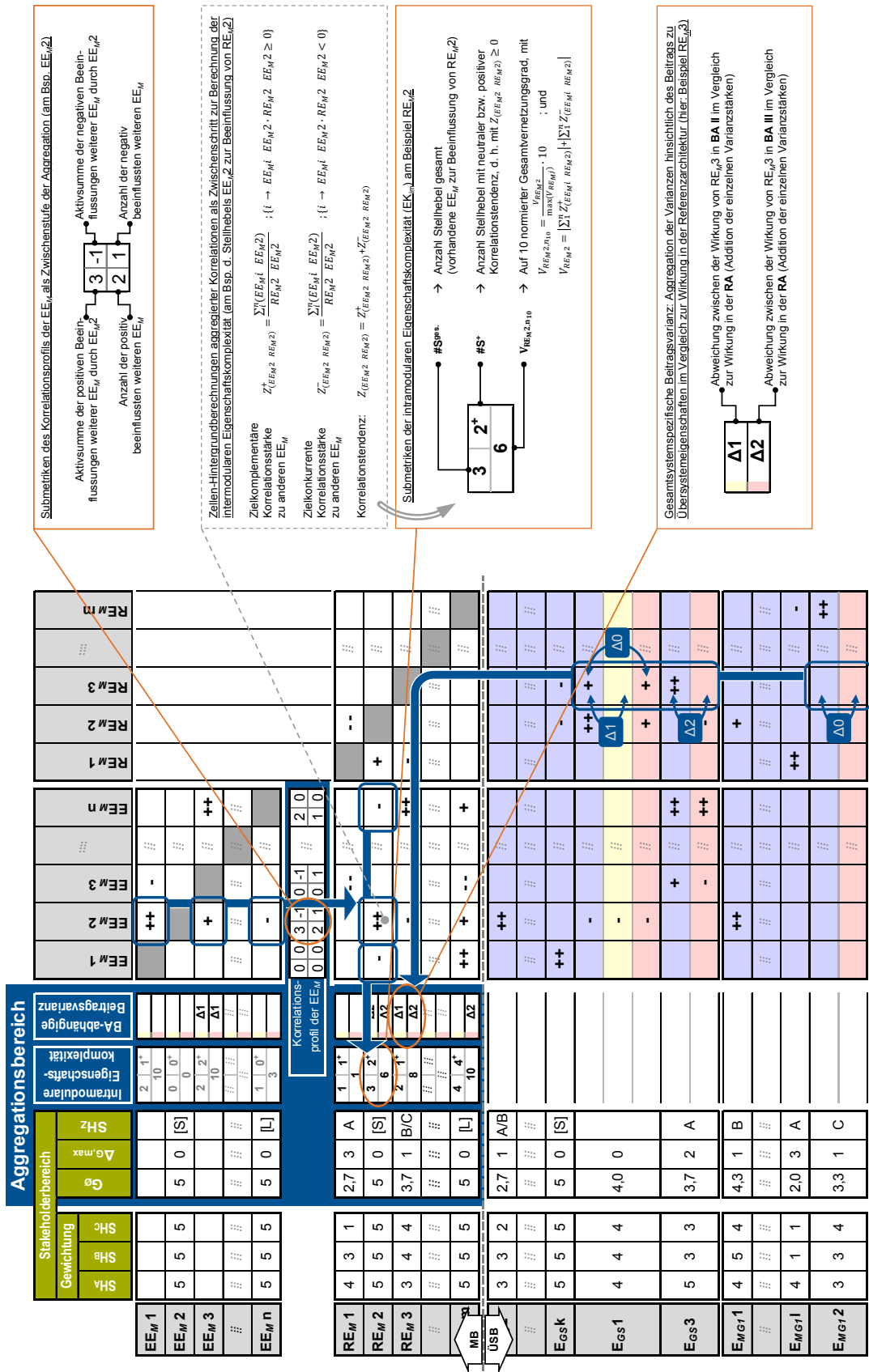
Diese als Metainformation vorgehaltenen Informationen stellen wiederum die Basis für die Berechnung der „**intramodularen Eigenschaftskomplexität**“ („**EK_{im}**“) dar, welche für jede RE_M in ihrer Funktion als E_{Senke} (also zeilenweise über alle RE_M/EE_M -Relationen) aggregiert wird. Die EK_{im} bildet den zweiten Informationsblock im **Aggregationsbereich** (neben den im vorigen Unterkapitel behandelten SH-bezogenen **Aggregationsmetriken**). Anhand der drei Submetriken der EK_{im} , deren automatisierte Berechnung eine Kernanforderung an ein entsprechendes rechnerunterstütztes Tool darstellt, wird auf einen Blick ersichtlich,

- wie viele „**Stellhebel**“ in Form von direkt beeinflussbaren EE_M zur Beeinflussung einer RE_M theoretisch lösungsseitig **insgesamt** zur Verfügung stehen ($\#S^{ges.}$),

¹⁸⁷ EILETZ [1999, S. 13 ff.] unterscheidet die Zielbeziehungsarten *Zielneutralität* (Ziele sind hinsichtlich ihrer Erfüllbarkeit unabhängig voneinander), *Zielkomplementarität* (die Erfüllung eines Ziels geht mit der eines anderen einher) sowie den *Zielkonflikt*, der als *Zielkonkurrenz* (die Erfüllung eines Ziels geht mit der Nicht-Erfüllung eines anderen einher) und als *Zielantinomie* (sich ausschließende Ziele, Konfliktextremfall) auftreten kann. Im Zusammenhang mit der Konkurrenzrelation betont ROPOHL [2009, S. 153], dass dabei im Allgemeinen keine alles-oder-nichts-Fragestellung vorliegt, sondern Abwägungen hinsichtlich der Frage von Bedeutung sind, in welchem Maß der Erfüllungsgrad eines Ziels zu Gunsten eines anderen zu verringern ist.

¹⁸⁸ Im klassischen QFD fließt der Schwierigkeitsaspekt der Korrelationen zu anderen Qualitätsmerkmalen hier nicht ein.

¹⁸⁹ Beim Abprüfen einzelner EE_M hinsichtlich ihrer Stellhebelfunktion bietet sich dadurch die Möglichkeit, auf einen Blick unmittelbar den Vernetzungsgrad der EE_M mit anderen EE_M einzubeziehen.



Vgl. Kapitel 10.2 im Anhang zu den Details zur Berechnung der Metriken des hier gezeigten Beispiels

Zahlenwerte der genutzten Symbole: "++" = 2; "+" = 1; "-" = -1; "0" = 0; "0-" = -2
 Farbcodes im Übersystembereich [Referenzarchitektur (R)] = Basisarchitektur I (BA I); [Basisarchitektur II (BA II)]; [Basisarchitektur III (BA III)]

Abbildung 6-8: Aggregationsbereich des M-HoQ und Erläuterung der Metriken anhand ihrer Berechnungspfade

- wie viele von diesen Stellhebeln eine **neutrale oder positive Korrelationstendenz** aufweisen, also in der aufsummierten Stärke – bei ihrer Variation in die zur positiven Beeinflussung der betreffenden RE_M nötigen Richtung – eine insgesamt neutrale bzw. zielkomplementäre Beeinflussung anderer EE_M zur Folge haben, und sich daher als vielversprechende Variationskandidaten hervortun ($\#S^+$)¹⁹⁰,
- wie hoch der **Gesamtvernetzungsgrad** der betrachteten RE_M innerhalb der Untersystembetrachtung ist (V_N)¹⁹¹

Diese Erklärungen, sowie die in Abbildung 6-8 (von oben kommender Aggregationspfad) erläuterten Berechnungen, beziehen sich auf die EK_{im} der RE_M -Domäne. Die Berechnung der analogen Submetriken in der EE_M -Domäne ist weniger aufwändig und erfolgt über (gleiche Reihenfolge wie zuvor für die RE_M)

- die Passivsumme¹⁹² aller ungewichteten Beeinflussungen
- die Passivsumme der positiven ungewichteten Beeinflussungen, sowie
- die normierte Passivsumme aller gewichteten Beeinflussungen

Um der modulzentrierten Perspektive vollständig gerecht zu werden, werden zusätzlich zu den intramodularen Zielbeziehungen jene Informationen in den **Aggregationsbereich** gespiegelt (dritter Informationsblock), die sich aus gesamtsystemspezifisch unterschiedlichen Beiträgen von Moduleigenschaften zu Eigenschaften im Übersystem ableiten (Abbildung 6-8, von unten kommender Aggregationspfad). Der Aggregationsbereich des M-HoQ stellt damit ein Informationscockpit dar, mit dessen Hilfe für jede RE_M – also für die Eigenschaften der eigentlichen Zieldomäne der Modulentwicklung (Nullniveau) – Transparenz generiert wird, sowohl hinsichtlich ihrer Bedeutung im Gesamtwertegefüge der Stakeholdererwartungen als auch im Kontext ihrer Abhängigkeiten innerhalb der spezifischen technischen Lösung des Moduls und der Auswirkungen durch dessen Einbettung in verschiedene Gesamtsysteme.

Unmittelbare und mittelbare Abhängigkeiten als Folge der Abbildung von Intra-Domänen-Korrelationen

Wie in Unterkapitel 6.3.1 (vgl. Abbildung 6-3, rechter Pfad) hergeleitet, besteht ein essenzieller Unterschied gegenüber den meisten QFD-Ansätzen darin, dass zum einen Intra-Domänen-

¹⁹⁰ Durch die Division durch den jeweiligen *Wert* (Stärke) der EE_M/RE_M -Zelle wird eine bessere Vergleichbarkeit angestrebt, indem ähnlich starke Veränderungen einer RE_M über eine Stellgröße betrachtet werden. Als alternative oder zusätzliche Submetriken sind die Anzahl der Stellhebel ohne Beeinflussung weiterer EE_M denkbar, bzw. die Anzahl der Stellhebel, die eine definierte Anzahl an Korrelationen nicht überschreitet. Dies bietet sich vor allem im Fall stark begrenzter Ressourcen oder sehr komplexer Systeme an, um eine Vorauswahl an Stellhebeln zu ermöglichen, deren Variationsauswirkungen einen definierten Beherrschbarkeitsrahmen nicht überschreiten.

¹⁹¹ Die Normierung des Vernetzungsgrads erfolgt in der Form, dass dem maximalen vorhandenen Vernetzungsgrad der Wert 10 gegeben wird. Neben der Vergleichbarkeit mit anderen RE_M ergibt sich aus dem Gesamtgefüge der V_N für erfahrene Nutzer beim Vergleich unterschiedlicher Entwicklungsprojekte auch ein Indikator für die Komplexität des Entwicklungsproblems.

¹⁹² Vgl. hierzu beispielsweise LINDEMANN ET AL. [2009, S. 201] und dort aufgeführte Grundlagenliteratur, wobei im Zusammenhang mit matrixbasierten Metriken stets die Vorgaben bzgl. der Leserichtung zu beachten sind (vgl. Abbildung 4-11).

Korrelationen nicht nur im Bereich der E_{EM} abgebildet werden (welche in ihrer prinzipiellen Rolle den Qualitätsmerkmalen des traditionellen QFD entsprechen), sondern auch im Bereich der RE_M . Darüber hinaus erfolgt diese Abbildung in beiden Domänen durch die Darstellung als DSM in gerichteter Form. Als positiver Nebenaspekt dieser Informationshandhabung ergibt sich die Möglichkeit, innerhalb aller Matrizen des Modells mit einer **durchgängig genutzten Syntax und Semantik** (inklusive einer einheitlichen Leserichtung „Spalte beeinflusst Zeile“) zu arbeiten, was eine Vereinfachung darstellt und Missverständnissen vorbeugt.¹⁹³

Gleichzeitig wird diese Form der Informationshandhabung als direkte Konsequenz des adaptierten Anforderungsverständnisses als notwendig erachtet. Darüber hinaus stellt es aus Sicht des Autors auch im klassischen QFD eine nicht weiter begründete, stark vereinfachende Annahme dar, Abhängigkeiten zwischen den forderungsbezogenen, „weichen“ Eigenschaften zu vernachlässigen. Die Auswirkungen dieser Vereinfachung auf die Berechnungsergebnisse (z. B. die numerische Gesamtbewertung aus technischer Sicht, vgl. Abbildung 4-12, Schritt 7) sind dabei nicht transparent. Das einfache Beispiel dieser Abbildung enthält die Forderungen „soll leise sein“ und „soll nicht vibrieren“, deren Abhängigkeit nicht von der Hand zu weisen ist, was den Methodenanwender zwangsläufig vor die Frage stellt, ob alle Qualitätsmerkmale, welche einen Einfluss auf die Vibration haben, nicht auch die Lautstärke betreffen und wie darüber hinaus mit der Verteilung der Einflussstärken umzugehen ist.

Im M-QFD hingegen folgt die erwähnte Abbildung der Intra-Domänen-Korrelationen einer bewussten **Akzeptanz von Abhängigkeiten** auch in der Domäne der RE_M . Zwar wird die Prämisse aufrechterhalten, bei der Formulierung von RE_M eine größtmögliche Unabhängigkeit und Überschneidungsfreiheit anzustreben. Andererseits sollte die zielführende Anwendung und die „Richtigkeit“ der Ergebnisse einer Methode nicht von einer vollständigen praktischen Erreichbarkeit einer – durch das theoretische Konstrukt des Unterstützungsmodells – geforderten Unabhängigkeit abhängig gemacht werden, weshalb dies bewusst nicht vorausgesetzt wird. Stattdessen geht die Methodik den Weg, prinzipiell alle Abhängigkeiten aufzunehmen, allerdings eine Unterscheidung in **unmittelbare und mittelbare Abhängigkeiten** vorzunehmen (vgl. Abbildung 6-9). Mittelbare Abhängigkeiten werden grafisch abgeschwächt dargestellt (beispielsweise durch Ausgrauen und/oder Einklammern). Insbesondere im Kontext der Methodenanwendung durch große Entwicklungsteams mit einer gewissen Personalfuktuation wird es als unabdingbar angesehen, dass stets allen Beteiligten gegenwärtig ist, welche Abhängigkeiten bereits berücksichtigt wurden und dadurch nicht erneut abgeschätzt beziehungsweise bewertet werden müssen.

Potenzielle mittelbare Abhängigkeiten liegen immer dann vor, wenn mehrere Abhängigkeitspfade von einer E_{Quelle} zu einer E_{Senke} führen. Diese durchgängig und fehlerfrei zu erkennen würde jedoch schnell die kognitiven Fähigkeiten eines menschlichen Anwenders übersteigen

¹⁹³ Die in den hier gezeigten Abbildungen genutzte Zeichenmenge $\{++, +; \}; -, --\}$, die den Bedeutungen „stark positiver Beitrag“, „positiver Beitrag“, „kein Beitrag“, „negativer Beitrag“, „stark negativer Beitrag“ entspricht und in die Berechnungen der Metriken in Form der Zahlenwerte $\{2; 1; 0; -1; -2\}$ eingehen, stellt lediglich einen möglichen Lösungsvorschlag dar. Dieser kann nach Bedarf modifiziert werden, beispielsweise durch eine größere Menge an differenzierbaren Beitragsstärken und/oder eine nichtlineare Spreizung (z. B. $\{0; \pm 1; \pm 3; \pm 9\}$), wie sie in vielen anderen QFD-Beispielen Anwendung findet.

oder zumindest einen unverhältnismäßig starken Aufwand erfordern. Daher sieht die Methodik eine Arbeitsteilung zwischen Anwendern und einer entsprechenden Rechnerunterstützung vor, bei der das System auf das potenzielle Vorliegen mittelbarer Abhängigkeiten hinweist, die eigentliche Entscheidung der Kennzeichnung jedoch vom Anwender einfordert. Bei dieser Bewertung steht die zentrale Frage im Raum, ob bei dem als direkt eingetragenen Pfad implizit ebenfalls die Wirkungskette des als über zwei (oder mehrere) Stufen eingetragenen Pfads zugrunde liegt. Ist dies der Fall, ist die Relation des direkten Pfads als mittelbare Abhängigkeit zu kennzeichnen. Lediglich wenn beiden Pfaden unterschiedliche Wirkweisen zugrunde liegen, werden beide als unmittelbar behandelt. Wie ebenfalls dargestellt, kann das Vorliegen mittelbarer Abhängigkeiten auf Intra-Domänen-Korrelationen innerhalb der EE_M -Domäne („{“-Typ) oder der RE_M -Domäne („()“-Typ) zurückzuführen sein. Diese werden durch das System automatisch unterschieden, da beispielsweise für die Berechnung der intramodularen Eigenschaftskomplexität lediglich jene aus der EE_M -Domäne resultierenden relevant sind.

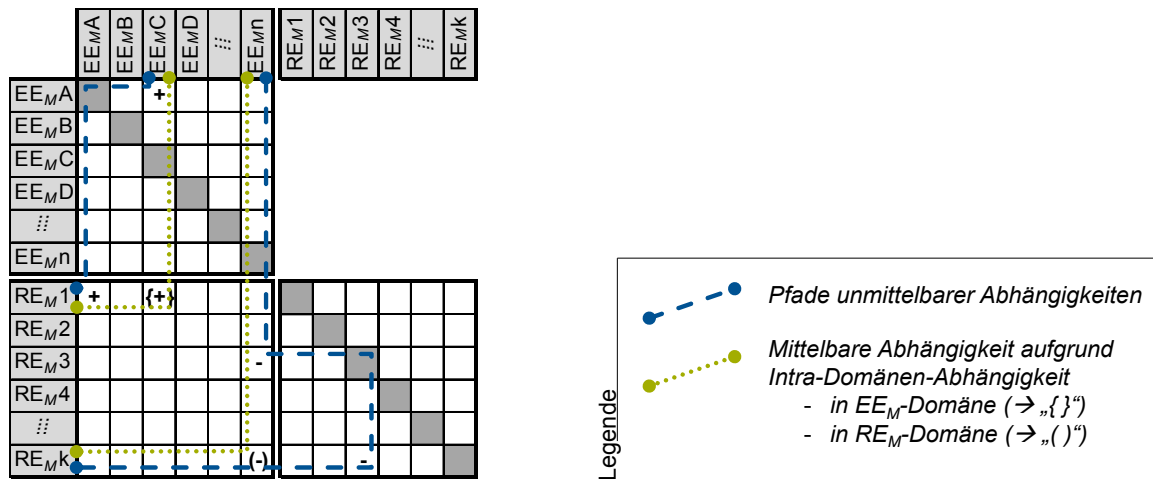


Abbildung 6-9: Mittelbare Abhängigkeiten resultierend aus gerichteten Relationen innerhalb der EE_M - bzw. der RE_M -Domäne

Dem dargestellten, transparenzorientierten Umgang mit den Relationsinformationen liegt die im Vergleich zum traditionellen QFD verschobene Schwerpunktlegung zugrunde. Im QFD findet in der Phase der Qualitätsplanung im HoQ eine Konzentration auf die Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten statt, nach deren Berechnung (unter Inkaufnahme potenzieller Fehlerbehaftung durch oben genannte implizit vorausgesetzte Unabhängigkeit der Anforderungen) für die Unterstützung der anschließenden Entwicklungsphasen sequenziell nachfolgende Matrixsysteme genutzt werden. Im M-QFD mit dem Primärziel der Transparenzschaffung hingegen liegt das Hauptaugenmerk auf der Übersichtlichkeit des nach und nach verfeinerten, und weit in die eigentliche Entwicklungsphase hinein begleitenden Modells (dieser Aspekt wird im nächsten Abschnitt vertieft behandelt). Bei den analytischen und interpretatorischen Tätigkeiten kann eine Fokussierung auf die unmittelbaren Zusammenhänge stattfinden. So dienen auch die Metriken des zuvor behandelten Aggregationsbereichs nicht der „logischen“ Ableitung automatisch aus der Berechnung resultierender Entscheidungen, sondern sollen

einerseits Orientierung im Gesamtgefüge geben und die lokale Problemanalyse und -lösung unterstützen, bei der involvierte Teilmengen von Eigenschaften näher betrachtet werden.

Variationssensitivität auf Basis konkretisierter Lösungskonzepte

Die bisher behandelten Aspekte der Modellsyntax und -semantik¹⁹⁴ des M-HoQ weisen gegenüber dem klassischen HoQ zwar essenzielle Modifikationen des strukturellen Aufbaus, des Domänenverständnisses und der dadurch nutzbaren und problemspezifisch sinnvollen Aggregationsmöglichkeiten auf. Das Grundprinzip der Abbildung eines generellen Abhängigkeitsgefüges zur Ableitung von Entwicklungszielen und Handlungsmöglichkeiten stellt jedoch eine klare Parallele dar. Diese sogenannte Grundvernetzung ist im M-QFD jedoch lediglich die Grundstufe der Informationsabbildung, und damit die Basis für Entscheidungen während der frühen Phase der Produktdefinition. Das Vorliegen erster konkreter Syntheseergebnisse¹⁹⁵ ab einem bestimmten Zeitpunkt im Entwicklungsprozess, welche im Laufe der Produktentwicklung variiert und verfeinert werden, wird im M-QFD durch eine zuschaltbare **Syntaxerweiterung** berücksichtigt, welche die Abhängigkeiten der Grundvernetzung hinsichtlich ihres Informationsgehalts detailliert.

Die in den Relationen hinterlegten Informationen werden dabei durch die **Sensitivität** der E_{Quelle} bezüglich ihrer Reaktion auf eine Variation der E_{Senke} ergänzt. Ausgangspunkt dieser hypothetischen Variation ist die zum Betrachtungszeitpunkt vorliegende Ausprägungskonstellation der zur Beschreibung des Moduls definierten Eigenschaften. Die Variation der E_{Quelle} erfolgt dabei sowohl in als auch entgegen der definierten Vorzugsrichtung¹⁹⁶. Mit zunehmendem Entwicklungsfortschritt können die Werte genauer und mit abnehmender Unsicherheit bestimmt werden. Jede Relationszelle bietet für beide Variationsrichtungen jeweils ein Feld, in welchem über die definierte Pfeil-Symbolik eingetragen werden kann, ob sich die E_{Senke} bei Variation der E_{Quelle} im Umgebungsbereich ihrer Momentanausprägung tendenziell stark/sprunghaft, schwach/kontinuierlich oder überhaupt nicht in ihrer Ausprägung ändert. Weitere Möglichkeiten sind der komplette Abfall bestimmter E_{Senke} – z. B. bei Eliminierung einer funktionalen Eigenschaft – oder die Angabe, dass eine weitere Variation einer Eigenschaft in eine bestimmte Richtung nicht mehr möglich ist. Abbildung 6-10 zeigt dies exemplarisch für die Inter-Domänen-Korrelationen EE_M/RE_M , das Prinzip ist jedoch für alle Domänenpaarungen identisch.

¹⁹⁴ Nach BRACHMAN & LEVESQUE [2004, S. 15 f.] werden über die Syntax einer Sprache die dafür nötigen Symbolgruppen definiert, sowie die Art und Weise, diese im Sinne richtiger Ausdrücke zu arrangieren. Die Bedeutung letzterer ist Inhalt der Semantik, die Verwendungsbestimmungen hingegen der Pragmatik.

¹⁹⁵ Laut WEBER [2005] kann der Entwicklungsprozess als Alternation von Synthese- und Analyseschritten aufgefasst werden, wobei im Analyseschritt die durch die vorangegangenen Syntheseschritte festgelegten Eigenschaften erfasst werden, deren – im Rahmen der Evaluation festgestellten – Abweichungen von den definierten SOLL-Eigenschaften wiederum Ausgangspunkt für den folgenden Syntheseschritt sind (vgl. Kapitel 3.3.2).

¹⁹⁶ Diese ist – analog zum QFD – als losgelöst von der Gesamtlösung bzw. zu findender Kompromisse als positiv zu erachtende Variationsrichtung der Ausprägung einer Eigenschaft definiert. Je nach Eigenschaft ist die Angabe bezüglich eines kontinuierlichen Spektrums oder im booleschen Sinne vorliegender Ausprägungsalternativen erforderlich.

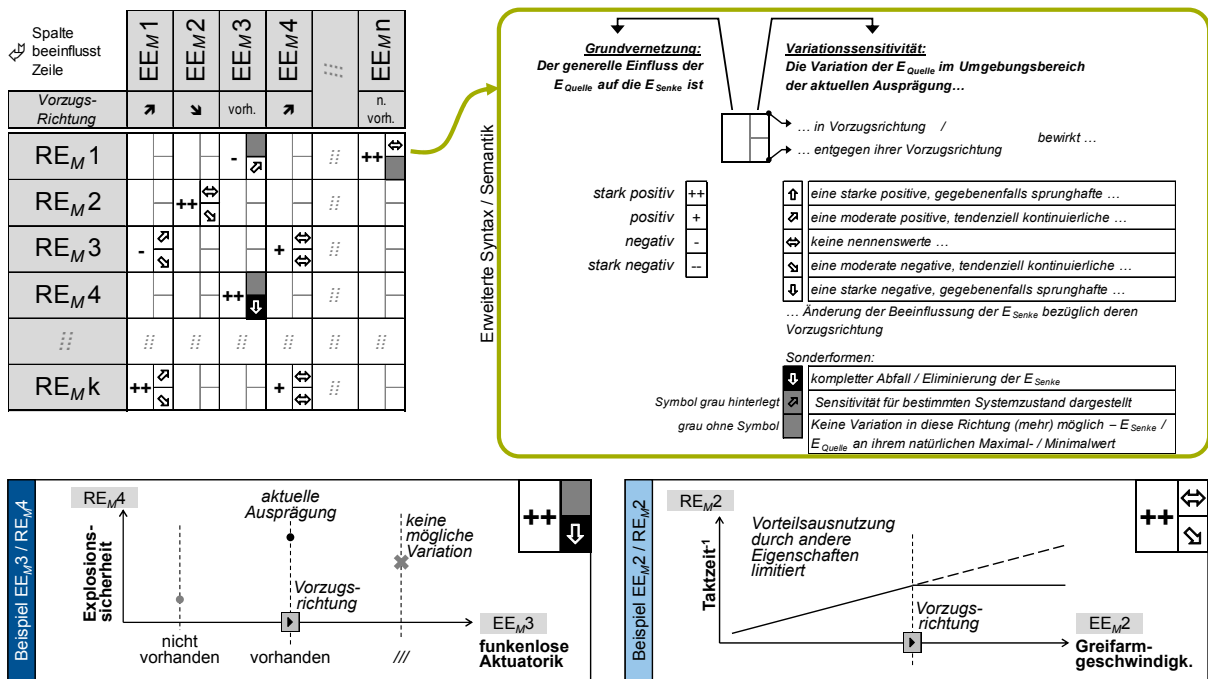


Abbildung 6-10: Abbildung der Variationssensitivität im M-HoQ auf Basis konkretisierter Lösungskonzepte

Am Beispiel eines Robotermoduls, das auf einer Anlage mit potenzieller Gasaustrittsgefahr zum Einsatz kommt, wird die angesprochene Syntaxerweiterung der **Variationssensitivität** anhand der Relationen $\{EE_{M3}/RE_{M4}\}$ und $\{EE_{M2}/RE_{M2}\}$ erläutert. Beide Paarungen weisen in der Grundvernetzung zunächst einen starken positiven generellen Einfluss der EE_M auf die RE_M auf („++“), welcher weitestgehend unabhängig von der konkreten Umsetzung eines Lösungskonzepts ist. Darüber hinaus enthalten die rechten Felder der Zellen Informationen über den zum Zeitpunkt der Betrachtung beziehungsweise der Analyse vorliegenden Zustand der Gesamtlösung. In den zugehörigen qualitativen Schaubildern ist dieser Zustand jeweils in der Mitte dargestellt, von wo aus durch einen Pfeil die Vorzugsrichtung angezeigt ist. So ist im aktuellen Lösungsvorschlag eine funkenlose Aktuatorik vorgesehen. Eine Variation entgegen der Vorzugsrichtung – also ein Verzicht auf diese Ausführung – hätte einen sprunghaften Abfall der Explosionssicherheit der Anlage zur Folge. Eine weitere Variation in Vorzugsrichtung ist hingegen nicht möglich.

Das zweite Beispiel zeigt, dass eine Geschwindigkeitsreduzierung des Robotergreifarms sich grundsätzlich negativ auf die Taktzeit eines Transportprozesses auswirken würde. Eine weitere Geschwindigkeitssteigerung hätte hingegen keinen analogen Zeitgewinn zur Folge, was aus den Momentanausprägungen weiterer Eigenschaften resultiert, die ebenfalls als Ergebnis der Analyse der Gesamtlösung als **Engpasseigenschaften** für die betrachtete Relation identifiziert wurden. So erlaubt die Haltekraft des Greifarms beispielsweise keine höheren Beschleunigungskräfte und das Empfängermodul des transportierten Guts (welches Bestandteil des Übersystems ist) hat bei der momentan erreichbaren Taktzeit seine Grenztaktzeit. Die Zelle enthält diese Information durch den horizontalen Pfeil für die hypothetische Variation in Vorzugsrichtung.

Durch die Erweiterungen der Syntax und Semantik gegenüber dem traditionellen QFD wird ein über die Transparenz der Grundabhängigkeiten (und davon abgeleitete Entwicklungsziele) hinausgehender, durchgängigerer Mehrwert für die weitere Entwicklungsarbeit angestrebt, der die Anpassung des Informationsgehalts an die Bedarfe der entsprechenden Phasen erfordert. Insbesondere werden die Anforderungen bezüglich eines stärkeren **Synthesebezugs**, sowie einer vollständigeren Abdeckung des **Qualitätsbegriffs** im QFD über eine bessere Identifizierbarkeit und Differenzierbarkeit von Formen der Eigenschaftsübererfüllung aufgegriffen und dadurch den aus dem Handlungsfeld 2 – „Schwerpunkte und Funktionalitäten der Methodik“ – abgeleiteten Anforderungen A6 und B5 Rechnung getragen. Auf die Möglichkeiten der Nutzung dieser Informationen im Entwicklungsprozess wird im nachfolgenden Teilkapitel sowie anhand von Beispielen im Rahmen der Evaluation in Kapitel 7.1.3 weiter eingegangen.

6.4 Vorgehen des M-QFD

6.4.1 Übersicht über das Vorgehen aus Interaktionssicht mit dem M-HoQ

Wie in Kapitel 6.2 im Kontext der Übersicht über die Gesamtmethodik beschrieben, ist das Vorgehen des M-QFD maßgeblich durch das entwickelte Metamodell (M-HoQ) determiniert, welches in Kapitel 6.3 vorgestellt wurde. Besondere Relevanz hat dies im Rahmen der initialen Aufbauphasen, in denen die **Etablierung der modulzentrierten Perspektive** sichergestellt wird und eine entscheidende Beeinflussung der initial zu akquirierenden und zu vernetzenden, und in der Folge zu analysierenden und auszubauenden Informationen stattfindet.

Die Systematik des Planungsvorgehens leitet sich dabei von der Struktur des Metamodells ab, welches seinerseits nach Instanziierung Empfänger des Outputs der Tätigkeiten ist und diesen gliedert (vgl. Abbildung 6-11, Inputelemente 0 bis 5). Die Akquise und Ermittlung benötigter Informationen wird dabei essenziell durch weitere Modelle und Analysedaten unterstützt. So geht während der Aufbauphase aus dem M-HoQ beispielsweise hervor, welche Eigenschaften bezüglich ihrer Abhängigkeiten zu vernetzen sind, zur Abschätzung einzelner Abhängigkeiten selbst leistet das Modell jedoch keine Unterstützung. Darüber hinaus profitiert das Planungsteam bereits in dieser Phase von der nach und nach hervortretenden Transparenz, wodurch ein gemeinsames modulzentriertes Systemverständnis gefördert wird, und beispielsweise frühzeitig Zielkonflikte erkannt und beseitigt werden können. Auf die Aufbauphase zur Etablierung der modulzentrierten Perspektive und die aus Modellsicht erstellungsorientierten Schritte dieser Phase wird in Abschnitt 6.4.2 eingegangen.

In den Folgephasen (ausgehend von einer erreichten Grundvernetzung des Modells) nimmt die Bedeutung der Rolle des **M-HoQ als diskret genutztes Analyseobjekt** zu, womit eine Zunahme seines Informationsgehalts und eine Abnahme der enthaltenen Unsicherheit einhergehen. Bewertungs- und Entscheidungssituationen können durch die Transparenz des dargestellten Gesamtgefüges der Moduleigenschaften im Kontext des definierten Projektionsraums sowie der aggregierten Informationen direkt unterstützt werden. Die „direkte“ Modellnutzung ist jedoch keinesfalls auf Analysezwecke beschränkt, für die die unmittelbar ablesbaren Informationen und interpretierbaren Zusammenhänge als Input herangezogen und verarbeitet werden. Vielmehr kann es auch zur Unterstützung syntheseorientierter Vorgehensaktivitäten

herangezogen werden, indem Potenziale für Handlungsmöglichkeiten abgeleitet, Konkretisierungsvorschläge hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Gesamtgefüge überprüft und nicht zuletzt veränderte Parameterwerte und deren Auswirkungen im Sinne einer „korrigierenden Variation“¹⁹⁷ überprüft werden können.

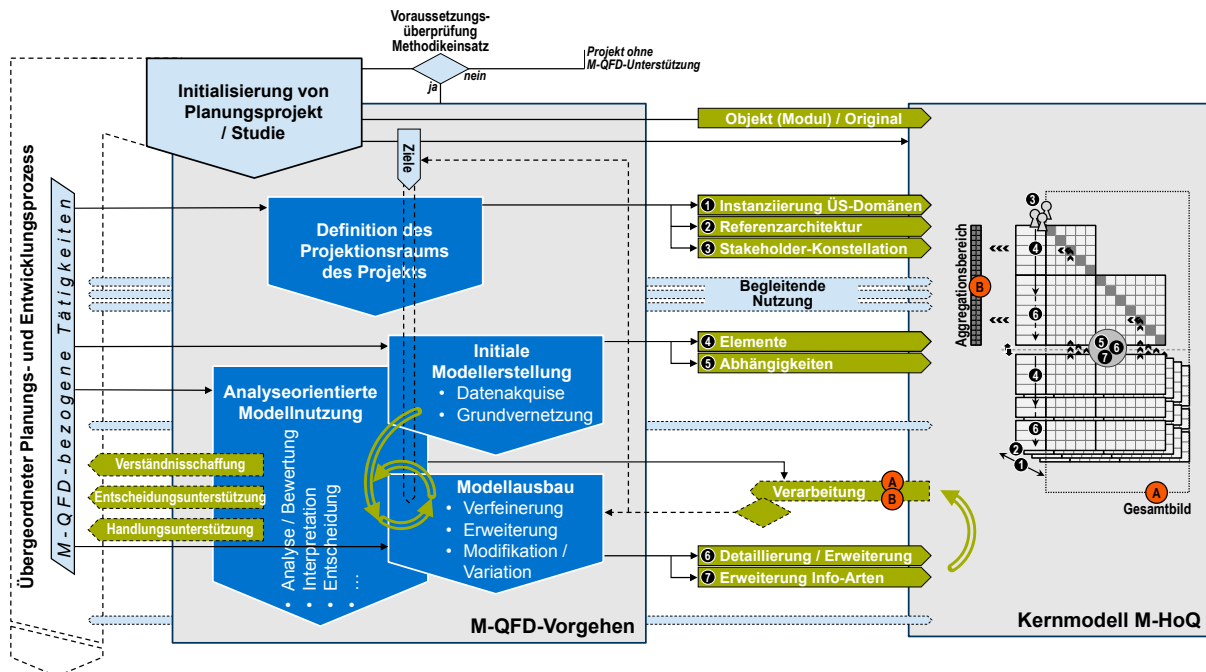


Abbildung 6-11: Prozessunterstützung durch das M-QFD-Vorgehen sowie Ergebnisbeitrag der Vorgehensschritte zur Instanziierung, zum schrittweisem Ausbau und zur Detaillierung des M-HoQ

Die Ergebnisse **syntheseorientierter Vorgehensaktivitäten** sind wiederum Quelle weiteren Inputs in das Modell, anhand dessen die Lösung verfeinert wird und das Wissen über die Eigenschaften der Lösung zunimmt. Jedoch ist auch bezüglich dieser Phase klarzustellen, dass das M-HoQ nicht als primäres Modell der Lösungsentwicklung zu verstehen ist und auch als Modell der Lösungsrepräsentation zwar eine zentrale, aber keine hinreichende Funktion erfüllt. Die Synthese erfolgt vorrangig auf Basis des Einsatzes anderer, teilweise disziplinspezifischer Modelle¹⁹⁸, während das M-HoQ eine Integrations- und Aufbereitungsfunktion der Informationen übernimmt, die einen Gesamtüberblick über die Zusammenhänge geben und eine disziplinübergreifende Kommunikation fördern. Die unterschiedlichen Ebenen der Modellnutzung repräsentieren den originären Zweck und Mehrwert der Methodik und sind Gegenstand der Abschnitte 6.4.3 und 6.4.4.

Das Vorgehen wird in den folgenden Abschnitten anhand des **Anwendungsszenarios der umfassenden Weiterentwicklung eines bestehenden Moduls** (für dessen Vorgängermodul

¹⁹⁷ PONN & LINDEMANN [2011, S. 150] unterscheiden zwischen „generierend variierenden“ und „korrigierend variierendem“ Entwicklungsvorgehen.

¹⁹⁸ beispielsweise Layout-Darstellungen einer Anlage oder Grobschaltpläne eines Hydraulikkonzeptes

kein M-HoQ-Modell als wiederverwendbare und zu modifizierende Basis vorliegt) beschrieben, was dem Hauptanwendungsszenario der Methodik entspricht und den **maximalen Vorgehensumfang** repräsentiert. Weitere Szenarios – wie beispielsweise die Unterstützung der Schwachstellenanalyse durch die Modellierung bestehender Module oder die Wiederverwendung bestehender Modelle – werden parallel hinweisend behandelt.

6.4.2 Etablieren der modulzentrierten Perspektive in der frühen Planungsphase

Initialisierungsphase eines Planungsprojekts oder einer Studie

Zentrales Outputelement der formalen Initialisierung eines Modulprojektes ist das dieses Projekt **definierende Modul**. Es stellt als Modellierungsobjekt den primären Input in den Modellierungsbereich dar. Die Initialisierung kann dabei Ergebnis eines übergeordneten oder vorgelagerten Prozesses¹⁹⁹ sein, oder aber der Entscheidung über ungeplant auftretende Möglichkeiten oder Notwendigkeiten²⁰⁰. Beide sollten idealerweise ergänzend genutzt werden und nicht exklusiv. Die ebenfalls im Rahmen der Projektinitialisierung definierten Ziele sollten darüber hinaus im Einklang mit **strategischen Vorgaben und Rahmenbedingungen** stehen.²⁰¹ So kann das entstehende Gesamtbild auf Strategiekonformität überprüft werden. Ist diese Voraussetzung jedoch nicht gegeben (z. B. wenn die aktuelle Lage ein Unternehmen zu reaktivem Handeln zwingt), ist die Schaffung von Transparenz ein umso wichtigeres Mittel, um zu überprüfen, ob sich zumindest ein stimmiges, widerspruchsfreies Gesamtbild ergibt. Während die Strategiebildung selbst nicht Gegenstand von M-QFD ist, liegt deren Plausibilisierung klar im Zielbereich der Methodik, ebenso wie die strategieabhängige Verfolgung unterschiedlicher operativer Unterstützungsziele.

Strategische Schwerpunktaspekte für ein konkretes Modulplanungsprojekt determinieren einerseits die im Fokus stehenden Eigenschaften des Moduls. Hier hat speziell die vorgesehene **Portfolioauswirkung** einen großen Einfluss, also ob es sich um die substitutive Ablösung des Vorgängermoduls handelt, die Variantenbildung eines bestehenden Moduls, die Planung mehrerer Varianten oder gar die Erweiterung des eigenen Portfolios um neue oder bislang nur von Wettbewerbern angebotene Module. Darüber hinaus bildet die Strategie die **Grundlage für die Definition des Projektionsraums** eines Modulentwicklungsprojekts, insbesondere hinsichtlich des **Zielmarkts bezüglich der Gesamtsysteme** in die es eingebettet sein soll, inklusive der geplanten Eintrittsphasen in deren Lebenszyklen, wobei in erster Linie die Unterscheidung zwischen Systemneubauten, -modernisierungen und -überholungen von

¹⁹⁹ Z. B. Vorentwicklungsprozesse oder strategisch geplante Modulroadmaps (einen Überblick über allgemeine Roadmapping-Ansätze gibt HEPERLE [2013, S. 40 ff.]).

²⁰⁰ Diesen liegen z. B. unternehmensintern eingebrachte Ideen oder selbst erkannte Schwachstellen, nicht vorhergesehene neue Technologien, Stakeholderfeedback in Form von Reklamationen und Verbesserungsvorschlägen, oder auch Gesetzesänderungen zugrunde.

²⁰¹ Beispiele für Methoden zur Strategiebildung im Anlagenbau sind die SWOT-Analyse, die Portfolio-Analyse und das Szenario-Management [FÖRSTER 2003, S. 69].

Belang ist. Damit einhergehend sind die **zu integrierenden SH-Perspektiven und -konstellationen** als zweite Dimension des Projektionsraums.

Eng verzahnt mit den zuvor erwähnten unterschiedlichen Projektauslösern sind **verschiedene Stadien** aus denen heraus ein Modulprojekt formal gestartet wird, sowie die **spezifische Art des Projektes**. Über beide sollte im Rahmen der **Situationsanalyse** Klarheit geschaffen werden, sowohl für ein abgestimmtes Verständnis im Entwicklungsteam, als auch als Grundlage der Modellbildung. Nachfolgende Beispiele deuten das vielfältige Spektrum möglicher Ausgangssituationen an, wobei weder hinsichtlich der dargestellten Ausprägungen noch deren Kombinationsmöglichkeiten Anspruch auf Vollständigkeit besteht:

- Es liegen noch **keine konkreten Anforderungen** vor; Es wird eine **Schwachstellenanalyse** auf Basis des aktuellen Moduls vorgenommen; Dieses ist zugleich Gegenstand der Modellierung.
- Es liegt eine Menge an **bereits akquirierten Anforderungen** vor; diese beziehen sich auf bereits bekannte Eigenschaften mit neu definierten Zielwerten; Fokus der initialen Modellierung liegt auf der Betrachtung der Anforderungen im Kontext des zu akquirierenden **gesamten Eigenschaftsgefüges des Moduls**, die übrigen Zielwerte auf Basis des Gesamtbildes nachgeschärft werden; Basis hierfür kann zunächst ebenfalls das aktuelle Modul sein.
- Es liegen bereits **konkrete Verbesserungsideen** in Form **veränderter oder zusätzlicher EE_M** vor. Der initiale Fokus kann auf der **Realisierbarkeit** unter Berücksichtigung der übrigen bekannten (oder zu vervollständigenden) Eigenschaften liegen sowie auf den **Auswirkungen auf das Gesamteigenschaftsgefüge** (insbesondere bezüglich der RE_M).
- Es liegt bereits ein **externalisiertes Konzept** mit initial abgesicherter Machbarkeit vor; Im Rahmen einer **Konzeptverifikation** können Schwerpunkte auf die Absicherung im Kontext **verschiedener SH-Perspektiven und Übersysteme** liegen, sowie auf einer schrittweisen **Konzeptverfeinerung** im Zuge der Identifikation von Schwachstellen und Ineffektivitäten.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass eine an einer singulären Ausgangssituation orientierte Methodik einen sehr limitierten Unterstützungsbereich zur Folge hätte. Hier setzt eine zentrale Prämisse der Methodikentwicklung an, eine **flexible Einsetzbarkeit hinsichtlich möglicher Kombinationen aus Projektstadien und Zielsetzungen** zu gewährleisten.²⁰² Vor dem eigentlichen Eintritt in die Methodikanwendung ist jedoch durch eine Schätzung des **Aufwand-Nutzen-Verhältnisses** zu überprüfen, ob die Voraussetzungen für deren Einsatz gegeben sind (siehe Abbildung 6-11, Entscheidungspunkt oben).

Aufwandsseitig liefert die Situationsanalyse wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Frage, auf **welche Informationen** eines real existierenden Moduls²⁰³ für das zu instanziierte M-HoQ-Metamodell **zurückgegriffen** und aufgebaut werden kann. Beispielsweise ändert sich der Aufwand mit der Frage, ob angestrebte Veränderungen lediglich auf Ausprägungsmodifikationen eines identischen Eigenschaftsgefüges erfolgen, oder eine veränderte Eigenschaftsgrundmenge und damit auch ein grundlegend anderes Relationsgefüge zu betrachten sind. In

²⁰² Vgl. Handlungsschwerpunkt 3.5 bzw. Anforderung B1

²⁰³ Im Falle eines für das eigene Portfolio neuen Moduls, kann dies auch ein Wettbewerberprodukt sein.

die Bewertung sollte außerdem einfließen, wie aufwändig es für das anwendende Unternehmen (auch auf Basis der vorliegenden IT-Struktur) ist, die für die Methodik benötigten **Informationen zu beschaffen** beziehungsweise in welcher **Güte das benötigte Expertenwissen** verfügbar ist. Insgesamt ist hierbei zu beachten, dass diese Aufwände vor allem während der **Implementierungsphase** der Methodik hoch sein werden, und mit zunehmender Anwendungserfahrung sinken. Ein entscheidendes Kriterium ist letztlich das **Vorliegen wiederverwendbarer Modelle oder Modellbestandteile**, was ebenfalls voraussetzt, dass die Methodik bereits für das gleiche Modul – beispielsweise des Vorgängers oder einer Variante – angewendet wurde.

Auf der Nutzenseite muss das Vorhandensein einer gewissen **Mindestkomplexität** gegeben sein, damit der daraus resultierende Bedarf einer Komplexitätsbeherrschung und Transparenzschaffung den erhöhten Aufwand rechtfertigt. Im Rahmen des M-QFD sind die relevanten Komplexitätsaspekte die **Multifunktionalität** des betrachteten Moduls sowie die **Varietät der übergeordneten Gesamtsysteme** und/oder der **SH-Perspektiven und -Konstellationen**. Je eher die zuvor genannten Aufwandsfaktoren bereits minimiert sind (insbesondere durch eine erfolgreich abgeschlossene Implementierung), desto eher ist auch eine Anwendung im Rahmen „kleinerer“, weniger komplexer Projekte gerechtfertigt und sinnvoll.

Definition des Projektionsraums

Nach positiver Voraussetzungsüberprüfung zur Anwendung der Methodik besteht der erste konkrete Anwendungsschritt darin, auf Basis der Situationsanalyse den **Projektionsraum** für das Modulentwicklungsprojekt zu definieren. Dieser repräsentiert, wie in Kapitel 6.3.2 ausführlich dargestellt, den Bewertungskontext des fokalen Moduls und ist essenzieller Teil der Reduktionsstrategie der Methodik. Bezüglich des konkret zu erstellenden M-HoQ wird in diesem Schritt festgelegt, für welche Instanzen der ÜS- und SH-Domänen in den Folgeschritten Abfragen durchgeführt werden, sowohl bezogen auf die Informationsakquise als auch auf die darauf basierenden Entscheidungsmöglichkeiten.

Hinsichtlich des Übersystembereichs gilt es, zunächst den **theoretischen Wirkbereich zu erschließen und zu strukturieren**, was durch eine an Roadmap-Ansätzen orientierte Darstellung sämtlicher **Basisarchitekturen (BA)** und darauf basierender konkreter Systeminstanzen unterstützt wird (Abbildung 6-12). Sofern BAs – also verschiedenen konkreten Systemen zugrundeliegende gemeinsame Architekturen – im Unternehmen lediglich implizit vorliegen, ist eine entsprechende Analyse und Systematisierung mindestens des eigenen Systemportfolios, idealerweise auch wichtiger Wettbewerbsarchitekturen vorzunehmen (diese Grundlage ist jedoch für sämtliche zukünftige Projekte wiederverwendbar).

Abhängig davon, ob das zu entwickelnde Modul auch für die Nachrüstung zu modernisierender Anlagen vorgesehen ist, sind retrospektiv auch BAs zu berücksichtigen, die in dieser Weise nicht mehr hergestellt werden. Ist dies nicht der Fall, sind diese von vornherein aus der Betrachtung auszuschließen (vgl. BA 1 im dargestellten Beispiel). Für den Neuanlagenmarkt

sind die zum Zeitpunkt des geplanten Modulmarkteintritts²⁰⁴ gängigen BAs zu berücksichtigen, sowie gegebenenfalls elementar weiterentwickelte BAs, sofern diese zu erwarten sind, und deren Konzepte ausreichend gut abgeschätzt werden können.

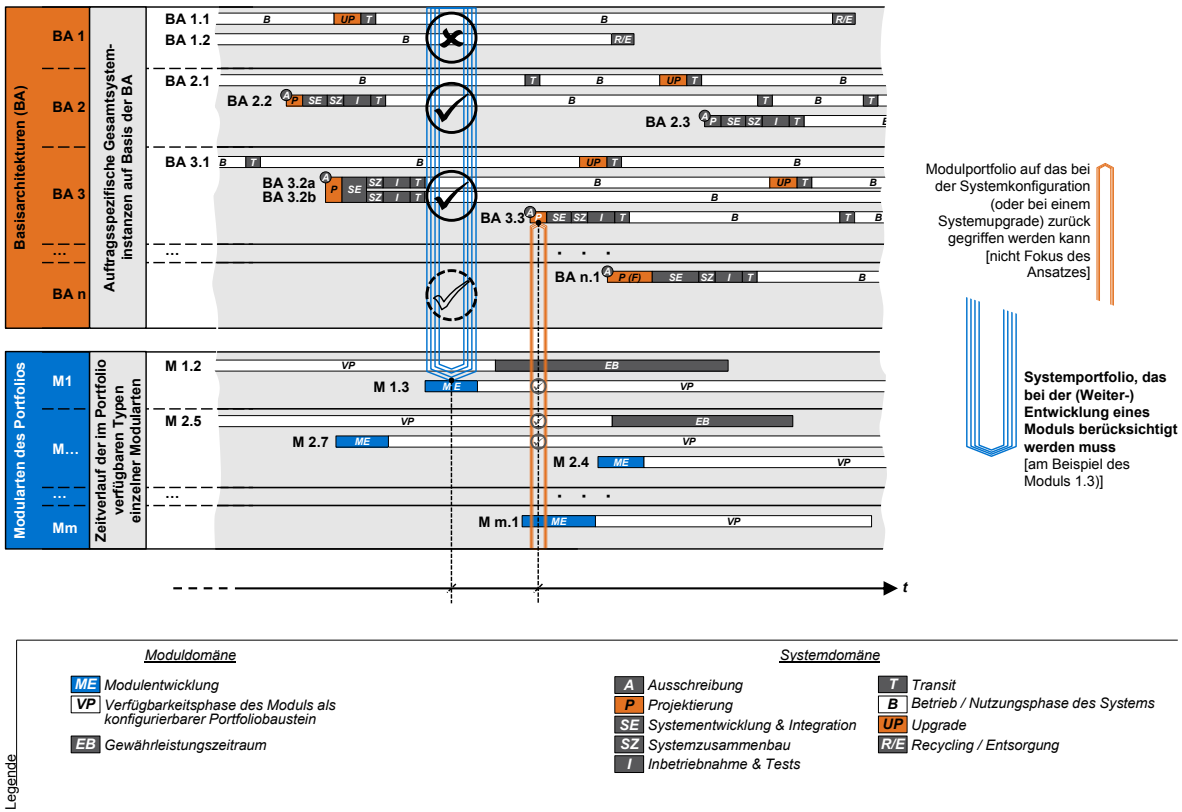


Abbildung 6-12: Erfassung des theoretischen Wirkbereichs zur Ableitung des Projektionsraums

Ausgehend von den so ermittelten, prinzipiell relevanten BAs erfolgt ein **systematisches Ausdünnen des aufgespannten Suchraums**. So können produktstrategische Überlegungen dazu führen, bestimmte BAs komplett auszuschließen (z. B. BAs, deren Bedienung lediglich durch andere Modulvarianten vorgesehen ist) oder bei sehr ähnlichen BAs einen repräsentativen Stellvertreter zu wählen. Die Auswahl einer **Referenzarchitektur (RA)** innerhalb der verbleibenden BAs (vgl. ebenfalls Kapitel 6.3.2) erfolgt unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Relevanz und Umfang des durch sie realisierten Funktionsspektrums. Es sollte sich also um eine BA handeln, die einerseits häufig Grundlage von Neuprojekten und damit kein „Exot“ ist und andererseits die meisten potenziell auftretenden **Modulgruppen (MG)** beinhaltet.

Die verbleibende Menge an ausgewählten BAs stellt nun die Basis für eine **weitere Eingrenzung auf MG-Ebene** dar, wobei sowohl die innerhalb einer BA vertretenen MGs variieren können, als auch deren Sub-Architekturen (also mit welchen weiteren Modulen innerhalb

²⁰⁴ In den betrachteten Märkten mit sehr langen Systemlebensdauern werden sich diese meist kaum vom Stand zum Modulentwicklungsstart unterscheiden.

der BA das fokale Modul interagiert um einen bestimmten technischen Prozess auszuführen). Grundlage einer weiteren Ausdünnung (ohne das Feld an BAs selbst weiter zu reduzieren) kann somit einerseits eine generelle Konzentration auf die relevantesten MGs sein. Andererseits können in verschiedenen BAs identisch oder ähnlich vorhandene MGs so zusammengefasst werden, dass eine Abfrage für diese nur einmal erfolgen muss.

Der Bewertungsraum wird also nach **strategischen und effizienzbezogenen Kriterien** aufgespannt, wobei verfügbare Ressourcen und vorhandenes Risiko eines Projektes in die Entscheidungen bezüglich Vielfalt und Granularität unterschiedener BAs einbezogen werden müssen. Das Auslassen bestimmter Instanzen kann zum späteren Übersehen wichtiger Zusammenhänge führen während zu viele zu ähnliche Instanzen zu Redundanzen und Unübersichtlichkeit und damit zu Mehrarbeit und Ineffizienz führt.

Dieselben Kriterien sind führend bei der SH-bezogenen Definition des Projektionsraums, wobei neben der Menge an generell berücksichtigten SH zu entscheiden ist, welche Vertragskonstellation zwischen diesen dabei angenommen wird, da dies ausschlaggebend für die Interessensgewichtung ist. Sofern nicht von vornherein mehrere mögliche vertragliche Konstellationen einbezogen werden, ist es sinnvoll, zu jeder Eigenschaft festzuhalten, ob ihre Bedeutung für einen SH **von der spezifischen vertraglichen Konstellation abhängt** oder **übergreifende Gültigkeit** angenommen werden kann. Für letztere muss bei einer potenziellen späteren Variation der SH-Konstellation dann die Gewichtung nicht erneut durchgeführt werden.

Vorgehen der initialen Modellerstellung

Dieser Abschnitt beschreibt den Eintritt in die eigentliche Modellierungsarbeit. Die Grundlagen des nun zu instanzierenden und zu befüllenden Metamodells wurden bereits in Kapitel 6.3 gelegt, wobei insbesondere auf das Domänenverständnis, den strukturellen Aufbau sowie die Syntax und Semantik eingegangen wurde. Der für die Initialphase essenzielle adaptierte Umgang mit Anforderungen, sowie das daraus resultierende nicht-sequenzielle Vorgehen der Modellierung im Rahmen des M-QFD wurde in Unterkapitel 6.3.3 vorgestellt. Danach beinhaltet das M-HoQ keine Kundenanforderungen als dedizierte Startdomäne, sondern diese können – ebenso wie die Anforderungen technischen Ursprungs – in beiden der differenzierten Eigenschaftsdomänen der EE_M und der RE_M enthalten sein. Diese werden gemeinsam mit den Systemeigenschaften in einem iterativen Prozess akquiriert, anhand der Eigenschaftssystematik kategorisiert (der passenden Domäne zugeteilt), SH-spezifisch gewichtet und hinsichtlich ihrer Abhängigkeiten vernetzt. Das M-HoQ erfüllt dadurch die Funktion einer **dynamischen Anforderungsgrundlage**²⁰⁵ und berücksichtigt weiter die zu Beginn dieses Kapitels

²⁰⁵ Den Begriff der dynamischen Anforderungsgrundlage nutzt FRICKE [2003, S. 73] als propagiertes Gegenmodell zu einem dokumentenorientierten Anforderungsmanagement. Anstatt – wie bspw. nach dem klassischen Wasserfallmodell üblich – den Prozess an der dogmatischen Umsetzung von Anforderungen auszurichten, die zu Beginn freigegeben wurden, jedoch aufgrund unvermeidbarer Unsicherheiten nicht vollständig korrekt sein konnten (wonach der Nutzer ein möglicherweise gar nicht seinen wirklichen Anforderungen entsprechendes System akzeptieren muss), sollen die Anforderungsinformationen als Modellbestandteil nach dem Motto "what you see is what you are going to get" mit einer adäquaten Variabilität gehandhabt werden.

adressierte, in der Praxis vorliegende **Varietät von Eintrittsstadien** in ein Projekt, wodurch teilweise bereits stark lösungsbezogene Informationen mit einzubeziehen sind.

Grundlage der folgenden Beschreibung der Modellierung ist das in Abbildung 6-13 dargestellte Basisvorgehen, wobei von der Reihenfolge je nach Ausgangssituation, Eintrittsstadium und Erfahrung mit der Methode abgewichen werden kann beziehungsweise muss.

1a/b/c/d – Eigenschaftsakquise:

Bei der Akquise der Moduleigenschaften (1a/b) können insbesondere in der EE_M -Domäne jene Eigenschaften schon frühzeitig sehr konkret formuliert werden, bezüglich derer bereits zu Beginn das Vorhaben formuliert ist, diese gegenüber des Vorgängerprodukts unverändert zu lassen, oder diese als explizite Neuerung im Konzept zu verankern. Sowohl in der EE_M - als auch in der RE_M -Domäne ist die Abbildung von Eigenschaften mit Bezug zu unterschiedlichen modulinternen Hierarchieebenen möglich. Durch die explizite Berücksichtigung mittelbarer Abhängigkeiten bei der späteren Vernetzung innerhalb der Matrizen (Kapitel 6.3.4) ist es daher nicht erforderlich, stets einen einheitlichen Detaillierungsgrad der Eigenschaften zu erreichen.

Im Zusammenhang mit den E_{US} (1c/d) muss nicht das gesamte Übersystem auf Basis seiner Eigenschaften modelliert werden, sondern es werden lediglich jene E_{US} in das Modell aufgenommen, die durch die Moduleigenschaften beeinflusst werden und damit Teil des Wirkbereichs sind. Dies stellt einen der **effizienzwirksamen Reduktionsmechanismen** der Methodik dar, wodurch unnötige Modellierungsarbeit vermieden wird (was sich insbesondere in der anschließenden Vernetzung auszahlt), sowie eine erhöhte Übersichtlichkeit, Handhabbarkeit und Informationsdichte des instanziierten Modells angestrebt wird. Im Zuge der Aufnahme des Eintrags einer E_{US} in das Modell erfolgt darüber hinaus die Abfrage, ob das zugehörige **Bezugsobjekt das Gesamtsystem ist, oder eine der definierten Modulgruppen**. Die initiale Akquise der E_{US} findet **noch systemunspezifisch** statt, da die Berücksichtigung systemspezifischer Unterschiede erst während der Vernetzung erfolgt.

Um projektübergreifend den Aufwand der Eigenschaftsakquise zu reduzieren und diese zu vereinfachen wird der Aufbau von **unternehmensspezifischen Checklisten** empfohlen, welche mit der Zeit verfeinert und regelmäßig konsolidiert werden können, und die Basis für Abfragen innerhalb zukünftiger Projekte bilden können. Moduleigenschaften sollten dabei in modulspezifischen Checklisten gepflegt werden, die jeweils zur Planung von Modulen derselben Familie herangezogen werden können. Für den Übersystembereich kann eine modulübergreifend generische Checkliste für E_S angelegt werden und auf Basis eines Verwendungsnachweises für spezifische Modulfamilien projektspezifisch gefiltert werden.

Eine vollumfängliche **Gewichtung** der Eigenschaften aus Perspektive der im Projektionsraum definierten Stakeholder ist lediglich für die RE_M -Domäne vorgesehen, wobei das Modell flexibel hinsichtlich des angewendeten Gewichtungsansatzes²⁰⁶ ist. In der EE_M -Domäne stellt die Dokumentation explizit eingesteuerter SH-Wünsche zur technischen Umsetzung – neben

²⁰⁶ Bezüglich Details zu Gewichtungsansätzen sowie deren Vor- und Nachteile sei beispielsweise auf REFFLINGHAUS [2009] oder HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 278–280] verwiesen. Auch kann eine strategische Gewichtung der SH selbst vorgenommen und der Eigenschaftsgewichtung zugeschaltet werden, wie bspw. von BROWNING & HONOUR [2008] vorgestellt. Diese Möglichkeit wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter vertieft.

der bereits angesprochenen Ausnahme bezüglich sicherheits- oder modulklassenrelevanter EE_M – eine Ausnahme dar und hat eine reine Merkerfunktion. Prinzipiell ergibt sich die Bedeutung der EE_M aus der späteren Vernetzung unter Anwendung des Zusammenhangswissens des System-OEMs.

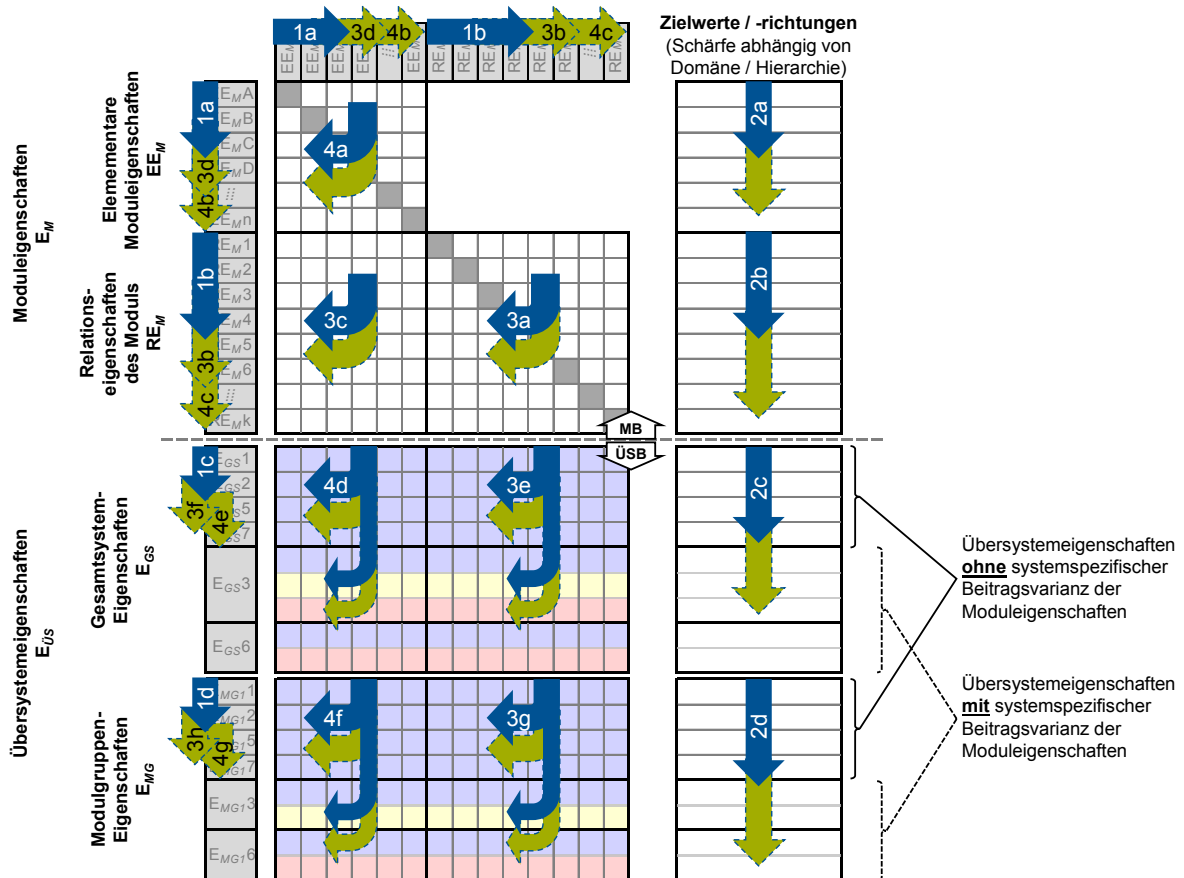


Abbildung 6-13: Vorgehen der initialen Modellerstellung

2a/b/c/d – Zielwerte und -richtungen

Ähnlich dem Qualitätsplan im traditionellen QFD werden die **angestrebten Eigenschaftsausprägungen** im Zielwertbereich den Werten des Vorgängermoduls (sowie gegebenenfalls ergänzend jenen eines oder mehrerer Konkurrenzmodule) gegenübergestellt beziehungsweise initial von diesen abgeleitet. Neben einer Zunahme des möglichen **Detaillierungs- bzw. Quantifizierungsgrads** mit dem **Prozessfortschritt** hängt dieser stark vom **horizontalen und vertikalen Aggregationsgrad** der Eigenschaft ab. Für die RE_M – also die horizontal höher aggregierten Eigenschaften des Modulbereichs – wird daher ein qualitativer Veränderungsgrad gegenüber des Referenzmoduls verwendet, beispielsweise in Form von Notenskalen, welche mit Nutzenfunktionen hinterlegt werden können (vgl. z. B. [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 280–284]). Die EE_M hingegen werden möglichst quantifiziert formuliert, wobei das gewählte **Bezugsniveau der Formulierung** eine große Rolle hinsichtlich des Vergleichsergebnisses verschiedener Lösungen spielt. Während ein reiner **Funktionsbezug** lediglich die (Nicht-)erfüllbarkeit einer Funktion als logischen Parameter definiert, stellt eine **operandenbezogene**

Formulierung diese nicht mehr grundsätzlich in Frage sondern hinsichtlich der Erfüllbarkeit für definierte Operanden (z. B. hinsichtlich differenzierter geometrischer Formen oder Maximalabmaßen oder -massen des Umsatzprodukts). Bei einer **leistungsbezogenen Formulierung** wiederum unterscheiden sich verschiedene Ausprägungen über das „wie“ der Erfüllung (z. B. wie schnell, mit welchem Ressourceneinsatz, mit welchem Automatisierungsgrad). Die Wahl des Bezugsniveaus der Ausprägungsformulierung hat einen großen Einfluss auf die nachfolgenden Schritte, beispielsweise auf die Frage, ob sich bei verschiedenen BAS des Übersystems unterschiedliche Beeinflussungen einer Systemeigenschaft ergeben. Darüber hinaus determiniert die Formulierung die Variationsdimension, welche den später im Rahmen der Methodik zu erfassenden und zu bewertenden Sensitivitäten zugrunde liegt (also welche Bedeutung den genutzten Pfeilsymbolen zukommt; vgl. Teilkapitel 6.3.4 & 6.4.3).

Mit der vertikalen Aggregation vom Modul- in den Übersystembereich wird der Gestaltungsbereich verlassen, woraus sich ebenfalls Konsequenzen für den entsprechenden Zielbereich ergeben. Wie in Kapitel 6.3.2 hergeleitet, werden die Eigenschaften des ÜS-Bereichs außer durch die gestaltbaren Eigenschaften des fokalen Moduls durch jene weiterer Module oder Teilsysteme beeinflusst. Daher wird für die $E_{ÜS}$ lediglich eine angestrebte Beeinflussungsrichtung hinterlegt, da über das Erreichen eines konkreten Zielwerts allein anhand der Eigenschaften des fokalen Moduls keine Aussage möglich ist.

3/4 – Ermittlung der Grundvernetzung

Die Grundvernetzung stellt die erste Stufe der Vernetzung dar, durch welche das prinzipielle Vorliegen eines Einflusses der E_{Quelle} auf die E_{Senke} ²⁰⁷ angezeigt wird. Im Rahmen der systematischen Abfrage der Relationen erfolgt eine qualitative Grobabschätzung der Einflussstärken und -richtungen. Im Gegensatz zur Variationssensitivität der Relationen²⁰⁸ ist die Grundvernetzung dahingehend **lösungsunabhängig**, dass sie zwar auf dem Wissen eines Großteils der die Lösung charakterisierenden Eigenschaften basiert, jedoch noch keine, im Sinne eines konsistenten IST-Stands der Lösung bekannten Ausprägungen der Eigenschaften vorliegen.

Im Basisvorgehen wird mit der Erarbeitung der eingehenden **Relationen der bereits akquirierten und gelisteten RE_M** (also in ihrer Funktion als E_{Senke}) begonnen. Dabei wird zunächst geklärt, wie die RE_M untereinander zusammenhängen, und anschließend durch welche EE_M sie beeinflusst werden. Diese Reihenfolge hängt damit zusammen, dass bei jeder einzutragenden Relation eine Überprüfung erfolgt, ob es sich um eine mittelbare oder unmittelbare Relation handelt und wird aus Gründen der Anwendungseffizienz empfohlen.²⁰⁹ Nach dem Durchlauf durch eine Teilmatrix wird jeweils die Quellen- und Senkendomäne **um fehlende Eigenschaften ergänzt** (beispielsweise Schritt 3d für die RE_M/RE_M -Teilmatrix), wobei jeweils die Fragen gestellt werden, welche weiteren wesentlichen E_{Quelle} einen Einfluss auf die bereits gelisteten E_{Senke} haben sowie welche weiteren E_{Quelle} die bereits gelisteten E_{Senke} beeinflussen.

²⁰⁷ Zu den Definitionen vgl. Kapitel 6.3.1.

²⁰⁸ Diese zweite Vernetzungsstufe ist Teil des *Modellausbaus*, der im nächsten Teilkapitel behandelt wird.

²⁰⁹ Die umgekehrte Reihenfolge hätte zur Folge, dass weitaus mehr Relationen während des Vernetzungsprozesses von unmittelbaren in mittelbare umdokumentiert werden müssten.

Im ÜS-Bereich beinhaltet das Vernetzungsvorgehen den Zusatzschritt der Abfrage, ob die Relation in der abgeschätzten Stärke unabhängig von der Basisarchitektur ist, oder ob eine BA-spezifische Differenzierung der Relation erfolgen muss (vgl. Kapitel 6.3.2). Hier greift ein weiterer effizienzwirksamer Reduktionsmechanismus, da E_{GS} und E_{MG} erst in den Bereich der Eigenschaften mit **BA-abhängiger Beitragsvarianz** verschoben, und dort gebündelt dargestellt werden, sobald diese Abhängigkeit für eine E_{Quelle} festgestellt wird. Für alle anderen $E_{ÜS}$ ist die für die Referenzarchitektur erfasste Abhängigkeit stellvertretend für alle BAs des Projektionsraums gültig. Durch Hinterlegen der Information, dass mehrere BAs identische MG enthalten oder sich nur in einzelnen MGs unterscheiden, kann dieser Teil des Abfragealgorithmus zusätzlich deutlich verschlankt werden, da für identische MG die Abfrage nur einmal erfolgen muss.

Der Aufbau des Systembereichs unterstützt eine zielgerichtete **Verfeinerung** der betrachteten Eigenschaften. Erscheint es zu Beginn sinnvoll, eine Eigenschaft auf Aggregationsebene des Gesamtsystems zu formulieren (z. B. handhabbare Objektlänge), so kann es sich im weiteren Planungsverlauf herausstellen, dass eine MG-spezifische Betrachtung dieser Eigenschaft nötig ist.²¹⁰ Die das GS betreffende Domäne fungiert daher zunächst auch als initialer Aufnahmebereich einiger $E_{ÜS}$, aus dem bei der beschriebenen Art der Eigenschaftsverfeinerung Eigenschaften gestrichen werden, die im gleichen Zug (weiter unten) in den MG-spezifischen Domänen neu formuliert werden.

Die Durchführung der Schritte 3 und 4 erfolgt also zum einen auf Basis des in Schritt 1 ermittelten Eigenschaftsgefüges, zum anderen findet in den domänenbezogenen Teilschritten eine vernetzungsbegleitende Erweiterung und Konsolidierung desselben statt. Durch das Einfügen zusätzlicher Eigenschaften in bereits bearbeiteten Bereichen müssen diese erneut adressiert werden, um die fehlenden Relationen zu ergänzen. Auch eine Schärfung bestimmter Formulierungen kann dabei erforderlich sein, was ebenfalls zur erneuten Überprüfung der betroffenen Relationen sowie gegebenenfalls zu deren Anpassung führen kann. Aus diesen Zusammenhängen wird klar, dass die **Aufbauschnitte 3 und 4 stark iterativ geprägt** sind.

Im Sonderfall der Modellierung bereits bestehender Module (beispielsweise im Falle einer Schwachstellenanalyse im Rahmen einer Vorstudie) kann die Akquise der Grundvernetzung integriert mit jener der Variationssensitivitäten erfolgen. Im planungsbezogenen Standardvorgehen erfolgt dieser Schritt jedoch nachgelagert, da er den Abschluss erster Syntheszyklen voraussetzt, weswegen diesbezüglich auf die beiden folgenden Unterkapitel verwiesen sei.

Plausibilitätsüberprüfung der Grundvernetzung

Vor der analysebezogenen Nutzung der Grundvernetzung als Basis planungs- und entwicklungsrelevanter Entscheidungen sollte als abschließender Schritt der initialen Modellbildung das gewonnene Gesamtbild einer ersten **Plausibilitätsanalyse** unterzogen werden. Ergebnishaft lösen erforderliche Korrekturen zusätzliche Rücksprünge zu den Schritten 3 und 4

²¹⁰ Im gleichen Beispiel wäre dann beispielsweise eine genauere Unterscheidung von Umsatzobjekten möglich (vgl. „Bezugsniveau der Formulierung“ weiter oben).

aus.²¹¹ Dabei geht es noch nicht um die Konsistenz der das Planungsvorhabenden definierenden Hauptzielsetzungen, welche Bestandteil der analyseorientierten Nutzung des plausibilitätsgeprüften Modells ist (Teilkapitel 6.4.4), sondern zunächst um die Überprüfung, ob die Modellbildung selbst fehlerfrei erfolgt, sowie frei von ungünstig gewählten Eigenschaftsformulierungen oder schlecht gewählten Detaillierungsgraden ist.

Das klassische QFD hält hierfür einige **musterbasierte Überprüfungsmöglichkeiten** bereit (vgl. z. B. NILSSON [2010, S. 40 f.]). Das Vorliegen (nahezu) identischer Einträge innerhalb zweier Zeilen oder Spalten einer Teilmatrix kann beispielsweise ein Hinweis darauf sein, dass zwei unterschiedlich benannte Eigenschaften im Grunde den gleichen Bedeutungskern haben, und daher eine zu beseitigende Redundanz darstellen. Während dieser Mechanismus auch im M-QFD direkt angewendet werden kann, ist für die Übertragbarkeit anderer eine Adaption im Rahmen der modulzentrierten Perspektive erforderlich. Zum Beispiel muss eine leere Spalte der Verknüpfungsmatrix im konventionellen QFD entweder als Zeichen interpretiert werden, dass die Bearbeitung dieser Eigenschaft vernachlässigt wurde, oder dass es sich um eine Eigenschaft handelt, die nicht im direkten Kundeninteresse liegt. Im M-QFD hingegen kann eine leere Spalte in zur QFD-Verknüpfungsmatrix korrespondierenden EE_M/RE_M -DMM Zeichen für eine EE_M sein, welche keine Bedeutung für die dargestellten relevanten verhaltensbezogenen RE_M des Moduls hat, jedoch hinsichtlich der Beeinflussung von E_{Us} Relevanz besitzen.

Eine RE_M -Zeile, welche keine oder nur wenige schwache Einträge besitzt, kann als Anzeichen dafür gewertet werden, dass – insbesondere sofern es sich um eine Eigenschaft hoher Gewichtung (unabhängig vom Gewichtungsgrund, vgl. Teilkapitel 6.3.3) handelt – hinsichtlich der Erfüllung derselben noch keine „hauptverantwortliche“ Eigenschaft definiert wurde, und gegebenenfalls die Ergänzung einer solchen in Betracht gezogen werden sollte. Auch dieser Mechanismus kann nicht eins zu eins auf die E_{Senke} des Übersystems übertragen werden, da diese als Teil des Wirkbereichs zusätzlich – und gegebenenfalls maßgeblich – von den E_{Quelle} anderer Module determiniert werden. Insgesamt sollte es jedoch Teil der Plausibilitätsanalyse sein, zu überprüfen, ob jede im Kontext der modulzentrierten Perspektive als E_{Quelle} fungierende Eigenschaft (also die EE_M und RE_M des Gestaltungsbereichs) mindestens zu einer E_{Senke} (gewissermaßen als „Hauptabnehmer“) eine starke Relation aufweist, und im Verneinungsfall zu hinterfragen, ob diese Eigenschaft unbedingt Teil des Modells sein muss, oder hier eine Verschlinkung möglich ist.

NILSSON [2010, S. 40 f.] nennt als weitere formale Fehlerquelle im traditionellen QFD das Vorliegen zu vieler (schwacher) im Modell abgebildeter Relationen. Diese Interpretation greift jedoch im M-QFD aufgrund der bewussten Integration und Differenzierung von unmittelbaren und mittelbaren Relationen nicht. Vielmehr sollten auch die automatisch kondensierten Informationen des Aggregationsbereichs hinsichtlich ihrer Plausibilität kritisch hinterfragt werden.

²¹¹ Im umfassenden QFD-Ansatz nach AKAO (im Gegensatz zu MAKABE) laufen die Ableitungs- und Verknüpfungsprozesse ebenfalls nicht strikt sequenziell ab. Auf Basis von Iterationen zwischen den Bereichen der Kundenforderungen, Qualitätsmerkmale und Funktionen, wird eine möglichst konsistente und zuverlässige Vernetzung der Informationen angestrebt [DANNER 1996, S. 75].

6.4.3 Modellausbau und synthesegetriebene Nutzung

In diesem sowie im nächsten Abschnitt wird auf die Nutzung²¹² des M-HoQ im M-QFD-Vorgehen eingegangen. Wie bereits einführend in Kapitel 6.4.1 dargestellt, bedient sich die Methodik **verschiedener Ebenen der Nutzung** zu unterschiedlichen Phasen und Zeitpunkten des in Reife und Detaillierung „mitwachsenden“ zentralen Modells. Nachdem die durch das Metamodell determinierten Schritte bis zur initialen Modellerstellung abgeschlossen sind, unterliegt die Nutzung im Rahmen der folgenden – durch **Synthese-Analyse-Iterationen vorangetriebenen – Konkretisierung und Reifung der geplanten Lösung** keinem festen Muster. Aus diesem Grund wäre es nicht zielführend, das Vorgehen anhand konsekutiver, stringent vorgegebener Schritte zu beschreiben. Vielmehr wird es als sinnvoll erachtet, den Einfluss der Methodik auf das Modulplanungsvorgehen anhand verschiedener Nutzungsaspekte des Modells (denen unterschiedliche Intentionen und Modellzwecke zugrunde liegen) aufzuzeigen, deren projektspezifische Relevanz jedoch vom konkreten Entwicklungsproblem und dessen Kontext sowie vom Verlauf und der organisatorischen Struktur des Projektes abhängt.

Wie bereits in Teilkapitel 6.2 einleitend erwähnt, besteht ein essenzieller Unterschied zu den traditionellen QFD-Ansätzen in der Fortführung der Arbeit mit derselben Abhängigkeitsmatrix im Rahmen des iterativen, verfeinernden Ausbaus dieser konsistenten Modellgrundlage. Dieser **Ausbau** des initial erstellten Modells kann als **syntheseorientierte Nutzung** des Modells im Rahmen des Vorgehens angesehen werden. Darüber wird unter anderem eine **bessere Durchgängigkeit zwischen der Produktplanung und den frühen Phasen der eigentlichen Entwicklung** angestrebt (welche allerdings im Kontext der Weiterentwicklung ohnehin weniger streng zu trennen sind). Die Synthesetätigkeit selbst erfolgt dabei maßgeblich unter Zuhilfenahme weiterer, vielfach disziplinspezifischer Modelle.

Die **analyseorientierte Nutzung** findet einerseits im Rahmen diskreter Bewertungs- und Entscheidungssituationen statt. Diese können **Meilensteincharakter** haben, und unter Einbezug von Entscheidungsträgern, die nicht am operativen Entwicklungsprozess teilnehmen, erfolgen, wobei aggregierte Informationen sowie die Nachvollziehbarkeit der Begründungen und Auswirkungen von Entscheidungsvorschlägen von besonderer Relevanz sind. **Entscheidungsvorbereitend** können **Design Reviews** durch die Struktur des Modells systematisch organisiert werden. Andererseits bietet das Modell Unterstützung bei **entwicklungsbegleitend** auftretenden Fragestellungen und Entscheidungen, mit denen sich das operative Team konfrontiert sieht. Hierfür ist es eine Grundprämisse der Methodik, die konsistente Repräsentation des aktuellen Projektstands permanent sicherzustellen, sodass das Modell stets das abgestimmte gemeinsame Problem- und Systemverständnis widerspiegelt (die verschiedenen Ebenen sind auch in Abbildung 6-11 skizziert).

²¹² In der allgemeinen Modelltheorie stellt die Modellnutzung die abschließende Phase des Modelllebenszyklus dar, der die Phasen „Formulierung der Intention/Modellplanung“, „Erstellung des Modells“ und „Modellabsicherung“ vorausgehen [KOHN 2014, S. 40–44]. Sie hängt stark vom jeweiligen Modelltyp und dem Modellzweck ab. Nach der Nutzung kann das Modell wieder- bzw. für weitere Zwecke weiterverwendet werden.

Während im Folgenden zunächst auf den Modellausbau als syntheseorientierte Nutzung eingegangen wird, ist die Nutzung als Instrument zur Analyse-, Bewertungs- und Entscheidungsunterstützung Gegenstand von Abschnitt 6.4.4. Diese Untergliederung spiegelt nicht den zeitlichen Verlauf im Planungs- und Entwicklungsprozess wider, wo beide Nutzungsformen in wechselnder Folge, teilweise auch parallel verschränkt auftreten, sondern wurde aus Gründen der Nachvollziehbarkeit gewählt, da Teilkapitel 6.4.4 auf die in Teilkapitel 6.4.3 eingeführten Ausbaustufen aufbaut.

Synthesegetriebene Nutzung ausgehend von der erarbeiteten Grundvernetzung

Obschon – sowohl im klassischen QFD, als auch in gesteigertem Maße im M-QFD – die frühen Phasen nicht gänzlich lösungsneutral ablaufen (die Beschreibung über konkrete Qualitätsmerkmale beziehungsweise EE_M relativiert jeglichen Versuch, dies zu argumentieren), stellt der Abschluss der initialen Modellbildung den **Eintritt in die eigentliche Lösungssynthese**, und damit in die syntheseorientierte Nutzung des zentralen M-HoQ dar.²¹³

Als Grundlage für die weiteren Schritte des Vorgehens dient die nun vorliegende plausibilitätsüberprüfte Grundvernetzung, über welche die modulzentrierte Perspektive als Systemsicht innerhalb des Projektes etabliert ist. Diese Planungsgrundlage besitzt jedoch – wie bereits erwähnt wurde – nicht die Funktion eines von der Modulplanung an die Modulentwicklung weitergeleiteten, statischen Handlungsauftrags. Vielmehr wird der Komplexität und den Besonderheiten der modulzentrierten Perspektive dadurch Rechnung getragen, dass in den frühen Phasen der Schwerpunkt auf eine maximale Transparenz des gesamten Eigenschaftsgefüges im Gestaltungs- und Wirkungsbereich gelegt wird. Dieses wird auf Basis der im Sinne des adaptierten Anforderungsverständnisses initial eingespeisten Eigenschaften unterschiedlicher Domänen und Systemebenen ausgebaut.

Auf der Ausbaustufe der Grundvernetzung werden in erster Instanz – analog zum traditionellen QFD – Entwicklungsschwerpunkte festgelegt und Zielkonflikte adressiert. Nach ZERNIAL [2007, S. 95] sind lösungsbezogene Konflikte im QFD durch Kompromisse in den Ausprägungen oder durch Substitution eines Merkmals zu lösen, was nach Auffassung und Erfahrung des Autors zwar der letztlichen Konsequenz vieler Formen der Konfliktlösung innerhalb dieser Methodik entspricht, jedoch eine zu großen Abstraktion des Weges dorthin darstellt und nur in einfach zu lösenden Fällen direkt umzusetzen ist. Das Verständnis der Zielkonfliktlösung im M-QFD hingegen zeichnet sich dadurch aus, dass diese mit der Lösungskonkretisierung und deren Konsistenthaltung über mehrere Synthese-Analyse-Zyklen verschränkt ist, wobei die Modellbasis verschiedene Ausbaustufen durchläuft. Im Zuge dieser als **korrigierend-**

²¹³ Es kann darüber gestritten werden, ob im Sinne der Modelltheorie die eigentliche Modellnutzung erst an dieser Stelle beginnt, was beispielsweise der von KOHN [2014, S. 41] konsolidierte Lebenszyklus eines Modells suggeriert. Nach Meinung des Autors der vorliegenden Dissertation haben bereits die finalen Schritte des initialen Modellaufbaus Nutzungscharakter, da sie die bereits abgebildeten Informationen nutzen, um insgesamt eine Vervollständigung und Konsolidierung zu erreichen. Da auch das Ermitteln und Reflektieren von Abhängigkeiten in zusätzliche Erkenntnisse mündet, aus denen die Notwendigkeit der Integration weiterer Eigenschaften hervorgehen kann, ist auch die Sichtweise vertretbar, dass Modellerstellung und Modellnutzung im Zusammenhang mit QFD-Anwendungen Hand in Hand gehen.

variierend²¹⁴ zu bezeichnenden Synthese (vgl. Teilkapitel 6.4.1) findet zudem eine Verschiebung des Schwerpunkts der zu lösenden Zielkonflikte statt. Zu Beginn steht die Umsetzbarkeit der Lösung unter Erfüllung der herausgearbeiteten Prioritäten im Vordergrund. Letztere können dabei Gegenstand notwendiger Anpassungen sein, wenn trotz der Fokussierung von Entwicklungsaufwänden diese betreffende Zielkonflikte nicht zufriedenstellend gelöst werden können. In dieser frühen Konzeptphase leistet eine konsistente und transparente Grundvernetzung dahingehend Unterstützung, dass stets ersichtlich ist, welche Eigenschaften parallel im Auge behalten werden müssen. Darüber hinaus liefern die Aggregationsmetriken – insbesondere die Sub-Metriken der intramodularen Eigenschaftskomplexität (EK_{im}) – direkte Anhaltspunkte zur Abschätzung von Beseitigungsmöglichkeiten identifizierter Zielkonflikte durch die Befähigung einer systematischen Kandidatensuche und -bewertung potenzieller Stellhebel (Details zu diesem analysegestützten Vorgehen sind Teilkapitel 6.4.4 zu entnehmen).

In dieser Phase zeichnet sich der Modellausbau durch eine **Erweiterung und weitere Konsolidierung der Grundvernetzung auf Basis hinzugewonnenen Wissens** aus, wobei noch nicht auf die modellsprachlichen Erweiterungsstufen auf Basis der Anreicherung der einzelnen Abhängigkeitsinformationen zurückgegriffen wird. Erst mit der Verfestigung eines hinsichtlich der Umsetzbarkeit tragfähigen Gesamtkonzepts verschiebt sich der Schwerpunkt der zu adressierenden Zielkonflikte im Sinne des ganzheitlichen Qualitätsverständnisses auf die stetige Verbesserung der Lösung hinsichtlich der Beseitigung von Eigenschaftsübererfüllungen sowie dem Nutzen bzw. Beheben zusätzlich identifizierter Chancen und Risiken. In diesem Zusammenhang kommt die im folgenden Abschnitt behandelte Modellausbaustufe der Variationssensitivitäten zum Tragen.²¹⁵

Integration von Variationssensitivitäten – Modellausbau durch Anreicherung der Relationsinformationen

Formal kann das M-HoQ als Modell des geplanten Moduls aufgefasst werden, das dieses als Original abbildet auf der Basis von Informationen eines bestimmten Typs (insbesondere Eigenschaften und deren bekannte Abhängigkeiten). Es hat jedoch nicht den Zweck, die Lösung vollständig in einer Art zu repräsentieren, die die genaue konzeptionelle und konstruktive Umsetzung erkennen lässt. Hierzu dienen die eigentlichen Lösungsmodelle²¹⁶, durch welche nach Eintritt in die Synthesephase zunehmend schärfer werdende Lösungsinformationen verfügbar sind. Diese werden zum Zweck der begleitenden, qualitätsorientierten Analyse mit

²¹⁴ Mangels in der industriellen Realität häufig nicht bereitgestellter Ressourcen für die grundlegende Alternativenbildung hat diese Art der Synthese im betrachteten Kontext eine hohe Bedeutung.

²¹⁵ Diese expliziten Vorgehens- und Modellausbauetufen orientieren sich an der durch HABERFELLNER ET AL. [2012, S. 275] im Rahmen des Systems Engineerings formulierten Forderung, einen Kriterienplan zur Bewertung aufbauend auf den Teilzielen aus der initialen Zielformulierung parallel zur Lösungssuche **mit weiteren, sich herauskristallisierenden Kriterien zu ergänzen**. Durch ein systematisches Vorgehen sei dabei dafür Sorge zu tragen, dass dies nicht willkürlich geschieht, sondern Ergebnis eines Lernprozesses ist, durch den Chancen wahrgenommen werden können, auf Basis ergänzter oder veränderter Zielvorstellungen zu einer besseren Lösung zu gelangen [HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 264].

²¹⁶ Z. B. Prinzipskizzen oder Bauraummodelle

Hilfe des M-HoQ konsolidiert und verdichtet, um die Entscheidungsfindung bezüglich der nächsten Syntheseschritte (oder Zielanpassungen) zu unterstützen.²¹⁷ Die **kreative Lösungsgenese** ist damit nicht unmittelbarer Bestandteil der Methodik, erhält von dieser jedoch begleitend zentrale Impulse und Leitplanken.

Dadurch wird **zwischen quasistatischen und lösungsabhängig dynamischen Informationen innerhalb des M-HoQ** unterschieden. Zu ersteren gehört die Grundvernetzung, welche bereits vor dem Eintritt in die Lösungssynthese vorliegt und allenfalls auf Basis des Erkenntnisgewinns aus der Auseinandersetzung mit konkreten Lösungen nachgeschärft wird. Gleiches gilt für die bewertungsrelevanten Gewichtungen, deren Modifikation beispielsweise aus Änderungen externer Rahmenbedingungen resultieren kann. Die Metriken des Aggregationsbereichs stellen komprimierte Informationen dieser genannten Bereiche dar und sind somit ebenso unabhängig von Entscheidungen des weiteren Entwicklungsprozesses. Die Variationssensitivitäten beziehen sich hingegen auf konkret vorliegende Lösungen und können sich im Zuge von Lösungsänderungen verschieben und dadurch Aufschluss über sinnvolle Folgemaßnahmen geben. Auch die Ziele selbst können Gegenstand entscheidungsinduzierter Änderungen im Zuge notwendiger Kompromissfindungen sein.

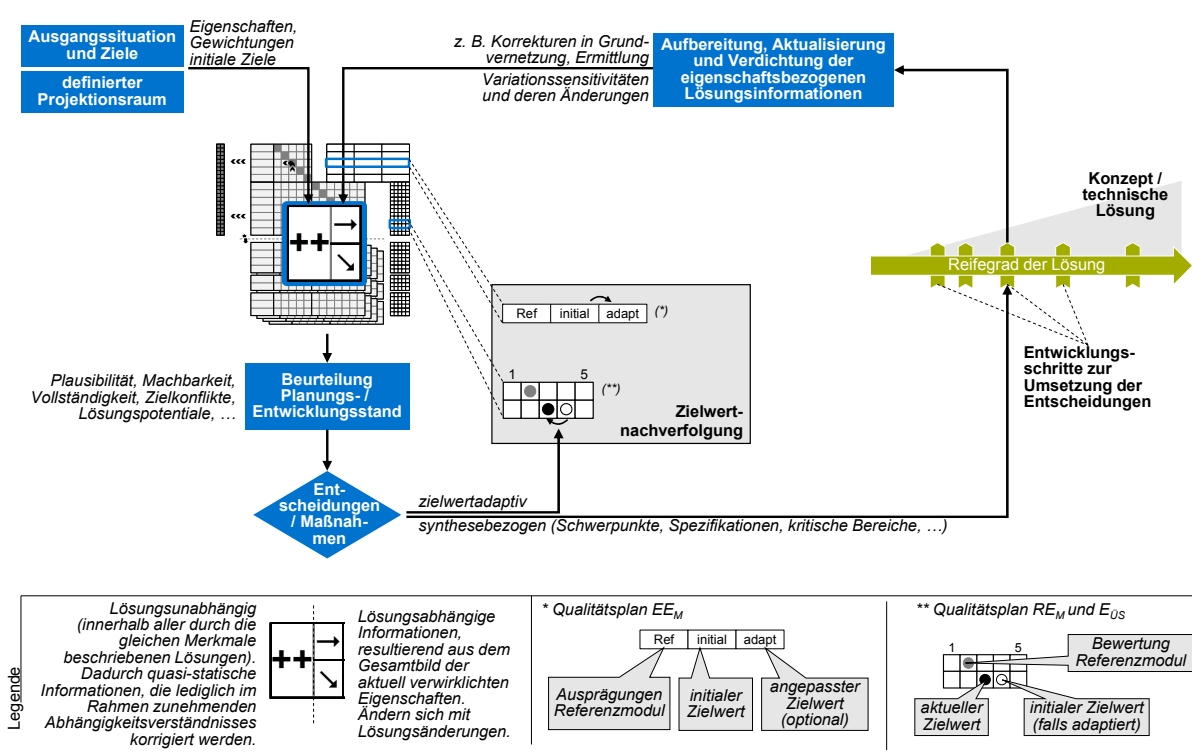


Abbildung 6-14: Adressierung der eigenschaftsbezogenen Informationselemente während des Modellauf- und ausbaus

²¹⁷ Dadurch ist im Sinne von [ALLMANNSBERGER 1998, S. 78] auch eine Grundvoraussetzung für ein integriertes Änderungsmanagement gegeben, indem die entstehende Informationsstruktur im Falle einer nötigen Änderung „die Sichtung und Überprüfung der bereits verwirklichten Produkteigenschaften und der dazu notwendigen, bereits innerhalb des Gesamtsystems zwischen den Komponenten geknüpften Beziehungen“ erlaubt.

Wie in Abbildung 6-14 gezeigt, können sich Entscheidungen (basierend auf der im nächsten Kapitel behandelten analyseorientierten Nutzung des M-HoQ) einerseits auf die technische Lösung beziehen, wobei nach Umsetzung der vereinbarten Schritte oder Änderungen im M-HoQ die Variationssensitivitäten zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen sind (rechter Pfad). Entscheidungen bezüglich der Anpassung formulierter Zielwerte hingegen können direkt im M-HoQ umgesetzt werden, da dies für diese den primären Dokumentationsort darstellt.²¹⁸

Eine vollumfängliche Ermittlung der Variationssensitivitäten für sämtliche Relationen ist im Übrigen nicht zwingend erforderlich. Zu Beginn der Lösungssynthese ist dies im Allgemeinen auf Grund inkompletten Lösungswissens auch gar nicht möglich. Die Feststellung, für welche Relationen die Variationssensitivität noch nicht angegeben werden kann, schafft vielmehr Transparenz bezüglich zu schließender Konzeptlücken. Je nach Problemstellung ist es auch denkbar, Variationssensitivitäten aus Gründen der Methodeneffizienz generell nur für Relationen bestimmter Bereiche zu ermitteln.

Ausbau durch Skalierung des Projektionsraums

Neben dem Ausbau des Modells im Zuge der Modulsynthese (und damit vom Gestaltungsraum her kommend) kann auch die Skalierung des Projektionsraums Ausgangspunkt von Ausbausritten sein. Dies kann sowohl im Verlauf eines Planungs- und Entwicklungsprojekts erfolgen als auch im Rahmen der späteren Wiederverwendung²¹⁹ des Modellkerns. Im ersteren Fall kann beispielsweise bei einer erforderlichen Nachjustierung der Marktausrichtung die Ersetzung oder Hinzunahme weiterer Basisarchitekturen erfolgen. Durch den strukturellen Aufbau des Modells mit einer klaren Schnittstelle zwischen Modul- und Übersystembereich kann dies erfolgen, ohne dass zunächst der Modulbereich überarbeitet werden muss. Auch müssen durch den oben beschriebenen Reduktionsmechanismus nur für jene Systemeigenschaften ergänzende Relationen abgebildet werden, die eine Variation im Vergleich zur Referenzarchitektur aufweisen. Resultierend aus dem sich dadurch neu ergebenden Gesamtbild im Übersystembereich kann die ergänzte BA als zusätzlich abgesicherter Einsatzkontext gelten oder es erweist sich als erforderlich, Anpassungen an der technischen Lösung des Moduls vorzunehmen. Wurde die Projektionsraumerweiterung lediglich als Chancenüberprüfung hinsichtlich zusätzlicher BAs vorgenommen, würde ein inkonsistentes Bild keine Änderungen am entwickelten Modul auslösen, sondern die BAs wären als Kandidaten zur Einbettung des Moduls ausgeschieden.

Das gleiche Vorgehensprinzip ist hinsichtlich der SH-bezogenen Erweiterung des Projektionsraums möglich. Diese kann sich auf die Variation der vertraglichen Konstellation zwischen den bereits berücksichtigten SH, zusätzliche SH oder auch die Differenzierung unterschiedlicher Unternehmen der gleichen SH-Klasse beziehen.

²¹⁸ Anders als bei lösungsbezogenen Informationen, welche mithilfe anderer Modelle dargestellt werden

²¹⁹ Dieser Aspekt wird im nächsten Unterkapitel behandelt.

6.4.4 Analyseorientierte Nutzung der Modellbasis

Dieses Unterkapitel geht auf die Nutzung des M-HoQ innerhalb der M-QFD-Methodik anhand der Differenzierung unterschiedlicher **Analysesituationen** ein. Aufgrund deren bereits im vorherigen Unterkapitel erwähnten projektabhängigen Relevanz und Auftretensform bietet es sich nicht an, die zugehörigen Anwendungsschritte in sequenzieller Ablaufform darzustellen. Die Möglichkeiten der analyseorientierten Interaktion mit dem M-HoQ als sind daher nach **nicht-orthogonalen Gesichtspunkten** strukturiert in Abbildung 6-15 zusammengefasst. Der erste Gesichtspunkt spiegelt dabei direkt die – das vorige Kapitel über die synthesegetriebene Nutzung des Modells gliedernde – Perspektive unterschiedlicher Entwicklungsstadien des Modells wieder, während Gesichtspunkte II bis IV andere Perspektiven in den Vordergrund stellen.

| Gesichtspunkte | I | II | III | IV |
|-------------------|--|---|--|--|
| | Ausbaustufen und Reife des Modells | Konkreter Prozessbezug | Konkretisierungsgrad & Ursprung analyse-treibender Ziele | Betrachtungsfokus der Analyse |
| Ausprägungsstufen | GP I-1 Analyse basierend auf Grundvernetzung | GP II-1 explizite, geplante Bewertungs- / Entscheidungssituationen mit Meilensteincharakter (Review) unter Einbindung zentraler Entscheidungsträger | GP III-1 explizit definierte Ziele | GP IV-1 Gesamtbild |
| | GP I-2 Analyse basierend auf Ausbaustufe Variations-sensitivitäten | GP II-2 explizite, geplante Bewertungs- / Entscheidungssituationen des operativen Planungs- und Entwicklungsteams | GP III-2 chancen- und risikenorientierte Ziele | GP IV-2 Aggregationsbereich |
| | GP I-3 Nutzung nach Modellfinalisierung | GP II-3 begleitende Nutzung als Unterstützungsinstrument operativer Synthese-/Analyse-Tätigkeiten | GP III-3 erkenntnisgetriebene Analyseziele | GP IV-3 Teilbereiche |
| | GP I-4 projektübergreifende Nutzung | GP II-4 begleitende Nutzung als Unterstützungsinstrument interdisziplinärer Kommunikation | | GP IV-4 Einzelabhängigkeiten |

Zur erläuternden Detaillierung der Gesichtspunkte und Ausprägungsstufen anhand verschiedener Beispiele auf Basis der strukturierenden Aspekte A bis D → siehe Anhang 10.2

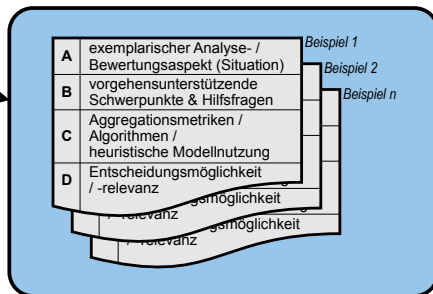


Abbildung 6-15: Gesichtspunkte der analyseorientierten Modellnutzung und deren Ausprägungsstufen

Innerhalb dieses Unterkapitels werden die vier Gesichtspunkte auf Basis der jeweils zu differenzierenden **Ausprägungsstufen** allgemein beschrieben und gegeneinander abgegrenzt. Zu den Ausprägungsstufen sind in Kapitel 10.3 des Anhangs erläuternde Detaillierungen und ergänzende, spezifische Nutzungsmöglichkeiten zusammengestellt. In der dort zu findenden systematischen Aufbereitung wird jeweils auf die in Abbildung 6-15 genannten Nutzungsaspekte A bis D eingegangen (wobei in einigen Beispielen einzelne Aspekte nicht ausgeprägt sind). GP II wurde von dieser Aufbereitung in Form diskreter Beispiele ausgenommen, da dessen Nutzungsaspekte verglichen mit den übrigen GP weniger differenzierbar sind und vielmehr quer dazu liegen. In Form von Querbezügen werden über die übrigen Beispiele jedoch indirekt auch die Ausprägungsstufen von GP II hinsichtlich ihrer Nachvollziehbarkeit vertieft.

Gesichtspunkt I: Ausbaustufen und Reife des Modells

Bereits **während der Grundvernetzung** /GP I-1/²²⁰ kann es zur analysebezogenen Nutzung der abgebildeten Informationen kommen, indem identifizierte Widersprüche und Zielkonflikte erkannt und ad-hoc beseitigt werden. Der Zeitpunkt **nach Abschluss der Grundvernetzung** ist vergleichbar mit dem Abschluss der Produktplanungsphase im traditionellen QFD.²²¹ Hier spielt also erstmals die Ableitung von Gesamtaussagen eine wichtige Rolle. Wo im QFD ersichtlich wird, welche Qualitätsmerkmale am meisten zur Erfüllung der Kundenwünsche beitragen, und damit hinsichtlich ihrer Umsetzung in den nachgelagerten Phasen im Zentrum des Interesses liegen sollten, gilt die Abschätzung dieser Beiträge im M-QFD sowohl bezogen auf die SH-Perspektiven (insbesondere für die RE_M) als auch bezogen auf die System-eigenschaften des Übersystembereichs.

Allerdings steht dieser Aspekt im Rahmen der komplexen Modulentwicklung mittels M-QFD nicht exklusiv im Mittelpunkt, sondern wird im Kontext **weiterer, gleichbedeutender Ziele** betrachtet, insbesondere des Umgangs mit Zielkonflikten²²². Auf Basis der Grundvernetzung sollten zunächst Zielkonflikte bezüglich der Umsetzbarkeit einzelner Eigenschaften im Fokus stehen, deren Nichterreicherung eine direkte Sanktionierung durch den Kunden oder eine Nichterfüllbarkeit zentraler Übersystemeigenschaften zur Folge hätte. Die Durchgängigkeit des Modells erlaubt jedoch eine weitaus differenziertere Charakterisierung von Konflikten anhand der Simulation verschiedener Lösungsstrategien, deren methodische Nutzbarkeit jedoch erst durch die **Ausbaustufe der Variationssensitivitäten** /GP I-2/ geschaffen wird. Hierzu gehört auch die Aufdeckung und Charakterisierung von Ineffektivitäten, deren Beseitigungen mehr oder weniger lösungs- und mehr oder weniger SH-wirksam sind.

Die am Ende eines Modulentwicklungsprojekts erreichte Ausbaustufe des **finalisierten Modells** /GP I-3/ hat einerseits Relevanz bezüglich des Projekts, dessen Resultat es darstellt. Neben der abschließenden, auf Basis der abgeleiteten Vor- und Nachteile zu treffenden Entscheidung, mit dem erreichten Stand in die Produktion zu gehen, besteht einer der finalen Nutzungsaspekte des Modells in der **Dokumentation der rekapitulierbaren Begründungen** der getroffenen Entscheidungen.

Andererseits ergibt sich eine **projektübergreifende Relevanz des finalisierten Modells** /GP I-4/ beziehungsweise von Teilen desselben im Rahmen unterschiedlicher **Möglichkeiten der Wiederverwendung** (Abbildung 6-16). Die rechte Seite repräsentiert dabei kein diskretes Nachfolgeprojekt der linken, sondern die verschiedenen Ebenen, auf denen eine Wiederverwendung stattfinden kann. Dies kann ein direktes Hineinspringen in die entsprechende Phase bedeuten, wobei die vorausgehenden Phasen nicht nochmals (oder nur rudimentär) durchlaufen

²²⁰ Zu lesen: „Gesichtspunkt I, Ausprägungsstufe 1“

²²¹ Da der definierte Hauptanwendungsbereich des M-QFD die Modulweiterentwicklung ist, enthält dieses Stadium explizit bereits bekanntes und bewusst übernommenes oder modifiziertes Lösungswissen und suggeriert im Gegensatz zum traditionellen QFD keine Lösungsneutralität, die erst später konkretisiert wird. Vielmehr liegt in diesem Stadium eine **erste integrierte Form von Anforderungs- und Lösungsaspekten** vor.

²²² Diese werden zwar im QFD ebenfalls systematisch akquiriert, ihre mangelnde Weiterberücksichtigung in der Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten stellt jedoch einen der Hauptkritikpunkte dar (vgl. Kapitel 4.3 & 4.4).

werden müssen, oder ein Einsteuern der wiederzuverwendenden Informationen in die Empfängerphase, was sich vor allem effizienz- und effektivitätssteigernd auf den lokalen Arbeitsinhalt derselben auswirkt. In beiden Fällen können die übertragenen Informationen tatsächliche Modellbestandteile sein oder projektübergreifend konsolidierte Wissenssammlungen (z. B. Checklisten).

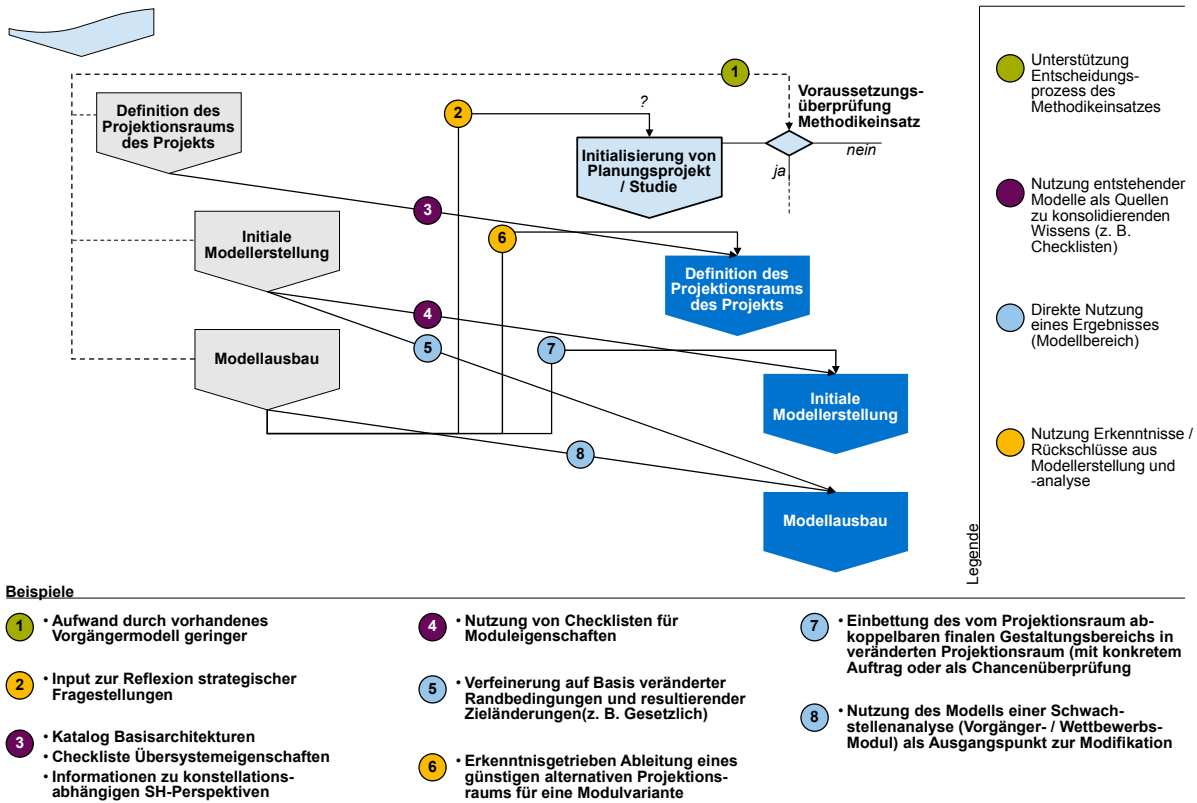


Abbildung 6-16: Projektübergreifende Wiederverwendungsformen von Teilergebnissen des M-HoQ

Erläuternde Detaillierungen der Ausprägungsstufen des Gesichtspunkts I „*Ausbaustufen und Reife des Modells*“ sowie ergänzende, spezifische Nutzungsmöglichkeiten innerhalb dieser sind in Kapitel 10.3 des Anhangs systematisch aufbereitet.

Gesichtspunkt II: Bezugsebenen zum Entwicklungs- und Entscheidungsprozess

Genauso wenig wie ein schematisches Ausfüllen der spezifischen Matrixensysteme hinreichend für eine erfolgreiche Anwendung von QFD-Ansätzen ist, ist die aktive Nutzung dieser Systeme auf **explizit im Entwicklungsprozess vorgeplante Entscheidungssituationen** /GP II-1&2/ zu reduzieren. Die in der Übersichtsdarstellung des Vorgehens (Abbildung 6-11) als „**begleitende Nutzung**“ /GP II-3&4/ dargestellte Interaktionsebene mit dem zentralen Modell repräsentiert die auch in der Basismethodik verankerten Aspekte der Nutzung der Modellsystematik als bereichsübergreifendes, ganzheitliches **Kommunikationssystem zur Konsensbildung** bezüglich Entwicklungsschwerpunkten und dem Umgang mit Zielkonflikten. Ebenso wird dadurch

ein gemeinsames **Systemverständnis** zur Minimierung des Risikos des Übersehens wichtiger Zusammenhänge unterstützt (vgl. Kapitel 4.3.2). Die aus dem „Aufdröseln“ der Qualitätsmerkmale (wie SAATWEBER [1997, S. 7] den Begriffsteil „*Deployment*“ übersetzt) resultierende Transparenz ist dabei durch das grundlegend adaptierte Kommunikationssystem des M-HoQ klar an der modulzentrierten Perspektive ausgerichtet.

Bei der begleitenden Nutzung ist eine klare Trennung von Synthese- und Analysetätigkeiten nur begrenzt möglich. Einzelne Entwickler oder Teams entwickeln die Lösung und das Wissen über die Lösung permanent in **mehr oder weniger expliziten Iterationszyklen** dieser Tätigkeiten weiter und treffen dabei **mehr oder weniger diskret fassbare Entscheidungen**. Voraussetzungen für die Unterstützung im Sinne einer dynamischen Anforderungsgrundlage (vgl. Kapitel 6.4.2)²²³ durch das M-HoQ sind dessen Konsistenthaltung als oberste Prämisse sowie die Anerkennung der eingearbeiteten Informationen und Abhängigkeiten durch das interdisziplinäre Team als abgestimmter Projektstand. Aus dieser Prämisse gehen wichtige Anforderungen an die **prozessuale Handhabung des Modells** (im Falle komplexer Produkte sollte dessen „Besitzerschaft“ und Verantwortung einer übergeordneten oder leitenden Rolle zugeordnet sein), sowie an die erforderliche **Rechnerunterstützung** hervor.

Eine wichtige Kommunikationsfunktion des Modells besteht in seiner disziplinübergreifenden Verständlichkeit, die die **Konsensbildung** (und dessen Feststellung) sowie die **Konfliktlösung** erst ermöglicht. Auf dieser konsistenten Basis können Tätigkeiten und Entscheidungen des operativen Planungs- und Entwicklungsteams sowohl retrospektiv (ergebnisüberprüfend) als auch prospektiv (vorausschauend) einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden. Auf spezifische Eigenschaften konzentrierte Tätigkeiten können stets unter Einbezug angrenzender Eigenschaften (insbesondere E_{Senke}) verfolgt werden oder auch auf deren Fehlen im Gesamtmodell aufmerksam machen. Gleichfalls kann das Gesamtbild über Muster auf bestimmte zu behobende Unstimmigkeiten hinweisen (vgl. Unterkapitel 6.4.2).

Auch die **bereichsübergreifende Nutzbarkeit** spielt im Zusammenhang mit dem die modulzentrierte Perspektive motivierenden industriellen Kontext eine wichtige Rolle. Beispielsweise greift die M-QFD-Methodik das von DEUBEL [2007, S. 48] dargestellte Dilemma der Wissensverteilung zwischen Vertrieb und Entwicklung auf. Anstatt einer unidirektionalen Weitergabe von zu erfüllenden Forderungen können auf Basis der im M-HoQ dokumentierten Planungs- und Entwicklungsstände gemeinsam durch Produktmanagement und Entwicklung Konflikte diskutiert und Lösungsstrategien entwickelt werden.

Auch im Rahmen **expliziter, geplanter Bewertungs- und Entscheidungssituationen** ist zwischen der sachlich inhaltlichen Unterstützung durch die erarbeiteten Informationen und deren Transparenz sowie der Struktur als nutzbares Systematisierungsinstrument für die Vorbereitung und Durchführung zugehöriger Workshops zu unterscheiden. Entscheidungen mit **Meilensteincharakter** stellen die Verknüpfung des operativen, durch Entwicklungs- und Analysetätigkeiten geprägten Prozesses mit dem übergeordneten Entscheidungsprozess unter Einbindung und Verantwortung der zentralen Entscheidungsträger dar (vgl. Kapitel 3.5.3). Die

²²³ Diese Denkweise entspricht im Übrigen der Forderung von BROSE [1982, S. 185], dass Bewertungen nicht erst in einer eigenständigen Phase angebracht sind, sondern vielmehr in zielgerichteten Denkprozessen permanent bestehen und angewendet werden müssen.

Einbindung des M-HoQ in diesen Management-Entscheidungsprozess im Rahmen des M-QFD-Vorgehens orientiert sich an der Methode des **Design Reviews**. Dieses stellt nach REINHART ET AL. [1996, S. 83 ff.] eine qualitätssichernde und -steigernde Methode zur Unterstützung von Meilensteinentscheidungen dar, durch die die formale und systematische Überprüfung des Entwicklungsergebnisses erfolgt. Dabei werden einerseits die Untersuchung der Erfüllung der in der Produktplanung definierten Anforderungen hinsichtlich Funktion und Eigenschaften, sowie andererseits die Identifikation von Problembereichen und Unzulänglichkeiten angestrebt.²²⁴

Die Behebung derselben ist Bestandteil festzulegender Korrekturmaßnahmen, deren Umsetzung Voraussetzung für den Eintritt in die nächste Entwicklungsphase ist. Komplexe Projekte sehen eine Form des Design Reviews vor, die aus einer **Kommentarphase** und einer **Sitzungsphase** besteht. Erstere beinhaltet die Begutachtung der bereitgestellten Dokumente durch alle Mitglieder des interdisziplinären Teams, deren Ergebnisse in Form als kritisch eingestufte Zusammenhänge oder Änderungsanregungen dokumentiert werden. In konsolidierter Form stellen diese anschließend den Input in die Sitzungsphase unter Einbeziehung des Managements dar. Anhand einer festgelegten Reihenfolge werden die einzelnen Punkte systematisch diskutiert und einer abgestimmten Entscheidung zugeführt.

Das M-HoQ als zentrales Werkzeug des M-QFD wird zur Unterstützung des Review-Prozesses auf mehreren Ebenen herangezogen. Es stellt die im interdisziplinären Team abgestimmte und diesem **vertraute Lösungsrepräsentation** dar, welche auf den aus explizit modulzentrierter Perspektive ermittelten und disziplinübergreifend verständlich dargestellten Eigenschaften und Abhängigkeiten basiert. Es wird daher als Grundlage der **Kommentarphase** eingesetzt, wo es den teilnehmenden Experten als Anhaltspunkt des anzusetzenden Detaillierungsgrads einerseits, sowie als Instrument zum Adressieren der eingebrachten Diskussionspunkte in Verbindung mit der Aufzeigbarkeit von Wechselwirkungen (auch zwischen Unter- und Übersystem) und Konsequenzen von Handlungsvorschlägen andererseits dient.

Darüber hinaus bietet das M-HoQ über seine eigene Struktur verschiedene Möglichkeiten der Unterstützung einer systematischen Durchführung der **Sitzungsphase**. Hierzu kann das Vorgehen anhand der Domänen und deren Elemente **strukturiert** werden oder auch auf Basis von aus den Aggregationsmetriken abgeleiteten Kritikalitäten in Form eines **priorisierenden** Vorgehens. Die Nachvollziehbarkeit der identifizierten Schwachstellen und eingebrachten Vorschläge für eine adäquate, inhaltliche Integration der am operativen Prozess nicht mitwirkenden Entscheidungsträger auf Managementebene ist für eine gemeinsame Ausgangsbasis der Diskussion eines adressierten Punktes essenziell. Darauf aufbauend wird das M-HoQ als diskussionsbegleitendes Werkzeug eingesetzt, anhand dessen (in einem bestimmten Umfang und Komplexitätsrahmen) **Auswirkungen vorgeschlagener Korrekturalternativen**

²²⁴ Weitere „weiche“ Ziele der Methode *Design Review* sind das Schärfen des Qualitätsbewusstseins, die Erhöhung der gegenseitigen Transparenz und daraus resultierend die Erleichterung der Konsensbildung zwischen den Entwicklungspartnern sowie die Dokumentation des Design Reviews als Qualitätssicherungsnachweis [REINHART ET AL. 1996, S. 84]. Aufgrund einer großen Überlappung mit einigen „weichen“ Zielen des M-QFD verspricht die Orientierung der meilensteinbezogenen Entscheidungsunterstützung im M-QFD an den methodischen Prinzipien des Design Reviews eine Verstärkung dieser Effekte.

– zumindest qualitativ – direkt einbezogen beziehungsweise weitere Alternativen abgeleitet werden können. Letztlich werden die zur Entscheidungsbegründung herangezogenen Zusammenhänge gemeinsam mit diesen dokumentiert, damit bei Neuaufkommen eines bestimmten Punktes schnell ersichtlich wird, ob eine erneute Diskussion sinnvoll ist, beziehungsweise ob die Begründung nach wie vor Bestand hat oder sich Aspekte verschoben haben.

Projektfortschritt und betreffender Meilenstein haben großen Einfluss auf Ausprägung und Konsequenzen von Reviews. Der betriebene **Ressourcenaufwand** muss sich an entsprechenden Fortschrittsaspekten orientieren, da die Entstehung von Kosten in der Folgephase von Meilenstein zu Meilenstein überproportional ansteigt. Dieselben Überlegungen sind auch im Rahmen des Einsatzes des M-HoQ anzustellen, da dessen Informationsgehalt und -dichte mit dem Projektfortschritt steigen (z. B. mit der Abbildung von Sensitivitäten).

Neben dem inhaltlichen Lösungsbezug von Entscheidungen, können diese auch **Prozess- bzw. Ressourcenbezug** haben. Eigenschaften mit zentraler Rolle können beispielsweise unter besondere Beobachtung beziehungsweise spezifische Verantwortung gestellt werden, oder es können verschärfte Freigabemechanismen eingerichtet werden.

Gesichtspunkt III: Konkretisierungsgrad und Ursprung analysetreibender Ziele

Im Verlauf eines Planungs- und Entwicklungsprojekts treten unterschiedliche lösungsbezogene Analyseziele basierend auf unterschiedlichen Projektzielen auf. Verschiedene der dafür nötigen Analysetätigkeiten können im Rahmen des M-QFD differenziert unterstützt werden. Einen Haupttreiber stellen fraglos die zu Projektbeginn herausgearbeiteten **expliziten Ziele** /GP III-1/ dar. Im Fokus des Analyseinteresses steht daher insbesondere in den frühen Phasen, die Entwicklungsanstrengungen auf die Erreichung dieser Ziele auszurichten. Teaminterne sowie Meilenstein-Reviews müssen auf deren Überprüfung und Sicherung gerichtet sein.

Über diesen Fokus hinaus, der weitgehend im Einklang mit der Hauptzielsetzung des klassischen QFD steht, ist die M-QFD-Methodik an dem parallel verfolgten Ziel der Ausgewogenheit des Gesamtgefüges unter Berücksichtigung des definierten Projektionsraums ausgerichtet. Die Komplexität multifunktionaler Kernmodule macht die Vermeidung unerwünschter Nebenwirkungen von Entscheidungen sowie der Vernachlässigung etablierter Eigenschaften zu einer nicht minder schwierigen Herausforderung als die Lösungsfindung im Falle betretenen Neulands bei einem radikalen Innovationsprojekt.

Über die konsequent modulzentrierte Perspektive sowie die weiteren Kernkonzepte der Methodik erfolgt die Umsetzung der expliziten Ziele im M-QFD-Vorgehen unter der Prämisse, die Transparenz und Konsistenz des Gesamtgefüges konkretisierungsbegleitend zu maximieren, und dadurch gewonnene Freiheitsgrade sowie gelöste Randbedingungen für weitere Verbesserungen zu nutzen. Hier setzt die Verfolgung **chancen- und risikenorientierter Ziele** /GP III-2/ an, die – im Gegensatz zu den expliziten Zielen – keinen initialen Input „von außen“ (im Sinne eines Frontloadings) darstellen, sondern aus den transparenzbasierten Erkenntnissen im Zuge des Projekts abgeleitet werden. Sie entstehen allerdings keinesfalls zufallsgesteuert, sondern sind Ergebnis einer explizit vorgesehenen Vorgehensebene. Zur Prozessunterstützung können Hilfsfragen auf allgemeiner Ebene formuliert werden, die beispielsweise auf die Identifikation

- vermeidbarer Arten und Anteile unwirtschaftlicher Eigenschaftsübererfüllung,
- ungeplanter (zu) starker Bevorzugung oder Nichtberücksichtigung einzelner SH,
- eines (zu) starken Ungleichgewichts bezüglich der Eignung beziehungsweise des Beitrag in verschiedenen Basisarchitekturen oder Modulgruppen, oder auch die
- Erörterung bestehender Abwärtskompatibilitäten

abzielt. Zuletzt gilt es jedoch auch, zufällig erkannte, nicht aus einer gezielten Suche resultierende, kritische Aspekte sowie Verbesserungsmöglichkeiten in näher zu untersuchende Phänomene umzuwandeln. **Erkenntnisgetriebene Analyseziele** /GP III-3/ komplettieren damit die unter dem hier betrachteten Gesichtspunkt hinsichtlich ihres Konkretisierungsgrads und ihres Ursprungs differenzierter analysetreibender Ziele.

Auf /GP III-2/ (chancen- und risikenorientierte Ziele) wird im Folgenden aufgrund der besonders hohen Relevanz für die vorliegende Arbeit nochmals über die im Anhang befindlichen Detaillierungen hinaus vertiefend eingegangen. Ein allgemein wichtiger, für den im Rahmen dieser Arbeit adressierten industriellen Kontext gar essenzieller, Risikoaspekt besteht in verschiedenen Formen der **Eigenschaftsübererfüllung**. Dabei ist in erster Instanz die **SH-Wirksamkeit** von Bedeutung. Bei dieser, dem Kano-Modell entsprechenden (vgl. Kapitel 4.1) Perspektive steht im Vordergrund, inwiefern der Erfüllungsgrad der Eigenschaften den Erwartungen der verschiedenen SH entspricht.

Um dem Thema Übererfüllung im Zusammenhang systemhierarchischer Betrachtungen ganzheitlich zu begegnen, ist es jedoch nicht ausreichend, die wahrgenommenen (tendenziell hoch aggregierten) Eigenschaften und ihre Erwartungswerte zu betrachten. Diese können gut abgestimmt, und dennoch **Ergebnis „versteckter Ineffektivität“** sein, die dadurch entsteht, dass ihre E_{Quelle} niedrigerer Ebenen nicht voll wirksam eingehen. Diese **ineffektiven Beitragsanteile** wirken sich mehrfach negativ aus. Einerseits schlagen sich die dafür investierten **Mehraufwände** nicht in der Verbesserung ihrer Zieleigenschaften nieder (unabhängig davon, ob diese SH-wirksam sind, oder nicht) und zusätzlich können aus der Umsetzung ungünstige Randbedingungen für die Realisierung anderer Eigenschaften resultieren. Für letztere kann dies eine Erhöhung der Aufwände oder gar deren Machbarkeitsgefährdung bedeuten. Bezüglich dieser **ineffektiven Beitragsanteile** wird im Rahmen des M-QFD prinzipiell unterschieden, zwischen **Blindwirkung**, die sich auf die gehemmte Entfaltung einer einzelnen E_{Quelle} bezieht, und **Übersättigung**, bei welcher sich die Ineffektivität auf alle E_{Quelle} einer E_{Senke} bezieht.

Zentrales Element der Methodik zur Identifikation und Charakterisierung potenziell ineffektiver Beitragsanteile ist das M-HoQ-Kernkonzept der **lösungsbezogenen Variationssensitivitäten** (vgl. Kapitel 6.3.4 und 6.4.3). Die entscheidenden Indikatoren stellen hier die **horizontalen Pfeile** für die Variation der E_{Quelle} **in Vorzugsrichtung** dar. Treten diese singularär auf, handelt es sich um die **Blindwirkung** einzelner E_{Quelle} , sind hingegen sämtliche, oder ein großer Teil der Relationen innerhalb einer Zeile derart ausgeprägt, liegt mit großer Wahrscheinlichkeit eine **(Über)sättigung** vor. Beispiel 1 zu GP III-2 in den erläuternden Detaillierungen im Anhang geht auf die Analyseaspekte dieser Ineffektivitätsformen, sowie mögliche Maßnahmen zu deren Reduktion ein. Die jeweilige Sensitivität bezüglich der Variation **entgegen der Vorzugsrichtung** der E_{Quelle} weist auf die **Schwere** der Ineffektivität hin, wobei ein Idealpunkt genau im Sättigungszustand – also am Schwellwert zur Blindwirkung – erreicht ist.

Von den aus der systematischen Identifikation ineffektiver Beitragsanteile abgeleiteten Maßnahmen werden zunächst jene priorisiert, welche sich positiv auf die Umsetzbarkeit wichtiger Eigenschaften auswirken, deren Zielwerterreichung noch nicht gesichert ist. Die Umsetzung weiterer, als **zusätzlicher Chancen** erkannter, Möglichkeiten ist als finaler Schritt innerhalb der jeweiligen Lösungskonkretisierungsebene vorgesehen. Da jede Änderung mit zusätzlichen Randbedingungen für weitere Änderungen einhergehen kann wird dadurch das Risiko des erneuten Eintrags relevanter Ineffektivitäten in die Lösung minimiert. Als optionaler Schritt sollte die Umsetzung zudem abhängig von verfügbaren Ressourcen geschehen.

Erläuternde Detaillierungen der Ausprägungsstufen des Gesichtspunkts III „*Konkretisierungsgrad und Ursprung analysetreibender Ziele*“ sowie ergänzende, spezifische Nutzungsmöglichkeiten innerhalb dieser sind in Kapitel 10.3 des Anhangs systematisch aufbereitet.

Gesichtspunkt IV: Betrachtungsfokus der Analyse

Wie in Unterkapitel 6.4.1 mit Verweis auf den maximalen Vorgehensumfang begründet, ist das Hauptanwendungsszenario des M-QFD die umfassende Weiterentwicklung eines bestehenden Moduls ohne Verfügbarkeit eines M-HoQ für dessen Vorgänger. Gleichsam wurde bei der Konzeption der Methodik – mit dem Kernelement des modulzentrierten Metamodells und dessen Nutzung in einem flexibel anpassbaren Vorgehen – auf eine größtmögliche Kompatibilität zu realen industriellen Prozessen Wert gelegt und dabei insbesondere zu verschiedenen **Stadien**, aus denen heraus ein Projekt initiiert wird.²²⁵ Nicht selten erfolgt die offizielle Erhebung in einen **formalen Projektstatus** auf Basis bereits stark konkretisierter Produktbeziehungswise Modulideen (oder -konzepte). Alternativ kann beispielsweise eine Vorstudie veranlasst werden, welche die explizite Schwachstellenanalyse eines eigenen Vorgängermoduls oder jenem eines Wettbewerbers zum Ziel hat. Mit diesen unterschiedlichen Stadien sind unterschiedliche **Originale der initialen Modellbildung** verknüpft, die sich essenziell hinsichtlich der Qualität und Unsicherheit der akquirierbaren und zu vernetzenden Informationen unterscheiden.

In diesem Zusammenhang gilt es sich zu vergegenwärtigen, welche Art von **Analyseobjekten** aus verschiedenen **Analyseperspektiven** im Rahmen der jeweils aktuellen Zielsetzung auf welchem **Aggregationsniveau** untersucht wird, und **welcher Natur** dadurch die entscheidungs- und handlungstreibenden **Ausprägungsdifferenzen** sind. Ob diese sich auf Ergebnisse bereits erfolgter Handlungen (existierende Produkte; ausgearbeitete Konzepte) beziehen oder auf eine Abschätzung der Resultate möglicher Handlungsalternativen vor deren eigentlicher Umsetzung ist dabei ein zentraler Aspekt (Tabelle 6-5).²²⁶

²²⁵ Vgl. Unterkapitel 6.4.2 bzw. Anforderungen B6 und C6.

²²⁶ Vgl. auch Bewertungstypologie nach HUBKA & EDER [1988, S. 162] (Abbildung 3-21).

Tabelle 6-5: Zusammenhang zwischen Analyseperspektiven und -objekten sowie Arten von Ausprägungsdifferenzen im Kontext zugehöriger prinzipieller Ausrichtungen verfolgter Fragestellungen

| Analyseperspektive | | Bestandsbezogen | Absicherungsbezogen | Gestaltungsbezogen / Variation |
|--|---|--|--|--|
| resultierende Analyse- / Vergleichsobjekte (Originale der Modellierung) | | Vergleich verschiedener, bereits realisierter Lösungen | Vergleich einer als Konzept realisierter Lösung mit den ihr zugrunde liegenden Zielen | Vergleich einer Idee / eines Konzeptes mit einer möglichen Variation desselben |
| Zunehmendes Aggregationsniveau von Zielbenen von Wirkketten ----- Betrachtete E_{Quelle} selbst ----- E_{Senke} des betrachteten Moduls selbst ----- E_{Senke} auf MG- / GS-Ebene ----- MG-differenzierende Betrachtung ----- BA-differenzierende Betrachtung | Untersystem- betrachtung ----- Über-system- betrachtung | adressierte Ausprägungsdifferenzen | Betrachtung positiver / negativer (realer) Abweichungen* auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus als Grundlage der Entscheidungsfindung | Betrachtung möglicher Verbesserungen / Degenerationen* auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus als Grundlage der Entscheidungsfindung |
| | Mögliche entscheidungsbezogene Fragen | | | |

* Sowohl (real) festgestellte Abweichungen als auch mögliche Ausprägungsänderungen können auf unterschiedlichen Bezugsniveaus der Formulierung betrachtet werden (funktions-, operanden-, leistungsbezogen; vgl. Teilkapitel 6.4.2)

Die aktuelle Zielsetzung (und das Projektinitiierungsstadium) beeinflusst den Analysefokus nicht nur hinsichtlich des Bezugsobjekts (*Welches Objekt wird modelliert und analysiert?*) sondern auch hinsichtlich des Betrachtungsbereichs (*Welcher Teil des Modells steht im Fokus der Betrachtung*). Dabei erfordern bestimmte Entscheidungen die sich gegenseitig ergänzende Betrachtung mehrerer Betrachtungsbereiche wie zum Beispiel Muster, die aus dem **Gesamtbild** /GP IV-1/ hervorgehen, komprimierte Informationen des **Aggregationsbereichs** /GP IV-2/, die Befassung mit **Teilbereichen** /GP IV-3/ oder **Einzelabhängigkeiten** /GP IV-4/. Die Untersuchung von **Teilbereichen** (z. B. einer bestimmten Gruppe stark zusammenhängender Eigenschaften) erfolgt durch den Ansatz nicht isoliert, sondern stets eingebettet in den (zum Zeitpunkt der Analyse bekannten) Kontext ihrer Gesamtvernetzung. Der untersuchte Teilbereich kann dabei infolge der Analyseergebnisse eingeschränkt oder erweitert werden.

Im Falle der Modellierung bestehender Systeme oder Konzepte liegt der Sonderfall vor, dass Modellerstellung (inklusive der Abbildung von Variationssensitivitäten) und Modellanalyse gänzlich sequenziell erfolgen können. Dadurch können die Analyse und die Ableitung von Handlungsmöglichkeiten auf dem Vorliegen eines „kompletten“ Modells basieren. Im Falle der synthesebegleitenden Modellierung hingegen erfolgt eine iterative Abfolge von Analyse- und Syntheseschritten, wobei sich die der Analyse zugänglichen Betrachtungsbereiche sowie die in diesen enthaltenen Informationen stetig weiterentwickeln.

Erläuternde Detaillierungen der Ausprägungsstufen des Gesichtspunkts IV „*Betrachtungsfokus bei der Analyse*“ sowie ergänzende, spezifische Nutzungsmöglichkeiten innerhalb dieser sind in Kapitel 10.3 des Anhangs systematisch aufbereitet.

7. Evaluation der qualitätsorientierten Modulplanungsmethodik M-QFD

Dieses Kapitel beschreibt die Evaluation des zuvor vorgestellten Lösungsansatzes. Diese erfolgt im Sinne der Forschungsmethodik DRM [BLESSING & CHAKRABARTI 2009] als initiale Evaluation und ist zweistufig aufgebaut. Die erste Stufe erfolgt anhand des Demonstrationsbeispiels „Top-Drive“ – eines der zentralen multifunktionalen Kernmodule komplexer Offshore-Bohranlagen – und fokussiert die Anwendbarkeit der M-QFD-Methodik. Bei der zweiten Stufe steht der Nutzen aus industrieller Perspektive im Vordergrund. Die aus dem Handlungsbedarf und der Anforderungsklärung abgeleiteten Erfolgskriterien stellen die Basis für die hierfür durchgeführte Expertenstudie dar.

7.1 Initiale Evaluation der Anwendbarkeit am Demonstrationsbeispiel „Top-Drive“

7.1.1 Vorgehen der initialen Evaluation

Nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 183] unterliegen Methodenevaluationsvorhaben im Forschungskontext der Produktentwicklung und der Konstruktionsmethodik häufig gravierenden Schwierigkeiten: So erreiche der Implementierungsgrad des tatsächlich zu Evaluationszwecken vorliegenden Unterstützungsansatzes häufig nicht alle Funktionalitäten des insgesamt über den Lösungsansatz formulierten „angestrebten Unterstützungsansatzes“. Darüber hinaus stelle die Messbarkeit heuristischer Unterstützungswerkzeuge wie Leitfäden oder Methoden eine große Herausforderung dar, insbesondere, da ihr Beitrag zu einem untersuchten Anwendungsergebnis schwer aus jenem weiterer Faktoren herauszulösen sei. Letztlich erlaubten die zeitlichen Rahmenbedingungen selten eine vollumfängliche Bewertung, da einerseits die Dauer von Entwicklungsprozessen häufig bei weitem jene eines Forschungsprojektes überschreite, und andererseits das Eintreten einer angestrebten Wirkung – insbesondere, wenn die Anwendung gewisse Lern- und Änderungsprozesse zur Aneignung der angestrebten Arbeitsweisen impliziert – eine gewisse Häufigkeit der Anwendung voraussetzt.

Eine initiale Evaluation, wie sie auch im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführt wurde, wird daher empfohlen, wenn genannte Schwierigkeiten eine vollumfängliche Evaluation nicht zulassen [BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 195] – im vorliegenden Fall sind als solche insbesondere die dargestellten zeitlichen Faktoren zu nennen. Der Fokus sollte bei einer initialen Evaluation auf **Anwendbarkeit und Nutzen** gelegt werden, wobei Problem- und Verbesserungsaspekte zu extrahieren sind, sowie Anhaltspunkte, welche einer tieferen Untersuchung zugeführt werden sollten. Sich an diesen **Empfehlungen** orientierend legt die initiale Evaluation dieser Forschungsarbeit den Fokus der Anwendbarkeitsbewertung auf die durchgängige Abbildungs- und Analysefähigkeiten der **für die modulzentrierte Perspektive notwendigen Informationen und Zusammenhänge** mit Hilfe des adaptierten Metamodells.

Als geeignete Methode für eine initiale Evaluation schlagen BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 208] eine **demonstrationsorientierte Anwendung** durch den Methodenentwickler selbst auf Basis eines möglichst realitätsnahen Beispiels vor. Allerdings bestehen klare Limitationen bezüglich der möglichen Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit durch die Nutzer der tatsächlichen Zielgruppe in der Methoden- und Prozesslandschaft eines Unternehmenskontexts und damit auch auf den real zu generierenden Nutzen in diesem Kontext. Folglich ist die **Einbindung potenzieller Anwender** in die initiale Evaluation unabdingbar, um auf Basis des Feedbacks aus Industriesicht die Validität zu ziehender Rückschlüsse zu erhöhen. Dieser Teil der Evaluation, der Gegenstand des nachfolgenden Teilkapitels (7.2) ist, wurde methodisch durch Fragebögen und Anwendergruppendifkussionen unterstützt, welche neben Workshops als geeignete Formen angesehen werden.

Die dargestellte Herangehensweise auf Basis eines **Demonstrationsbeispiels** stellt eine logische Konsequenz der Rahmenbedingungen dieser Arbeit dar. Die in Forschungsarbeiten der Produktentwicklung häufig gewählte Anwendung einer entwickelten Methode auf sehr einfache Produkte, um dadurch eine möglichst vollumfängliche und wiederholte Anwendung und Bewertung durchführen zu können, stellte hier keine Option dar, da eine **gewisse Komplexität²²⁷ motivationsbedingt definitorischer Bestandteil des Zielbereiches des Lösungsansatzes** ist.

Das zur Evaluation herangezogene Demonstrationsbeispiel war Gegenstand einer Forschungs-kooeration mit einem der weltweit führenden System-OEM der Offshore-Bohrindustrie. Es wurde basierend auf einer **realen Ausgangssituation** entwickelt, nicht jedoch durch direkte Anwendung im Rahmen des durch den System-OEM real aus dieser Situation heraus geplanten Entwicklungsprojekts, da dies aufgrund der zuvor adressierten Herausforderungen keinen adäquaten Evaluationsrahmen darstellte. Neben der reinen Projektdauer (die typischerweise ein Vielfaches des verfügbaren zeitlichen Rahmens für die Methodenevaluation im Rahmen einer Dissertation darstellt) war ein weiterer, für eine sinnvolle Evaluationsbasis kritischer Zeitaspekt, dass das Entwicklungsprojekt zum Finalisierungszeitpunkt der Methodenkonzeption bereits ca. 1 Jahr Laufzeit hinter sich hatte. Im Umkehrschluss konnte durch die Wahl dieser Konstellation sichergestellt werden, dass die in die Evaluation eingebunden Experten die durch die Methodik angestrebten Unterstützungsmöglichkeiten hinsichtlich Art, Systematisierung und Verarbeitung der Informationen vor dem Hintergrund der realen Vergleichsgrundlage des laufenden Projekts bewerten konnten. Des Weiteren vereinfachte dieses Vorgehen die Umsetzung der **für die gebotene Vertraulichkeit notwendigen Anonymisierungs-beziehungsweise Verfremdungsmaßnahmen**, welche durch die Integration bestimmter zusätzlicher Annahmen, teilweise Modifikationen der zugrunde gelegten Ziele beziehungsweise deren Zielwerte, sowie den Verzicht auf eine vollständige Repräsentation des im Rahmen der Fallstudie generierten Abhängigkeitsmodells erreicht werden.²²⁸

Die Sicherstellung größtmöglicher Realitätsnähe bei der Entwicklung des Demonstrationsbeispiels erfolgte durch die Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner auf mehreren

²²⁷ Einerseits hinsichtlich Komplexitätshöhe und -art, andererseits bezogen sowohl auf die betrachteten technischen Systeme als auch auf den industriellen Kontext.

²²⁸ Auf die getroffenen Maßnahmen wird an den evaluationsrelevanten Stellen nochmals explizit hingewiesen.

Ebenen: Bezüglich der genannten Ausgangssituation wurde auf einem **realen Business Case** aufgebaut, der technische, marktbezogene (sowohl generelle Einschätzungen durch den System-OEM selbst, als auch subjektive Einschätzungen einzelner Stakeholder) sowie betriebswirtschaftliche Basisinformationen enthielt. Bezugsobjekt dieser Informationen waren neben dem zukünftigen Modul dessen Vorgänger sowie Wettbewerbermodule. Durch das durch die zu validierende Methodik geforderte Anforderungs- und Zielverständnis (sowie die notwendigen Verfremdungsmaßnahmen) wurden diese Informationen nicht eins zu eins verwendet sondern lediglich in Teilen extrahiert und im Rahmen des Modellaufbaus mit weiteren Informationen angereichert. Diese standen als **Ergebnisse von Workshops** des im Rahmen der Einleitung dargestellten gemeinsamen Forschungsprojekts, als **Daten des Anforderungsmanagements** sowie in Form **öffentlich zugänglicher Informationen**²²⁹ zur Verfügung. Die Verwandtschaft zu dem erwähnten realen Entwicklungsprojekt erlaubte es dabei, die **Akquirierbarkeit** der im Rahmen der Methodenanwendung vorausgesetzten Information in den entsprechenden Projektphasen zu hinterfragen. Die prinzipielle **Durchführbarkeit** des Vorgehens (Abfolge der analysierenden und synthetisierenden Tätigkeiten) sowie der Ausschluss prinzipieller **Inkompatibilitäten** mit den im Unternehmen etablierten Prozessen wurden sowohl in initialen Workshops, als auch retrospektiv durch gemeinsame gedankliche Simulation und Bewertung im Rahmen der finalen Expertenstudie sichergestellt (Kapitel 7.2).

7.1.2 Multifunktionales Kernmodul Top-Drive: Funktion und Hintergründe

Allgemeine Grundlagen zum Modul „Top-Drive“

Bei dem Demonstrationsbeispiel der im Rahmen dieser Evaluation durchgeführten Fallstudie handelt es sich um den sogenannten „**Top-Drive**“²³⁰, welcher das Herzstück jeder Bohranlage sowie gleichzeitig deren kostenintensivstes **Modul**²³¹ darstellt. Als Aushängeschild eines System-OEMs nimmt der TD eine zentrale Türöffnerrolle für dessen erfolgreiche Auftragsakquise bezüglich kundenbeauftragter Systementwicklungen ein. Hauptfunktion des TD ist es, das für das Bohren nötige Drehmoment aufzubringen.²³² Dabei wird der Bohrstrang durch den TD vertikal fixiert, welcher seinerseits – an Schienen geführt – vom Hebewerk der Plattform innerhalb des zentralen Mastes gehoben und gesenkt wird.²³³

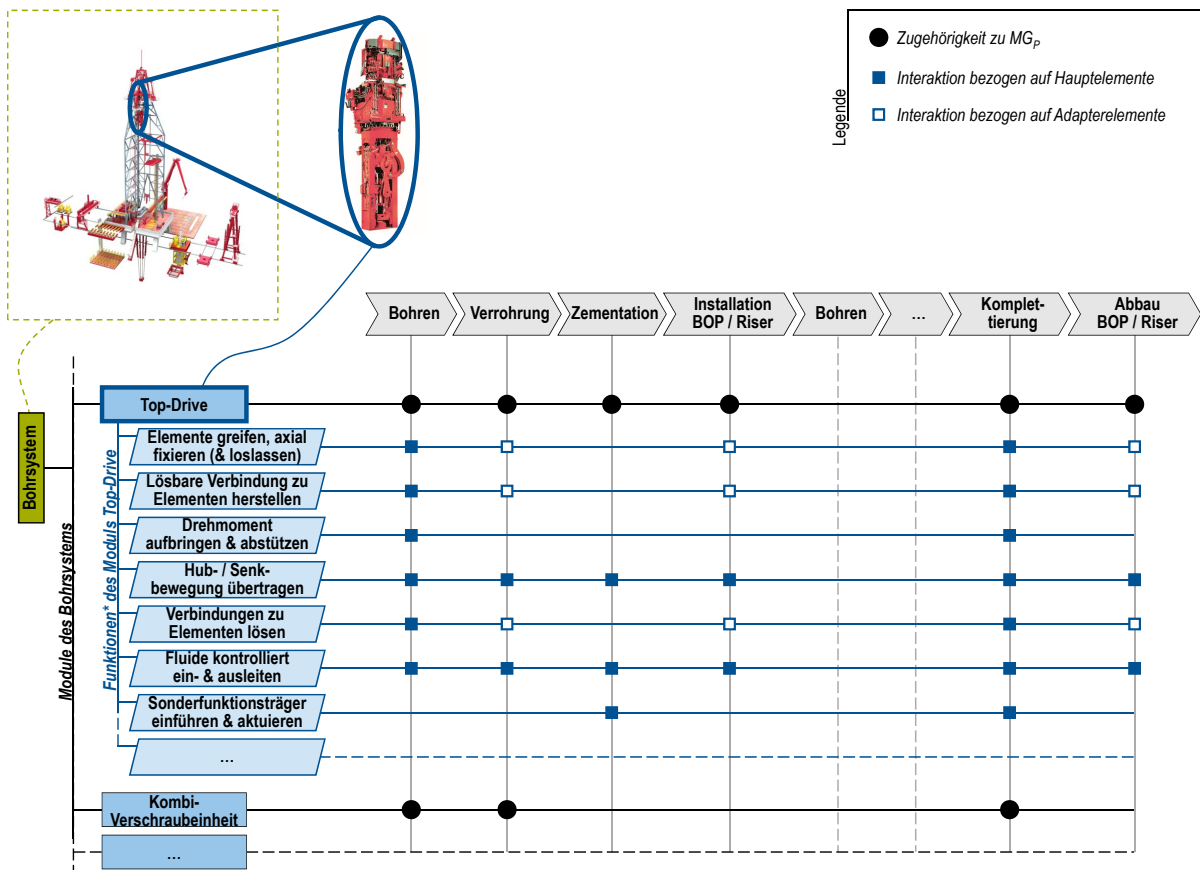
²²⁹ Z. B. Produktbeschreibungen des Kooperationspartners und von Wettbewerbern, herstellerübergreifende Systemübersichten (inkl. Kernparametern), Architekturübersichten des Kooperationspartners, Patente

²³⁰ im Folgenden meist durch „TD“ abgekürzt

²³¹ Eine blockartige, verfahrbare und als Ganzes austauschbare Einheit mit elementaren, jedoch prinzipiell lösbaren Schnittstellen zum Umsystem darstellend, wird die Moduldefinition durch das Subsystem Top-Drive offenkundig erfüllt.

²³² Die wichtigsten Grundlagen der im Folgenden aufgegriffenen Systeme und Prozesse der Offshore-Bohrindustrie – inklusive der zentralen Begriffe – sind Kapitel 2.2 bzw. für tiefergehende Details der dort referenzierten Fachliteratur zu entnehmen.

²³³ Um den Bohrkopf (oder andere Funktionsträger) genau zu positionieren, muss über diese Schnittstelle außerdem der Wellenhub des Wassers ausgeglichen werden.



* In Funktionen genannte „Elemente“ können sich (auch innerhalb einer Zeile) stark unterscheiden (z. B. Größe, Form, Gewicht, Interaktionsschnittstellen)

Abbildung 7-1: Multifunktionales Kernmodul Top-Drive (modulspezifischer „Zoom“ in Abbildung 2-2)

Bei einer Eigenmasse von bis zu 60t werden durch den TD Traglasten von bis zu 1250t realisiert. Beim Nachführen von Gestänge zum Längenausgleich des Bohrfortschritts (bzw. beim zwischen den Prozessen immer wieder nötigen Abbau des gesamten Bohrstrangs) übernimmt der TD Verschraub- und Lösefunktionen. Auch alle anderen Funktionsträger²³⁴ für bestimmte Aufgaben werden über den TD als zentrale Schnittstelle der Plattform zu ihrem zweckmäßigen Output den Verrichtungsorten ihrer Funktionen – meist innerhalb des Bohrlochs – zugeführt. Dies erfordert die Handhabung von Objekten stark unterschiedlicher Art, Größe und Geometrie. Je nach Hauptprozess sind verschiedene Flüssigkeitskreisläufe zwischen Plattform und Bohrloch zu realisieren, bezüglich derer der TD Einleitungs-, Steuerungs- und Sicherheitsfunktionen übernimmt. Außerdem dient der TD als Informationsschnittstelle für die Kommunikation über verschiedene Medien (z. B. elektronisch oder hydraulisch über Pulsmessungen im Bohrloch).

Die Erfüllung dieser hier sehr grobgranular aufgeführten und in Abbildung 7-1 (links) dargestellten **Hauptfunktionen des Moduls TD** erfolgt im Rahmen dessen Partizipation an den

²³⁴ Z. B. Temporäre Sicherheitsventile (BOP), Messsonden, Fluidtrennkolben, Aktuationselemente, Sprengladungen, Casings und andere feste Installationen, Überbrückungselemente und viele mehr.

ebenfalls dargestellten (oben) übergeordneten Systemfunktionen bzw. -prozessen²³⁵, womit das betrachtete Modul das konstituierende Merkmal eines **multifunktionalen Kernmoduls** erfüllt. Die kombinierte Betrachtung von Abbildung 7-1 und Abbildung 2-2 verdeutlicht, dass diese Partizipation jeweils als Teil unterschiedlicher **prozessbezogener Modulgruppen (MG_P)** geschieht, die mehr oder weniger große Überschneidungen aufweisen.²³⁶ Je nach MG_P ist der Top-Drive dabei in direkter Interaktion mit

- dem Hebe- und Kompensationssystem (an denen er aufgehängt ist) und der Führungsschiene im Masten (inklusive Ausrückmöglichkeit)
- dem vertikalen Pipe-Handling-System (Handhabung vormontierter Rohrgruppen unterschiedlicher Art und anderer Funktionsträger)
- verschiedenen Anreichmodulen (je nach Art und Lagerort von Umsatzprodukten, abhängig von der Gesamtsystemarchitektur)
- Fluid- und Steuerungssystemen

Allgemeine Kerneigenschaften sind folglich

- hohe Leistungsfähigkeit bezogen auf Drehmoment und Drehzahl
- hohe Flexibilität in Bezug auf Bewegungsmöglichkeiten und handhabbarer Umsatzobjekte
- hoher Automatisierungsgrad und Steuerfähigkeit
- hohe Verfügbarkeit und damit Zuverlässigkeit und Wartbarkeit
- geometrische und massebezogene Eigenschaften²³⁷

Aus der **Konkurrenz** dieser sowie weiterer Eigenschaften ergeben sich zahlreiche **Zielkonflikte**, die eine zentrale Bedeutung für die Motivation und den Ansatz dieser Arbeit haben.

Je nach Schnittstellenflexibilität der einzelnen Module sind außerdem zahlreiche Umrüstvorgänge vonnöten, die ihrerseits zusätzliche Transport- und Montageprozesse (für entsprechende, teilweise viele Tonnen schwere Adapter) auf der Plattform erfordern. Die Relevanz prozessbezogener Eigenschaften (z. B. die Flexibilität, Geschwindigkeit oder Zuverlässigkeit eines Hauptprozesses), und damit der zu diesen beitragenden Eigenschaften des TD, hängen stark von der Gesamtsystemarchitektur ab. Ob es sich um einen 1- oder 2-Master handelt ist beispielsweise entscheidend für die Parallelisierbarkeit von Prozessen oder die (teilweise) Substituierbarkeit von MG_P, die diese ausführen.

Neben der Systemarchitektur haben die unterschiedlichen **Stakeholderrollen und -konstellationen** in den Wertschöpfungsnetzwerken der Bohrindustrie einen maßgeblichen Einfluss auf die Bedeutung von Eigenschaften (vgl. Kapitel 2.2.2). Die daraus resultierenden Interessen sind den technischen Zielkonflikten überlagert. Der TD vereint als zentrales Kernmodul viele dieser Konflikte auf sein Eigenschaftsgefüge. Je nach Vertragskonstellation verkörpert beispielsweise Zeiteffizienz das Primärinteresse des beauftragenden Energiekonzerns (EK),

²³⁵ Vgl. zugehörige Visualisierung in Abbildung 2-1.

²³⁶ Vgl. hierzu auch die in Kapitel 2.2.1 erläuterten Zusammenhänge zwischen sog. „**Downhole-Prozessen**“ (als Hauptprozessen eines Bohrprojekts) und diese auf der Plattform befähigenden „**Topside-Prozessen**“.

²³⁷ Diese besitzen zwar für die eigentliche Funktionserfüllung keinen unmittelbaren Wert, sind jedoch für die Anlagenkompatibilität von entscheidender Relevanz.

während die Priorität des Betreibers (BE) auf der Zuverlässigkeit liegt. Eine erhöhte Wartbarkeit kommt wiederum beiden zugute, wobei für den EK aus kurzen Wartungszeiten ein schnellerer Projektfortschritt und damit eine frühere Verfügbarkeit der Anlage für das Folgeprojekt resultieren, während der BE damit Zahlungsunterbrechungen vermeiden will. Die Werft ist im Allgemeinen an niedrigen Investitionskosten sowie einer schnellen Inbetriebnahme (zügiges Freiwerden des Liegeplatzes) interessiert, Drittzulieferer wiederum daran, dass Kompatibilität gegenüber ihren Modulen gewährleistet ist, was je nach Relevanz derselben auch kaufentscheidend für den Käufer der Anlage sein kann. Da die resultierenden Interessensgeflechte für den System-OEM einerseits nicht beeinflussbar sind und andererseits in einer – schwer vorhersehbaren – **projektspezifischen Varianz** auftreten, muss es Ziel der Qualitätsorientierung in der Modulentwicklung sein, eine bestmögliche Reflexion des Eigenschaftsgefüges des Moduls gegenüber derselben zu erreichen.

Heutige Top-Drives sind das Ergebnis jahrzehntelanger **Modulevolution**. Als Kernelement sich gleichzeitig verfestigender Gesamtsystemarchitekturen ist die funktionale Rolle eines TD klar definiert. Weiterentwicklungen²³⁸ verfolgen im Kern daher nicht mehr, diese zugunsten radikaler Neuerungen aufzuweichen, sondern fokussieren sekundäre Eigenschaften und Funktionen (wie z. B. Wartbarkeit, Automatisierung, Modularität). Aufgrund der extremen Komplexität, welche sich aus der Rolle als multifunktionales Kernmodul, aus der Integration desselben in verschiedene Architekturen sowie aus den genannten Interessensgeflechten ergibt, sieht sich die Branche dabei dennoch von einem perfekten, technisch ausgereizten Produkt noch weit entfernt. Das Ergebnis sich wiederholender Konzentration auf bestimmte Verbesserungen und damit einhergehenden Vernachlässigungen nicht fokussierter Eigenschaften, führt zu einer internen Wahrnehmung nicht beherrschter Schwankungen zwischen Über- und Untererfüllungen seitens des System-OEMs, welche jedoch übertragbar ist auf den Gesamtwettbewerb, der durch stark angegliche Lösungen geprägt ist. Die industrieweit etablierten Strukturen und Schnittstellen repräsentieren dabei auch klare Zwänge für die OEMs, da Modulweiterentwicklungen größtenteils erfolgen müssen, ohne diese aufzubrechen oder infrage zu stellen. Auch einer Spreizung in feiner geschnittenen Modulvarianten sind aufgrund der extremen Entwicklungs- und Herstellkosten bei sehr niedrigen Stückzahlen klare Grenzen gesetzt.

Hintergründe zur konkreten Ausgangssituation des Demonstrationsbeispiels

Das Vorgängermodul (aus Sicht des Entwicklungsprojekts des konkreten Evaluationsbeispiels) „Original Top-Drive“ (OTD)²³⁹ entstand als Ergebnis einer außergewöhnlichen Kooperation mit einem der marktführenden Anlagenbetreiber, welcher für den System-OEM ansonsten unzugängliche Daten zur Ermittlung von Ausfall- und Wartungsursachen bereitstellte und in Ergänzung aktiv an der Formulierung der Anforderungen beteiligt war. Die ingenieurtechnische Leistung, diese zur vollsten Zufriedenheit umgesetzt zu haben, wurde von diesem Kernstakeholder als wegweisender Erfolg in den Markt kommuniziert und von diesem zunächst auch als solcher wahrgenommen. Bislang ungekannte Ausprägungen der Verfügbarkeit und

²³⁸ Vgl. Kapitel 3.4 zu Möglichkeiten der Einordnung der in dieser Arbeit betrachteten Innovationen in entsprechende Klassifikationen.

²³⁹ Die realen Produktnamen wurden aus Vertraulichkeitsgründen durch frei erfundene ersetzt.

Reparaturdauer auf Basis eines innovativen, modularen Konzepts bedeuteten einen signifikanten Vorsprung gegenüber dem Wettbewerb. Als Bestandteil des kundenunabhängigen Portfolios konnte sich das Modul dennoch nicht im Markt durchsetzen.

Die hauptsächlichen **ergebnisbezogenen** und **methodisch-ursächlichen** Defizite können dabei auf folgende Punkte zusammengefasst werden²⁴⁰: Resultat der Fokussierung auf die Verfügbarkeitsoptimierung waren vor allem vernachlässigte Basiseigenschaften (insbesondere bezüglich Geometrie und Masse), woraus eine schlechte Kompatibilität mit den meisten etablierten Architekturen resultierte. Die nötigen Architektur Anpassungen wurden einerseits unterschätzt; andererseits erwies sich der Markt als nicht bereit, trotz der nachweisbaren und auch anerkannten Modularitätsvorteile, entsprechende Architektur Anpassungen vorzunehmen – weder im Rahmen neuer kundenbeauftragter Systeme, noch im Rahmen von Systemupgrades (Abwärtskompatibilität). Einer der retrospektiv festgestellten Gründe dafür war, dass die klaren Vorteile so stark auf die Bedarfe des Kooperationspartners zugeschnitten waren, dass für genannte Architektur Anpassungen für die übrigen SH kein Anreiz bestand.

Neben dieser einseitigen Fixierung auf die spezifischen Bedarfe eines SH wurden weitere Fehlerursachen für den wirtschaftlichen Misserfolg dieses zunächst hoffnungsvoll betrachteten Projekts festgehalten, welche größtenteils auf mangelnde Systematik und Transparenz zurückgeführt wurden: Die ungenügende Berücksichtigung vermeintlich weniger wichtiger Basiseigenschaften bis hin zu einer Vernachlässigung deren genauer Spezifikation war eine Folge der bedingungslosen Konzentration auf die a priori definierten Projektanforderungen, welche wesentlich aus den Analyseergebnissen der durch den kooperierenden SH bereitgestellten Daten abgeleitet wurden. Dies ging wiederum einher mit einer isolierten Sicht auf die Moduleigenschaften, ohne die übergeordneten Systemeigenschaften adäquat zu integrieren, geschweige denn dies im Kontext verschiedener relevanter Architekturformen zu tun. In einem Folgeprodukt (OTD100) für geringere Traglasten (und damit Wasser- und Bohrtiefen) der gleichen Modulfamilie konnten einige Optimierungen vorgenommen werden, die zentralen Schwachstellen konnten dadurch jedoch nicht behoben werden – auch weil zum Zeitpunkt der Modulplanungsphase eine gründliche marktseitige Bewertung des Grundprojekts (OTD125) noch nicht vorlag.

Als Konsequenz wurden unterschiedliche Business Cases entwickelt und in Entwicklungsprojekte überführt, wobei markt- und produktstrategisch zwischen zwei Zielbereichen unterschieden wurde:

- **Zielbereich A** umfasst den bereits über die OTD-Generation adressierten Einsatzbereich, welcher den aktuellen und auch noch längerfristig gültigen Kernabsatzmarkt repräsentiert. Aufgrund der Erfolglosigkeit des noch jungen OTD am Markt soll dieser für den Einsatz im Kontext etablierter Architekturen durch den „Next Top-Drive“ (NTD) abgelöst werden, wobei eine teilweise Rückkehr zu konventionelleren Teilkonzepten angestrebt wird.
- **Zielbereich B** umfasst den erst mittel- bis langfristig relevanten Zukunftsmarkt extremer Wasser- und Bohrtiefen, welche nur auf Basis bislang nicht realisierter Traglasten möglich

²⁴⁰ Das Verständnis der Ausgangssituation basiert auf zahlreichen Workshops und Expertengesprächen im Rahmen des Kooperationsprojekts und wurde darüber hinaus im Kontext der Expertenstudie nochmals final abgesichert.

sind. Da diese gleichzeitig eine essenzielle Weiterentwicklung der etablierten Gesamtsystemarchitekturen voraussetzen, negiert sich der entscheidende Nachteil mangelnder Kompatibilität mit etablierten Systemen, was eine konsequente Weiterverfolgung des innovativen OTD-Konzepts legitimiert.

Zusammenfassend ließ sich die Haltung zahlreicher Experten des Kooperationspartners zu dieser Strategie nach ca. einjähriger Laufzeit so resümieren, dass einerseits hinsichtlich der Darlegung der generellen Marktorientierung und Absorptionsfähigkeit substanzielle Fortschritte gemacht wurden. Andererseits wurden jedoch nach wie vor Defizite hinsichtlich eines geeigneten Instrumentariums konstatiert, die Transparenz und Ausgewogenheit des in der Planung und Entwicklung herauszuarbeitenden und umzusetzenden Eigenschaftsgefüges entlang des Prozesses im Sinne einer modulzentrierten Perspektive sicherzustellen, worin erhöhte Risiken der Umsetzung und Zielerreichung der Strategie gesehen wurden.

7.1.3 Beispielhafte Anwendung der modulzentrierten Transparenzschaffung

Zielsystem aus modulbezogenen Zielen und Schwerpunkten der Methodikanwendung

Der **Business Case**, welcher eines der in Unterkapitel 7.1.1 dargestellten Kernelemente der Informationsgrundlage für das Demonstrationsbeispiel darstellte, bezog sich auf den zuvor skizzierten **Zielbereich A**. Die aus dieser Informationsgrundlage als Ausgangspunkt der zu evaluierenden Methodik abgeleiteten **Ziele**²⁴¹ waren wie folgt formuliert:

- Schwächerer Fokus auf die Moduleigenschaft *<Verfügbarkeit>* und Identifikation möglichst hoher, durch deren gezielte Reduktion freisetzbarer Verbesserungspotenziale
- Spezifische Untersuchung des Potenzials der modulinternen Modularität sowie übermäßiger Redundanzen als vielversprechende Stellhebel (im Sinne von E_{Quelle} aus Sicht der *<Verfügbarkeit>*)
- Fokus der Potenzialabschöpfung zugunsten von klaren Geometrie- und Massezielen
- Wo Nutzen im Sinne eines ausgewogenen (nicht asymmetrischen) Eigenschaftsgefüges plausibilisierbar, Beibehaltung der prinzipiell guten Teillösungen des Vorgängers, beziehungsweise weiterer Ausbau derselben.
- Vermeidung von Maßnahmen zu Lasten der *<Modulzuverlässigkeit>* als langfristiger Reputationstreiber
- Leistungssteigerung gegenüber dem Vorgänger mit konkreten, höheren Zielwerten für *<Drehmoment>* und *<Drehzahl>*
- Gewichtssparendes neues Schienenführungskonzept des TD im Masten
- Einfache Bedienbarkeit

Gemäß der Prämissen der Methodik wurden diese Ziele (mit der Ausnahme leistungsklassdefinierender Eigenschaften des Moduls) für die Entwicklung des Demonstrationsbeispiels jedoch nicht im Sinne unverrückbarer Ziele mit dem Zweck deren kompromissloser Umsetzung

²⁴¹ Aus Geheimhaltungsgründen nicht vollumfänglich dargestellt beziehungsweise teilweise modifiziert.

definiert. Stattdessen wurden diese – unter Berücksichtigung der zuvor dargelegten Vorgehensreflexion bei Vorgängerentwicklungen – als initiale Ziele eingespeist, deren Weiterentwicklung und Anpassung im Rahmen des zunehmenden Wissens über das Modul durch seine konsequent modulzentrierte Entwicklung expliziter Bestandteil der Herangehensweise ist.

Über diese modulbezogenen Ziele hinaus waren für das Demonstrationsbeispiel bezüglich jener Schritte und Aspekte **bestimmte Grundannahmen** zu treffen, deren Betrachtung durch die zu evaluierende Methodik M-QFD zusätzlich gefordert wird:

- die (hypothetischen) Ergebnisse einer **systematischen Klärung des Projektionsraums**, für welchen ein exemplarischer Umfang von **3 Basisarchitekturen** und **2 Hauptstakeholdern** definiert wurden²⁴²
- Auswahl des **Vorgängermoduls** (OTD) als Referenz für die Zielwertbereiche²⁴³. Auf Konkurrenzmodule wird im Rahmen der Zielbegründung nur punktuell referenziert.

Im Rahmen des Demonstrationsbeispiels lag der **Fokus auf folgenden methodischen Unterstützungsziele**²⁴⁴, deren Grundlage die dargestellte Konstellation aus reflektierter Ausgangssituation und konkreten Entwicklungszielen darstellt:

- **Plausibilisierung der initialen Zielsetzung** hinsichtlich der Fragestellungen, ob das Zielgerüst konsistent ist und die einzelnen Ziele realistisch sind hinsichtlich ihrer Größenordnung
- **Transparenzschaffung hinsichtlich des entstehenden Eigenschaftsgefüges aus modulzentrierter Perspektive:**
 - Zusammenhänge zwischen Stellgrößen (im Sinne von E_{Quelle} unterschiedlicher Ebenen) und deren Auswirkungen bezüglich der Eigenschaftsaggregationen und resultierenden Restriktionen bzw. Nebenwirkungen.
 - Operationalisierung von Auswirkungen von Entscheidungen im Übersystem durch durchgängige Kopplung der betrachteten Moduleigenschaften an deren Senken innerhalb der im Projektionsraum abgebildeten Basisarchitekturen.
 - Berücksichtigung von querabhängigen Redundanzen auf unterschiedlichen Systemebenen.
 - Vermeidung der unflexiblen Fixierung auf initial formulierte Anforderungen, die nur noch losgelöst von den ihnen zugrundeliegenden Zielen auf Systemebene vorliegen.²⁴⁵
- **Transparenzschaffung hinsichtlich Eigenschaftswahrnehmung und -bedeutung:**
 - Mitführung aus Innovationssicht vermeintlich irrelevanter Eigenschaften.

²⁴² Dieser überschaubare Umfang soll dabei primär die Nachvollziehbarkeit der prinzipiellen Mechanismen der Methodik erlauben und kann projektabhängig in beiden Dimensionen variieren und deutlich größer sein.

²⁴³ Wie in traditionellen QFD-Ansätzen kann eine solche Referenz projektabhängig definiert werden und alternativ oder ergänzend auch Konkurrenzmodule umfassen.

²⁴⁴ Es wird hier klar drauf hingewiesen, dass nicht der Anspruch erhoben werden kann, dass im Rahmen eines Evaluationsbeispiels sämtliche Zielsetzungen aufgegriffen werden können, welche aus dem Handlungsbedarf abgeleitet wurden und sich in Elementen des Lösungsansatzes niederschlagen (vgl. Nutzungsgesichtspunkte Kapitel 6.4.4).

²⁴⁵ Vgl. auf Seite 171 unter Verweis auf FRICKE [2003, S. 73] argumentierte Notwendigkeit einer dynamischen Anforderungsgrundlage.

- Durchgängige Spiegelung an unterschiedlichen SH-Perspektiven sowie der technischen Bedeutung (Notwendigkeit vs. Schädlichkeit) einer Eigenschaft.
- Nutzung der durch die Methodik bereitgestellten Möglichkeiten zur Optimierung **umsetzbarer Zielwertkonstellationen**.
- **Identifikation, Klassifikation und Reduktion von ineffektiven Beitragsanteilen** in der Realisierung von hochaggregierten Eigenschaften und damit
 - durch Steigerung des Werts des Outputs höhere Effektivität in Bezug auf Entwicklungs- und Realisierungsaufwände,
 - durch Verminderung unnötiger Restriktionen für andere, über Querabhängigkeiten verknüpfte Eigenschaften höhere Effizienz dieser Prozesse.

Beschreibung des Vorgehens auf Basis des M-HoQ

Die folgenden Ausführungen geben Einblick in Elemente des Vorgehens, der (Zwischen-)Ergebnisse und der daraus resultierenden Interpretationsmöglichkeiten als Ausgangspunkte für Entscheidungsaspekte und Handlungsableitungen im spezifischen Fall des Demonstrationsbeispiels. Abbildung 7-2 zeigt das zugehörige zentrale **Arbeits- und Kommunikationswerkzeug des M-HoQ** in einem Zwischenstadium²⁴⁶ während der durch Synthese-Analyse-Iterationen geprägten Modellnutzungsphase.²⁴⁷ Anhand dieser Abbildung können die im Folgenden beschriebenen Vorgehens- und Ergebniselemente nachvollzogen und verortet werden, wofür alle relevanten Informationen und Bereiche des Modells in der Abbildung repräsentiert sind.²⁴⁸ Da geheimhaltungsbedingt nicht sämtliche Eigenschaften der durch den Kooperationspartner angebotenen Systeme sowie des betrachteten Kernmoduls gezeigt werden dürfen, sind die Inhalte des gezeigten Bereichs so angepasst, dass sie sich hinsichtlich der enthaltenen Querabhängigkeiten nur auf andere gezeigte Inhalte beziehen, wodurch die formale Nachvollziehbarkeit gewährleistet ist.

Die Abbildung ist eine für Darstellungszwecke leicht angepasste Repräsentation des Modells auf Basis des entwickelten eingeschränkten **Excel™-basierten Funktionsprototypen**, in welchem unter anderem die Berechnungen der Metriken im Aggregationsbereich, die Verknüpfung zu Metainformationen sowie das Markieren zentraler Bereiche oder Einzelaspekte basierend auf Muster- oder Extremwörterkennung implementiert wurden. Obschon die rechnerbasierte Umsetzung der Werkzeugunterstützung nicht im Fokus dieser Arbeit stand, bietet der Funktionsprototyp Anhaltspunkte zur Schärfung von Anforderungen an eine solche. Diese werden im Folgenden punktuell erwähnt und in Kapitel 7.2.2 im Kontext der Ergebnisse der

²⁴⁶ Ein finaler, vollkommen aufgelöster Zustand, würde das Aufzeigen und Diskutieren, einiger über die Methodik identifizierbarer und durch das Modell darstellbarer „Problemaspekte“ nicht erlauben. Das abgebildete Modellstadium wurde so gewählt, dass sowohl bereits hergeleitete Entscheidungen nachvollzogen, als auch damit zu lösende Konflikte und Probleme aufgezeigt und diskutiert werden können.

²⁴⁷ Der Nutzungsphase voraus geht die Etablierung der modulzentrierten Perspektive mit den Teilphasen der Planungsinittierung, der Definition des Projektionsraums und der initialen Modellerstellung (vgl. Abbildung 6-11). Die Ergebnisse dieser Phasen lassen sich ebenfalls anhand des Gesamtmodells nachvollziehen, weswegen auf die Darstellung vorausgehender Modellstadien verzichtet wurde.

²⁴⁸ Zur Erklärung der Syntax und Semantik sei auf Kapitel 6.3 verwiesen.

Expertenstudie nochmals konsolidiert und reflektiert. Nicht dargestellt sind die zu jeder Relation hinterlegbaren Metainformationen, welche eine spätere Rekapitulierbarkeit von Abhängigkeitsstärken sowie der diesen zugrunde liegenden Abschätzungsannahmen unterstützen. In Tabelle 10-5 im Anhang sind einige dieser Metainformationen unter Lesbarkeitsgesichtspunkten bezüglich der Lektüre dieser Dissertation zusammengestellt. Ergänzend zu den Metainformationen aus dem tatsächlichen Modell werden dort nochmals die Syntax und Semantik, auf welcher die im Folgenden dargestellten Bewertungen und Entscheidungen basieren, erklärt, um die inhaltliche Nachvollziehbarkeit des Evaluationsbeispiels zu unterstützen.

Definition des Projektionsraums und Grundvernetzung

Aus dem M-HoQ ist ersichtlich, dass für den **Projektionsraum** exemplarisch 3 Basisarchitekturen (BA) und 2 Stakeholder (SH) definiert wurden. Tabelle 7-1 gibt einen Überblick über die gewählten BAs sowie die Ausprägungen der diese charakterisierenden Hauptmerkmale.

Tabelle 7-1: Beschreibungsmerkmale der ausgewählten Basisarchitekturen des Projektionsraums

| | Referenzarchitektur (Basisarchitektur 1) RA (BA I) | Basisarchitektur 2 BA II | Basisarchitektur 3 BA III |
|---|---|------------------------------------|-------------------------------------|
| Mastausführung | konventionell | Ram Rig | konventionell |
| Maximale Traglast Gesamtsystem | 1.500 t | 1.350 t | 1.250 t |
| Anzahl Masten | 1 | 2 | 1 |
| Weil Center (Plattformzentren) | "1 ½" (1 Mast / Unterdeckbühne) | 2 vollwertige Masten | 1 |
| Lage Fingerbühne für vormontierte Rohrgruppen | über Bohrbühne | unter Bohrbühne | über Bohrbühne |
| Architektur Pipehandling-System | 2 Vertikale Pipehandler | 2 Vertikalrampen | 2 Vertikale Pipehandler |
| Transportpfade Rohre | rohrartspezifisch unterschiedlich | rohrartspezifisch unterschiedlich | einheitlich |
| ... | ... | ... | ... |
| Windschutz | unverkleidet | unverkleidet | eingehaust |

Diese einfache Darstellung wird durch weitere Modellarten zu den einzelnen BAs ergänzt wie beispielsweise Modelle des Zusammenhangs der funktionalen und der physischen Struktur oder Layoutzeichnungen der auf den Architekturen basierenden Systeme. Diese ergänzenden Modelle sind sowohl für die BA-Auswahl des Projektionsraums wichtig (welche über Anzahl und Art die Repräsentativität der Anwendungskontexte des Übersystems mit der Ressourceneffizienz der Planung in Einklang bringen muss), als auch für die konkrete Abschätzung der systemabhängig variierenden Relationsstärken im Übersystembereich.

Der Projektionsraum ist darüber hinaus über die beiden Sichten des Betreibers und des Energiekonzerns definiert – zwei zentrale SH des betrachteten Wertschöpfungsnetzwerks. Für die Gewichtungableitung auf Basis der SH-Perspektiven wurde außerdem die am weitesten verbreitete Vertragskonstellation²⁴⁹ gewählt. Hierbei ist der Betreiber Besitzer der Anlage und die Vergütung durch den Energiekonzern erfolgt – unabhängig vom tatsächlichen Bohrfortschritt – auf Tagesratenbasis, welche vertraglich garantiert ist, solange eine definierte Gesamtstillstandsdauer pro Monat (für Reparaturen und standardmäßige Wartungen) nicht überschritten wird.

²⁴⁹ Die Festlegung der zugrunde gelegten Konstellation der vertraglichen Relationen zwischen den SH ist für eine sinnvolle Gewichtung unabdingbar. Nicht Bestandteil des Demonstrationsbeispiels, aber durch die Entkopplung von der Abhängigkeitsrepräsentation über das Vorgehen prinzipiell möglich, sind Anpassungen einer initial zugrunde gelegten Konstellation oder die Betrachtung unterschiedlicher Konstellationsszenarios – beispielsweise als Element des Risikomanagements. Vgl. hierzu Kapitel 6.4.2.

Die **initiale Akquise der Eigenschaften sowie deren Grundvernetzung** wurde nach dem in Kapitel 6.4.2 vorgestellten Verfahren vorgenommen. Bei dem sich gegenseitig stimulierenden Abfragen von konkreten Zielen beziehungsweise Anforderungen und mit diesen in quellen- und senkenbezogener Relation stehenden Eigenschaften steht die Einordnung ebendieser im Mittelpunkt, sowohl in hierarchischer Hinsicht als auch bezogen auf die über die Eigenschaftssystematik definierten Domänen des Modulbereichs.

Übersystemeigenschaften (E_{ÜS}) werden während des Prozesses im Zuge eines wachsenden Systemverständnisses in mehrerlei Hinsicht geschärft, was eine **Modifikation ihrer Bezeichnung und Einordnung im Übersystembereich** nach sich ziehen kann. So wurde beispielsweise die ursprüngliche E_{ÜS} <Systemtraglast> (im Modell nicht mehr dargestellt) hinsichtlich ihres eigentlichen Zwecks hinterfragt, welcher in möglichst hohen realisierbaren Bohr- und Wassertiefen liegt. Diese wurden folglich als Substitute der ursprünglichen Eigenschaft eingeführt. Aus dem Wissen, dass bei Tiefseebohrungen die Wassertiefe letztlich durch die Masse des Riserstrangs (welche wegen zunehmenden Steigrohrwandstärken überproportional zur Länge steigt) sowie des BOPs (der mit zunehmender Tiefe ebenfalls schwerer ausgelegt werden muss) limitiert wird, erfolgt die Behandlung als modulgruppenspezifische Eigenschaft <realisierbare Wassertiefe> {EMGR2} innerhalb der prozessbezogenen Modulgruppe „Riser / BOP Handling“.

Der **Gewichtungsansatz** wurde im vorliegenden Fall so gewählt, dass der Maximalwert 5 Eigenschaften vorbehalten ist, welche einen explizite Sicherheitsbezug²⁵⁰ aufweisen oder leistungsklassedefinierend sind, wie beispielsweise {REM10} <Traglast>. Die übrige Gewichtung wurde auf dem Spektrum von 1 bis 4 vorgenommen. Die Berücksichtigung von aus Interessensunterschieden resultierenden Zielkonflikten, sowie deren Differenzierung bei lösungsbezogenen Zielkonflikten wird durch die stete Sichtbarkeit der Individualinteressen, sowie die im Aggregationsbereich dargestellte Interessensdifferenz sichergestellt.

Das **Gewichtungsbild** zeigt viele beiden SHn gemeinsame hohe Priorisierungen, was vielfach darauf zurückzuführen ist, dass die generelle Realisierbarkeit eines Bohrprojektes unter definierten Randbedingungen Mindestausprägungen bestimmter Eigenschaften voraussetzt, so z. B. der <Antriebsleistung> ({EEMG}). Auffällig ist, dass bei den wenigen Eigenschaften mit größeren Gewichtungsdifferenzen stets der Betreiber der SH ist, für welchen die Eigenschaft eine größere Bedeutung hat, wodurch dessen Bestreben im Kontext des Vorgängerprodukts nachvollziehbar wird, diese besonders stark einzufordern. Darüber hinaus kann aus der großen Fülle an Eigenschaften mit der Betreibergewichtung 4 ein mangelndes Prioritätsbewusstsein abgeleitet werden. Je unschärfer das aus SH-Sicht erfragbare Bedarfsbild ist (besonders herausfordernd im Kontext auftragsneutraler Modulentwicklung) desto zahlreicher und heterogener sollte das Feld interner Experten des OEMs sein, durch welche dieses Bild nachgeschärft wird.

Als Ergebnis der Grundvernetzung zeigt das Modell sowohl die **unmittelbaren** als auch zahlreiche **mittelbare Abhängigkeiten**, deren Differenzierung auf der in Kapitel 6.3.4

²⁵⁰ Dies wird für Industrien als sinnvoll erachtet, in denen Unfälle große Gefahren für Mensch und Umwelt darstellen, und sicherheitsrelevante Eigenschaften für sämtliche Stakeholder des Wertschöpfungsnetzwerks von höchster Relevanz sind, da deren Sicherstellung Voraussetzung für den Fortbestand des industriellen Segments und damit des entsprechenden Engagements der sämtlicher SH ist.

beschriebenen Abfragelogik basiert und rechnergestützt erfolgen kann. Die mittelbaren Abhängigkeiten fungieren insbesondere als Merker, dass eine Relation bereits bearbeitet wurde und die verursachenden unmittelbaren Relationen im Modell berücksichtigt sind. Beispielsweise steht die angestrebte Antriebsleistungssteigerung (dargestellt über $\{E_{EMG}$ und $E_{EMH}\}$) im unmittelbaren Zielkonflikt mit einer niedrigen $\langle \text{Geräuschemission} \rangle \{RE_{M11}\}$, welche wiederum positiv und unmittelbar mit einer hohen $\langle \text{Modulsicherheit} \rangle \{RE_{M8}\}$ korreliert. Eine wichtige Anforderung an ein rechnerbasiertes Unterstützungswerkzeug ist es – im Sinne der Eindeutigkeit der im Modell enthaltenen Informationen – vom Bediener eine Einordnung hinsichtlich der Wirkkette unmittelbarer Relationen einzufordern, sobald ein entsprechender Mehrfachverweis einer Eigenschaft auf eine höhere Eigenschaft identifiziert wird.

Insbesondere vor dem Eintritt in die Lösungssynthese und die auf diese gerichtete Analyse und Interpretation der Grundvernetzung hat eine explizite Überprüfung der **formalen Plausibilität** der Modellbasis zu erfolgen, was anhand der am Ende des Kapitels 6.4.2 beschriebenen Muster erfolgt. Ein Beispiel für ein zu hinterfragendes Muster ist in der Zeile zu $\{RE_{M4}\}$ zu sehen, welches zu Demonstrationszwecken in noch nicht bereinigter Form dargestellt wird. Das dargestellte Eigenschaftsgefüge enthält als einfach positiv korrelierende E_{Quelle} einer hohen Funktionsgenauigkeit des Moduls lediglich die eigene $\langle \text{Gesamtsteifigkeit} \rangle \{E_{EME}\}$ sowie einen niedrigen $\langle \text{Verschleiß der Umsatzobjekte} \rangle \{RE_{M12}\}$. Das Fehlen einer stark korrelierenden E_{Quelle} kann dabei als Indiz aufgefasst werden, dass wichtige Eigenschaften – beispielsweise bezogen auf das Steuerungs- und Kollisionsvermeidungssystem – bei der Akquise vergessen wurden und hinsichtlich ihrer nachträglichen Integration überdacht werden sollten.

Holistische Moduleigenschaften stellen als E_{Senke} der obersten Ebene innerhalb des Gestaltungsbereichs (vgl. „Nullniveau“, Kapitel 6.3.1) gewissermaßen den Gegenpol der E_{EM} dar. Eigenschaften höherer Ebenen, für die die holistischen Moduleigenschaften selbst als E_{Quelle} fungieren, liegen im Übersystem, und damit außerhalb des Gestaltungsbereichs. Die Identifikation und Markierung holistischer Moduleigenschaften ist anhand der Spalten- und Zeileneinträge musterbasiert automatisierbar (vgl. Kapitel 6.3.4). Aus der Struktur des betrachteten Demonstrationsbeispiels treten der $\langle \text{Netto-Nutzungsgrad} \rangle \{RE_{M3}\}$ ²⁵¹ des Moduls, dessen $\langle \text{Sicherheit} \rangle \{RE_{M8}\}$ sowie seine $\langle \text{Modulverfügbarkeit} \rangle \{RE_{M9}\}$ als holistische Moduleigenschaften hervor.

Aus Erkenntnissen der Grundvernetzung abgeleitete Schritte

Der **Grundvernetzungszustand** als Teil der **lösungsunabhängigen, quasistatischen Informationen** des Modells (vgl. Abbildung 6-14) erlaubt es bereits, ein ganzheitlicheres Verständnis des durch die Ausgangssituation beschriebenen Zielbilds zu erlangen, dessen **Konsistenz** zu hinterfragen sowie Anpassungsbedarfe zu identifizieren. Die zentralen Zielbildaspekte, die im vorliegenden Fall im Fokus stehen sind:

- Die $\langle \text{Verfügbarkeit} \rangle \{RE_{M9}\}$ als im Vorgängermodul zu stark fokussierte Eigenschaft, welche als **holistische** Eigenschaft über zahlreiche E_{Quelle} verfügt, die prinzipielle

²⁵¹ Nutzungsanteil der Zeit, in der das **funktionsbereite** Modul zur Erfüllung seiner wertgenerierenden Hauptfunktionen eingesetzt wird. Rüst- und Nichtnutzungszeiten gehen zu Lasten des $\langle \text{Netto-Nutzungsgrads} \rangle$, Defekt- oder Wartungszeiten werden hingegen der $\langle \text{Verfügbarkeit} \rangle$ zugerechnet.

Stellhebel dafür repräsentieren, den Gestaltungsweg und die Beeinflussungshöhe von $\{RE_{M9}\}$ zu modifizieren. Die Vielzahl mittelbarer Beeinflussungen ist jedoch auch Indiz für eine hohe, durch zahlreiche Wirkungspfade unterschiedlicher Länge und Verschachtelungstiefe bestehende Komplexität. Die nun vorliegende Transparenz ermöglicht einen Überblick und dient der Systematisierung der Folgeschritte.

- Die spezifische Herausforderung, essenzielle Verbesserungen hinsichtlich der Eigenschaften $\{EE_{MC}\}$ *<Masse>* und $\{EE_{MD}\}$ *<Länge>* zu erzielen. Diese wird nicht nur durch die relative Höhe deren **EK_{im}-Metriken** angezeigt, sondern auch durch das „**Hub-Muster**“ der beiden Zeilen schnell ersichtlich. Beide Eigenschaften werden durch zahlreiche weitere E_{Quelle} in Form von EE_M entgegen ihrer Vorzugsrichtung beeinflusst.²⁵² Über das Vorliegen konkreter Masse- und Längenzielwerte besteht daher eine **Zielkonkurrenz jeder E_{Quelle}** , die ohne diese Zielwerte größtenteils zielindifferent wären. Solche Konstellationen stellen zentrale Angriffspunkte nötiger Kompromissfindungen dar.
- Auch der vorab definierte Stellhebel der *<inneren Modularität>* $\{EE_{MA}\}$ des Top-Drives kann aufgrund seiner Zugehörigkeit zu den **einflussstärksten E_{Quelle}** als **plausibel** nachvollzogen werden. Die Degeneration dieses Stellhebels hat dadurch prinzipiell ein hohes Freisetzungspotenzial für die angestrebten Verbesserungen, und selbst weist die EE_M wenige weitere zu berücksichtigende Relationen auf. Gleichfalls wirken die angestrebten Leistungserhöhungen in relativierende Richtung hinsichtlich dieser Freisetzungspotenziale, wie ebenfalls bereits im Grundvernetzungsstatus abzulesen ist.

Als **Schwerpunkte für die initiale Konzeptfindung** lassen sich daraus eine gewisse Radikalität bei der Modularitätsreduktion sowie eine möglichst geometrieneutrale Umsetzung der Leistungssteigerung als Eckpfeiler des Synthesauftrags ableiten. Hinsichtlich der Auswirkungen der Modularitätsreduktion auf die Verfügbarkeit sollten daher Kompensationsmöglichkeiten identifiziert und ausgenutzt werden. Der auf den ersten Blick geringe Spielraum zur unmittelbaren Umsetzung der ambitionierten Ziele erfordert die **schrittweise Erschließung „kleinerer“ Spielräume** durch systematische Iterationen der Umsetzung herausgearbeiteter Kompromisspotenziale und der anschließenden Neubewertung der Situation hinsichtlich resultierender versteckter Ineffektivitäten und Chancen. Diese Tätigkeitsebene wird durch die **Integration lösungsabhängiger Informationen** in das M-HoQ unterstützt, sowie durch die **Differenzierbarkeit von Wirkungen nach Art der berücksichtigten Übersysteme**. Auf diesen Kerndifferenzierungsmerkmalen der entwickelten Methodik gegenüber herkömmlichen QFD-Ansätzen liegt der Fokus im folgenden Abschnitt.

Vorgehen und Ergebnisse der Syntheseunterstützung

Mit dem Eintritt in die Lösungssynthese werden nach und nach sämtliche Relationen, welche bis dahin auf quasistatische Informationen in Form der Grundvernetzung reduziert sind, mit **lösungsabhängigen** und damit **entwicklungsdynamischen Informationen** in Form der

²⁵² Das Spaltenmuster – die E_{Senke} befinden sich nahezu ausschließlich im Übersystembereich – zeigt, dass diese beiden Größen für das Modulverhalten an sich kaum Relevanz besitzen, wohl aber für zahlreiche Eigenschaften der Systeme in die es eingebettet ist. Über den dargestellten, nach BAs differenzierten Bezug zu den Auswirkungen im Übersystembereich (Systemanforderungen) ist die Begründung für die Zielwerte der Moduleigenschaften stets greifbar und hinsichtlich potenzieller Zielanpassungen rekapitulierbar. Analoge Konstellationen liegen bei $\{EE_{MO}\}$ *<Steuerbarkeit Richtbohrsysteme>* und $\{EE_{MR}\}$ *<Ausrückbarkeit Führung>* vor.

Variationssensitivitäten erweitert, welche auf Basis der generierten Lösungsmodelle abgeschätzt werden (vgl. Kapitel 6.4.3). Letztere – und damit die darauf basierenden Modellinhalte – lagen für die Methodenevaluation lediglich als hypothetische Grundlage vor, da sie im Rahmen des Demonstrationsbeispiels nicht als Resultat eines realen Syntheseprozesses erfassbar waren.²⁵³

Die Variationssensitivitäten sind ein wichtiger Indikator für die **Identifikation und Charakterisierung von Ineffektivitäten**. Ihnen liegt stets der aktuelle Zustand der entwickelten Gesamtlösung zugrunde. Abbildung 7-3 verdeutlicht dies anhand des Sensitivitätsbilds zweier Beispiele der Evaluationsfallstudie, deren nähere Betrachtung infolge ihrer Identifikation mittels des M-HoQ eine tiefere Untersuchung sowie gegebenenfalls ein Monitoring hinsichtlich möglicher **Blindwirkung** nahelegt (vgl. Kapitel 6.4.4, Gesichtspunkt II).

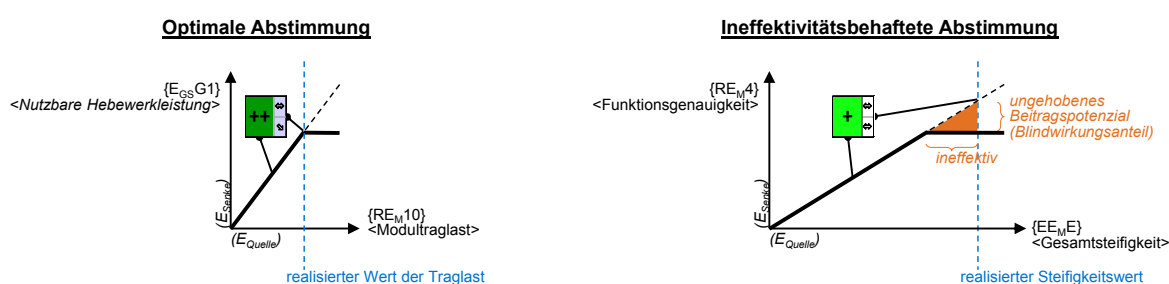


Abbildung 7-3: Über Variationssensitivitäten identifizierbares Verhalten bezüglich versteckter Blindwirkungen

In beiden Fällen wird jeweils eine von mehreren E_{Quelle} (Abszisse) betrachtet, die zu einer E_{Senke} (Ordinate) beitragen, wobei ab einem bestimmten Grenzwert eine weitere Steigerung der E_{Quelle} keine Änderung der E_{Senke} mehr zur Folge hat, da eine andere E_{Quelle} als **Engpass** fungiert. Im ersten Fall ($\{RE_{M10}/E_{GS}G1\}$ <Modultraglast>/<nutzbare Hebewerkleistung>) ist dies die Hebewerksverankerung. Im zweiten ($\{EE_{ME}/RE_{M4}\}$) wird die Wirksamkeit des Beitrags der Tragarmsteifigkeit durch reduziertes Nachschwingen und Windanfälligkeit auf die Genauigkeit der Funktion „Umsatzobjekt in horizontaler Lage nach Position x bewegen“ durch das als Engpass wirkende Regelungskonzept unterlaufen. Erst eine Verbesserung letztgenannter Eigenschaft kann zu einer Wirksamkeit einer weiteren Steifigkeitserhöhung bezüglich einer weiteren Genauigkeitserhöhung führen. Während im ersten Beispiel die Ausprägungen zur vollen Wirksamkeit aufeinander abgestimmt sind, ist dies im zweiten Beispiel nicht der Fall. Die dadurch in der technischen Lösung enthaltene Blindwirkung muss im Sinne eines ganzheitlichen Qualitätsverständnisses negativ bewertet werden.

Zur Ableitung und Bewertung von Handlungsmöglichkeiten ist es wichtig, zu untersuchen, ob die Wirksamkeit durch eventuell vorliegende Möglichkeiten der **Auflösung der Engpasseigenschaften** erhöht werden kann, was im Projektkontext voraussetzt, dass diese innerhalb des Gestaltungsbereichs liegen, also Moduleigenschaften darstellen. Kann dies bejaht werden,

²⁵³ Wie bereits erwähnt, liegt die kreative Lösungsgenese selbst außerhalb des Unterstützungsbereichs der Methodik.

sollte einer entsprechenden Entscheidung außerdem die Sicherstellung vorausgehen, dass diese erhöhte Wirksamkeit auch stakeholderseitig honoriert wird. Andernfalls ist eine **bewusste Herabsetzung der E_{Quelle}** bis in die Nähe des Wirksamkeitsschwellwerts in Betracht zu ziehen, insbesondere wenn dadurch Freiheitsgrade zur leichteren Umsetzung anderer Eigenschaften erschlossen sowie Kosten eingespart werden können.

Die ursachenorientierte Untersuchung sowohl **einzelner als auch gebündelter BA-abhängiger Beitragsvarianzen** stellt eine weitere Grundlage für die Identifikation verborgener **Ineffektivitäten** und (partieller) Übererfüllung dar, auf deren Basis eine systematische Analyse und Erschließung möglicher Handlungsspielräume durchgeführt werden kann. Anhand der rechten Spalte des **Aggregationsbereichs** lässt sich zunächst – und dies bereits auf Basis der Grundvernetzung – direkt ablesen, wie viele und welche der Moduleigenschaften eine **BA-abhängige Beitragsvarianz** aufweisen. Eine hohe Anzahl und / oder hohe Einzelwerte dieser Metrik sind als erster Indikator für die grundsätzliche Kompromissnotwendigkeit zu sehen, die sich aus der Wahl des durch das Modul zu bedienenden Übersystems ergibt.

Obwohl im Rahmen des Demonstrationsbeispiels lediglich 3 Referenzarchitekturen (RA) für die Definition des Projektionsraums herangezogen werden, können auf Basis dieser Aggregationsmetrik bereits wichtige Rückschlüsse gezogen werden. So zeigt sich insbesondere BA II im Vergleich zur RA sowie zur BA III als Varianztreiber²⁵⁴ hinsichtlich des Beitrags von Moduleigenschaften zu $E_{ÜS}$.

Zu diesem aggregierten Bild tragen die verschiedenen **Architekturcharakteristika der Gesamtsysteme des Projektionsraums** bei. So kann beispielsweise BA III von einer hohen *<realisierbaren Lageflexibilität>* $\{RE_{M16}\}$ zugeführter Transportelemente (und damit von deren funktionsbezogenen E_{Quelle} $\{EE_{MN}\}$ *<Drehbarkeit Pipehandler>* und $\{EE_{MM}\}$ *<Schwenkbarkeit Elevator>*) weniger stark zugunsten der *<Minimierung von Unterbrechungen/Verlangsamungen im Normalbetrieb>* $\{EG_{S8}\}$ beim Greifen von Umsatzobjekten profitieren als BA I und BA II. Dies wurde mit der layoutbedingten Einheitlichkeit der Transportpfade der unterschiedlichen Transportelemente bei BA III begründet (vgl. Tabelle 7-1). Bei BA II hingegen liegt gegenüber den Vergleichsarchitekturen ein geringerer Beitrag sogar mehrerer RE_M zur *<Prozessverfügbarkeit>* $\{EM_{GB7}\}$ vor, was auf die durch den Doppelmasten in BA II vorhandene (äußere) Redundanz einiger Top-Drive-Funktionen zurückzuführen ist.²⁵⁵ Die erzielbare **Transparenz** spiegelt sich (hier am Beispiel der BA-abhängigen Beitragsvarianzen gezeigt) in der kombinierten Abbildung sowohl der Einzel- als auch der aggregierten Informationen im M-HoQ wider, deren systematische Akquise durch das M-QFD-Vorgehen sichergestellt wird.

Obschon die Definition des **Projektionsraums** als Eingangspunkt der Methodik unter strategischen Gesichtspunkten abgestimmt auf das zu entwickelnde Modul stattfindet, bietet gerade die Betrachtung der BA-abhängigen Beitragsvarianzen eine Möglichkeit, dessen

²⁵⁴ Nicht zu verwechseln mit Treibern der Produkt- oder Modulvarianz – diesen liegen bewusste Entscheidungen für oder gegen eine solche Varianz zugrunde, die jedoch durch die hier adressierte Beitragsvarianz unterstützt werden können.

²⁵⁵ Weitere konkrete Beispiele für BA-abhängige Beitragsvarianzen des Motivationsbeispiels können anhand der Erklärungen in Tabelle 10-5 im Anhang nachvollzogen werden.

Adäquatheit nochmals zu hinterfragen. Auf dieser Ebene eingebrachte Ineffektivitäten²⁵⁶ können ob ihrer Natur kaum über Änderungen innerhalb des Gestaltungsraums beseitigt werden. Daher sollte über eine Aufspaltung des Projektionsraums im Zuge einer **Variantenbildung** des Moduls insbesondere beim Vorliegen multipler E_{Quelle} nachgedacht werden, die hinsichtlich ihres Beitrags zu einer gleichen $E_{ÜS}$ den gleichen **Varianztrend** aufweisen. Wenngleich das heterogene Bild des Demonstrationsbeispiels hierzu keinen Ansatzpunkt bietet, kann die prinzipielle Möglichkeit dieses Aspekts anhand des zuvor genannten Beispiels der *<realisierbaren Lageflexibilität>* {REM16} diskutiert werden, welches Anlass geben könnte, Module für den Einsatz auf anreicherungspfadoptimierten Plattformen mit abgespeckten Automatisierungs- und Beweglichkeitsfunktionen auszustatten. Gleichfalls repräsentiert die Ausleitung solcher Überlegungen lediglich einen **plausibilisierenden Zusatznutzen** der Methodik. Der Grundanwendungsfall ist durch das Fehlen der Option der Variantenbildung charakterisiert.

Als drittes Beispiel **qualitätsschädlicher Ineffektivitätsformen** wird daher im Folgenden die **Übersättigung**²⁵⁷ näher beleuchtet. Das bereits beschriebene typische Muster für eine hohe Übersättigungswahrscheinlichkeit ist durch eine vergleichsweise hohe Anzahl von E_{Quelle} charakterisiert, wobei ein Großteil der Relationsinformationen wiederum eine neutrale Sensitivität (horizontale Pfeile) der E_{Senke} bei Variation der E_{Quelle} in Vorzugsrichtung (am Sättigungsschwellwert) oder in beide Richtungen (bei Übersättigung) aufweisen. Verhindert eine mangelnde Transparenz das Erkennen und Einordnen eines solchen Zustands, können getroffene Entscheidungen dazu führen, dass generell positiv korrelierende Eigenschaften zwar messbar verändert werden, diese Änderungen jedoch kaum oder gar nicht effektiv sind und möglicherweise sogar schädliche Nebeneffekte mit sich bringen.

Das **systematische Abklopfen einer solchen Sub-Struktur** ist damit Ausgangspunkt für die Identifikation chancenreicher Maßnahmen im Hinblick auf eine Konsolidierung der Ausprägungen ihrer E_{Quelle} , um schädliche Nebenwirkungen abzuschwächen, Freiheitsgrade zu lockern sowie Entwicklungs- und Herstellkosten zu senken. Entscheidungen werden dadurch aus einem ganzheitlichen Verständnis der verfügbaren Handlungsoptionen heraus unterstützt.

Einer der Träger des dargestellten Musters im Demonstrationsbeispiel ist die *<Verfügbarkeit>* ({REM9}) des Top-Drive-Moduls, die in Abbildung 7-4 in ihrer Rolle als E_{Senke} hervorgehoben ist. Die Abbildung zeigt das Gesamtmodell zu einem Stadium „2“ als Resultat der in diesem Zusammenhang getroffenen Maßnahmen²⁵⁸. Das mit „1“ gekennzeichnete Ausgangsstadium entspricht dem in Abbildung 7-2 gezeigten Stadium des M-HoQ-Gesamtmodells. Zur Unterstützung der Nachvollziehbarkeit der im Folgenden erläuterten Aspekte der systematischen Analyse auf Basis des Stadiums „1“ sowie der daraus abgeleiteten Entscheidungen (Stadium „2“) enthält die Abbildung lokale Referenzen zum Ausgangszustand.

²⁵⁶ Diese können sich auf eine oder mehrere BAs konzentrieren oder heterogen über die BAs des Projektionsraums verteilt sein.

²⁵⁷ Vgl. Kapitel 6.4.4, Gesichtspunkt III zur typologischen Einordnung und Detaillierung.

²⁵⁸ Aus Darstellungsgründen werden hier alle Teilschritte zwischen den Stadien „1“ und „2“ in einer Abbildung zusammengefasst.

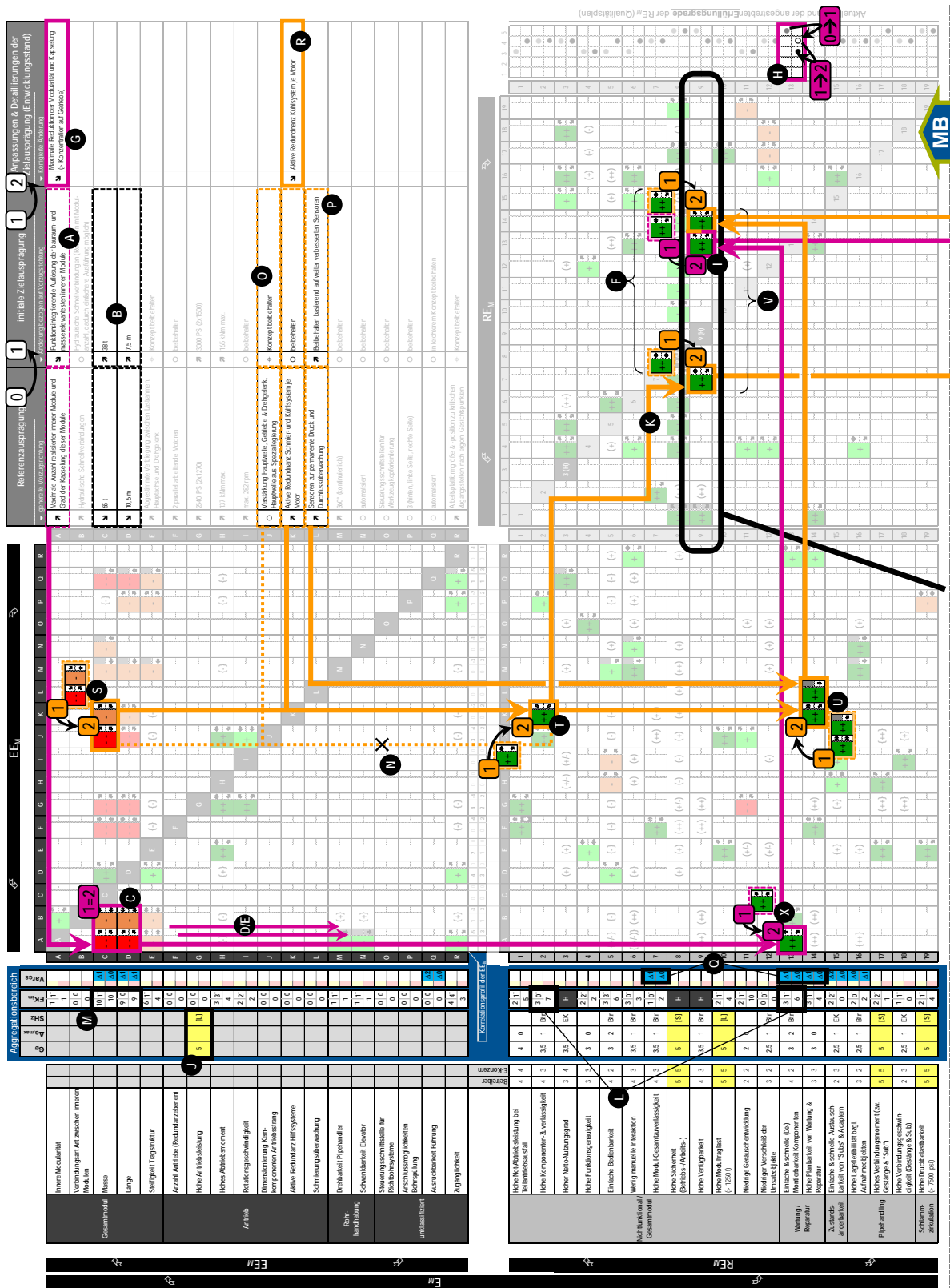
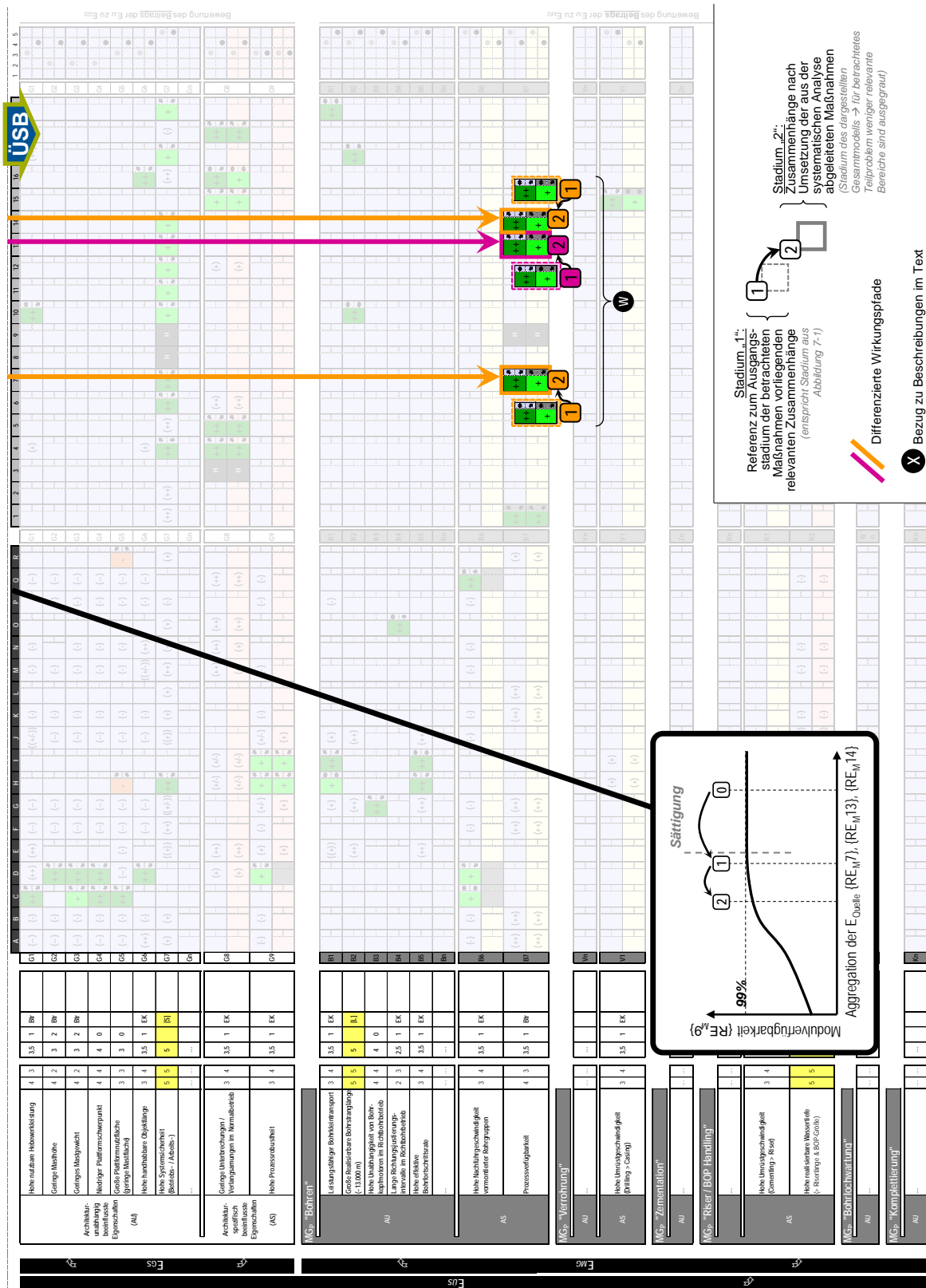


Abbildung 7-4 (zweiseitig): Zusammenhänge und Schritte zwischen Zustand "I" (vgl. Abbildung 7-2) und "II" des



beschriebenen Beispiels zum Übersättigungsabbau [linke Seite: MB; rechte Seite: ÜSB]

Das Vorliegen des beschriebenen Sättigungsmusters für $\{RE_{M9}\}$ in Stadium „1“ kann zunächst als günstige strukturelle Voraussetzung zur Umsetzung der in der Zielsetzung formulierten Kompromissstrategie festgestellt werden. Die Methodik zielt in solchen Situationen darauf ab, über das Teilanalyseziel, den **genauen Zustand der (Über)sättigung** besser zu durchleuchten und zu verstehen, die **(weitere) Kompromissausgestaltung** (bzw. deren Absicherung) zu unterstützen. Dazu erfolgt die systematische Untersuchung der unmittelbaren E_{Quelle} der übersättigten Eigenschaft sowohl im Sinne deren **Zurückverfolgung zu E_{Quelle} höherer Ordnung** als auch hinsichtlich ihrer **Auswirkungen auf weitere E_{Senke}** (im Sinne von Nebenwirkungen).

Eckpfeiler des betrachteten Teilproblems sind die angestrebte Freisetzung von Potenzialen zur Verbesserung der elementaren Moduleigenschaften $\{E_{EMC}\}$ und $\{E_{EMD}\}$ auf Basis einer adäquaten Degeneration von $\{RE_{M9}\}$, deren Umsetzung im Rahmen eines gesteuerten Sättigungsabbaus – insbesondere durch ein geeignetes Reduktionsmaß der *<inneren Modularität>* $\{E_{EMA}\}$ ²⁵⁹ – sowie die Aufdeckung weiterer Potenziale.

Zunächst soll dafür nochmals auf **Stadium „1“** Bezug genommen werden, also den Zustand nach Umsetzung der initial definierten Ausprägungsänderungen. Dieser zeichnet sich gegenüber dem Vorgängermodul²⁶⁰ durch eine Auflösung der bauraum- und masserelevantesten inneren Module hin zu einer stärker funktionsintegrierten Lösung aus (vgl. $[A]$ und $[B]$ ²⁶¹).

Auf Grundlage der transparenzfördernden Struktur sowie infolge der schärfer werdenden Informationsbasis lässt sich ebenfalls die **Plausibilität** bereits getroffener ziel- und lösungsbezogener Entscheidungen mit zunehmender Substanz überprüfen. Die generelle Eignung des Stellhebels $\{E_{EMA}\}$ *<Modularität>* zeigt sich

- $[C]$ aufgrund dessen großer Wirkung auf $\{E_{EMC}\}$ *<Masse>* und $\{E_{EMD}\}$ *<Länge>* und damit dessen hohem Freisetzungspotenzial für die angestrebten Verbesserungen;
- $[D]$ durch das Fehlen von Querbeeinflussungen zum Wirkungspfad weiterer E_{Quelle} von $\{RE_{M9}\}$, wodurch eine Eindeutigkeit des strategischen Pfads über die gezielte Degeneration der Wartbarkeit gegeben ist;
- $[E]$ durch das Fehlen weiterer stark negativer Auswirkungen durch die Modularitätsreduktion.

Der durch die Primärmaßnahmen erzielte Zustand (Stadium „1“), der durch die Variations sensitivitäten der Relationen von $\{RE_{M9}\}$ interpretierbar ist $[F]$, resultiert in einem Wert in der Nähe des Sättigungsschwellwerts (vgl. (Über-)Sättigungsschaubild in Abbildung 7-4, unten links). Einerseits wurden dadurch bereits essenzielle Ineffektivitäten gegenüber des Vorgängermoduls reduziert, da ersichtlich wird, dass ein Rückgängigmachen der vorgenommenen Maßnahmen keinen wirksamen positiven Effekt hätte. Die Relativierung der dadurch freigesetzten Verbesserungspotenziale bezüglich $\{E_{EMC}\}$ und $\{E_{EMD}\}$ durch gleichzeitig zu erzielende Leistungssteigerungen erfordert jedoch eine weitere, **nun voll wirksame Degeneration** von

²⁵⁹ Vgl. Tabelle 3-2 zu Zusammenhängen zwischen Modularität, Masse, Bauraum und Materialkosten.

²⁶⁰ im Bereich der Zielrepräsentation sowie im (Über-)Sättigungsschaubild mit „0“ gekennzeichnet

²⁶¹ Die Marker der Form „ $[X]$ “ innerhalb des im Text beschriebenen Beispiels stellen Verweise zu den kreisförmigen, schwarze Referenzen in Abbildung 7-4 dar, anhand derer das Beispiel nachvollzogen werden kann.

{RE_{M9}}, welche daher umso **gezielter** erfolgen muss, um ein möglichst positives Verhältnis aus notwendigen Abstrichen und Freisetzungsmöglichkeiten nachweisbar zu erzielen.

Dies erfolgt – neben einer weiteren **Zielanpassung** bezüglich des Modularitätskonzepts [G/H] zugunsten der erreichbaren Massen- und Längenwerte, welche über eine weitere Reduktion der einfachen Demontierbarkeit bewusste Verfügbarkeitsabstriche implizieren [I] – über die Möglichkeit, ausgehend von {RE_{M9}} die übrigen unmittelbaren E_{Quelle} [F] systematisch hinsichtlich der Lasten-Nutzen-Bilanz ihrer Veränderungen abzulaufen und aus ihrer gesamtheitlichen Betrachtung ein stimmiges Maßnahmenbündel abzuleiten. In der Reihenfolge ihrer Bezeichnung betrachtet führt dies zu folgenden Feststellungen:

- Die E_{Quelle} {RE_{M1}} <Notabtriebsleistung> ist die bei Ausfall eines Antriebs verbleibende Leistung. Sie ist direkt zielkomplementär zur ebenfalls zu steigernden Gesamtleistung, die sich aus dem Produkt aus der Anzahl der Antriebe und der Leistung pro Antrieb ergibt. Eine Senkung zur Reduktion von Masse / Länge stünde dadurch einem leistungs- bzw. produktklassendefinierenden Merkmal [J] entgegen.²⁶²
- In die <Modulgesamtuverlässigkeit> ({RE_{M7}}) gehen über verschiedene intramodulare Systemebenen (Hauptaggregate und diesen zugeordnete Hilfssysteme) Einzelzuverlässigkeiten von Teilsystemen sowie deren Redundanzen ein [K], wodurch eine nähere Betrachtung von Senkeneigenschaften 2. und 3. Ordnung²⁶³ notwendig ist.²⁶⁴
 - Eine Änderung der Dimensionierung der Antriebstrangkernkomponenten {EE_{MJ}} ist trotz des hohen Potenzials für Masse- und Bauraumeinsparungen keine Option [N]. Das Dimensionierungskonzept stellt ein Kernresultat der für das Vorgängermodul durchgeführten Datenanalysen dar, das sich im praktischen Einsatz zu in unerwarteter Höhe positiven Wartungs- / Verschleißintervalllängen und Ausfallraten geführt hat, und Änderungen daher per Zieldefinition [O] ausgeschlossen sind.
 - Aus der dadurch erreichten hohen relativen Wirksamkeit von {EE_{MJ}} bezüglich {RE_{M7}} (welche einen der Haupttreiber der Übersättigung von {RE_{M9}} im Vorgängermodul darstellte) resultiert der Spielraum, Kompromisse bezüglich der <aktiven Redundanz von Hilfssystemen> ({EE_{MK}}) in Betracht zu ziehen, insbesondere der Kühl- und Schmierensysteme. Letztere bieten sich zusätzlich aufgrund guter gewonnener Erfahrungswerte mit der auf einer speziellen Druck- und Durchflussüberwachung ({EE_{ML}}) basierenden zustandsbasierten²⁶⁵ Instandhaltungs- und Reparaturplanung an, die einen Schmierungsabfall zuverlässig ankündigen. Durch eine weitere Verbesserung der hierfür eingesetzten Sensoren [P] besitzt die Redundanz dieses Hilfssystems keine praktische Relevanz mehr.
 - Trotz Eliminierung dieser Redundanz, welche klare zusätzliche Masse- und Bauraumeinsparungen bringt, kann daher von einer gleichbleibenden oder gar verbesserten

²⁶² Vgl. außerdem Ausführungen zum Punkt 3 zum Thema Zustandsabhängigkeit in Tabelle 10-5 des Anhangs.

²⁶³ Vgl. Beispiel zu Gesichtspunkt /GP IV-3/ in Anhang 10.3.

²⁶⁴ An dieser Stelle sei anzumerken, dass auch im Falle einer Suche nach Chancen und Verbesserungspotenzialen ohne konkreten Ansatzpunkt die im Rahmen dieses Beispiels systematisch als zentral ermittelten Eigenschaften {RE_{M2}} und {RE_{M13}} (und deren E_{Quelle}) durch ihre hohen EK_{im}-Werte [L] schnell ins Zentrum der Betrachtung rücken würden, da diese eine vielseitige Beeinflussbarkeit implizieren (ebenso {EE_{MC}} und {EE_{MD}} [M]).

²⁶⁵ In vielen Branchen hat sich hierfür der englische Ausdruck „Condition Based Maintenance“ etabliert.

<Planbarkeit Wartung & Reparatur> {REM14} ausgegangen werden. Die durch die Primärmaßnahmen bezüglich der Modularitätsreduzierung in Kauf zu nehmenden Wartbarkeitseinbußen würden durch das dargestellte Maßnahmenbündel im Rahmen einer insgesamt stringenteren Argumentation in Richtung Planbarkeitserhöhung der Instandhaltung zumindest teilweise kompensiert – bei gleichzeitiger Beseitigung von Ineffektivitäten.

- Die Auswirkungen der möglichen Maßnahmenumsetzung sind (neben weiteren intramodularen Effekten, von denen hier nicht alle diskutiert wurden) außerdem bezogen auf die E_{Senke} des Übersystems zu untersuchen. Dem Aggregationsbereich ist zu entnehmen, dass die zuvor betrachteten E_{Quelle} von {REM9} <Verfügbarkeit> jeweils BA-abhängige Beitragsvarianzen bezüglich einer $E_{ÜS}$ aufweisen [Q]. Dabei unterscheidet sich deren Wirkung in BA II von jener in den übrigen BAs. Dem Übersystembereich lässt sich entnehmen, dass sich die Abweichungen durchgehend auf die $E_{ÜS}$ <Prozessverfügbarkeit> {REMG7} der prozessbezogenen Modulgruppe des Hauptprozesses „Bohren“ beziehen. Da den BA-abhängigen Beitragsvarianzen des betrachteten Eigenschaftsbündels die gleichen Mechanismen zugrunde liegen – die geringere Relevanz für BA II ist auf deren Zweimastigkeit und der daraus resultierenden Redundanz des Moduls Top-Drive zurückzuführen²⁶⁶ – ergeben sich keine, der bisherigen Argumentation entgegenlaufenden Implikationen.

Im Kern lassen sich die in diesem Teilbeispiel betrachteten, analytisch ermittelten Anpassungs- und Detaillierungsmaßnahmen der Zieldefinition, sowie der korrigierenden Synthesemaßnahmen auf eine weitere Reduzierung der Modularität auf die verbleibenden, gekapselten Module Hauptachse und Getriebe [G/H] sowie auf die Eliminierung der zuvor für jeden Teilantrieb redundant vorgesehenen Schmiersysteme [R] resümieren. Unter der Voraussetzung deren Umsetzung ergibt sich schließlich das angepasste Eigenschaftsgefüge des Stadiums „2“, dessen Relationsinformationen die Konsolidierung aktualisierter Schätzungen und Bewertungen darstellen. Dieses ist später selbst wiederum Ausgangspunkt für einen weiteren Analyse/Synthese-Zyklus. Das Resultat der Beseitigung der (versteckten) Ineffektivitäten, die ausgehend vom ermittelten Sättigungszustand von {REM9} systematisch identifiziert wurden, kann nun anhand des Vorher-Nachher-Vergleichs insbesondere der Variationssensitivitäten nachvollzogen werden.

- [S] Die Wirksamkeit der Reduktion weiterer Hilfssystem-Redundanzen bezüglich zusätzlicher Masseinsparungen ist nun geringer, da die verbleibenden Systeme selbst weniger Masse aufweisen.
- [T] Gleichfalls besitzen die verbleibenden Redundanzen gegenüber jener der Schmiersysteme nach wie vor praktische Relevanz, da diese nicht durch andere Weiterentwicklungen herabgesetzt wurde. Eine weitere Reduzierung wäre daher direkt wirksam, was durch die angepasste Sensitivität angezeigt wird.
- [U] Der Wegfall der redundanten Schmiersysteme schlägt sich zudem in einer Zunahme der Bedeutung der Schmierungsüberwachung nieder (unabhängig davon, ob diese selbst verbessert wurde). Eine Verschlechterung hätte nun weitreichendere Folgen als noch zum Stadium „1“.

²⁶⁶ Vgl. außerdem Ausführungen zu den Punkten 7 und 8 in Tabelle 10-5 im Anhang.

- [V] Insgesamt ist die Sättigung von $\{RE_{M9}\}$ nun klar unterschritten und nahezu alle Variationen der beteiligten E_{Quelle} gehen voll wirksam ein. Dies gilt in ähnlicher Weise für $\{RE_{MGB7}\}$ [W].
- Eine logische Konsequenz ist zudem eine nun wieder sehr starke Variationssensitivität der Auswirkungen einer Verbesserung der Modularität auf die (De-)Montierbarkeit [X]. Dies entspräche einer hypothetischen Umkehrung der getroffenen Maßnahmen und stellt somit eine Plausibilisierung der Durchgängigkeit der Methodik dar.

Das nachweisbare Überführen von Eigenschaften unterschiedlicher Ebenen in den tatsächlichen Wirkbereich bei gleichzeitiger Sicherstellung der Konsistenz mit der initialen Zielformulierung (oder deren bewusster Anpassung) stellt neben einer Erhöhung der Lösungsqualität im Sinne der ganzheitlichen Qualitätsdefinition dieser Arbeit einen Zugewinn an Klarheit über die Entwicklungssituation und damit einen durch die Anwendung des M-QFD zu erreichenden Vorteil dar. Im vorliegenden Fall konnte durch die Transparenz des Modells darüber hinaus früh die Erkenntnis abgeleitet werden, dass sich das herausgearbeitete Maßnahmenbündel auf zwei weitgehend unabhängigen Wirkungspfaden abspielt (in Abbildung 7-4 unterschieden in lila und orange), welche sich erst in der „gemeinsamen Senke“ der Verfügbarkeit schneiden. Die systematische Untersuchung von Zusammenhängen wird durch die Unterstützung derartiger Erkenntnisse zusätzlich erleichtert.

Reflexion der Anwendung des M-QFD im Rahmen des Demonstrationsbeispiels

Anhand der Anwendung der Methodik M-QFD im Rahmen des zum Zweck der initialen Evaluation des Lösungsansatzes entwickelten Demonstrationsbeispiels konnte die **Akquirierbarkeit, Darstellbarkeit und Analysierbarkeit** von Aspekten und Mechanismen überprüft werden, welche im Kontext von Entwicklungsproblemen mit einer klar **modulzentrierten Perspektive** eine essenzielle Rolle spielen. Das Stützen auf die Informationen eines realen Business Cases als Ausgangssituation ermöglichte dabei einerseits, von einem **realistischen Informationsniveau** auszugehen (zumindest in Bezug auf die Informationsarten, welche nicht durch die Methodik zusätzlich gefordert werden). Darüber hinaus war dadurch eine **Vergleichbarkeit** gegenüber dem realen, durch den Industriepartner auf Basis des Business Cases durchgeführten Entwicklungsprojekt gegeben, was für die Bewertung durch diesen im Rahmen der Expertenstudie – die zweite Stufe der initialen Evaluation (vgl. nachfolgendes Teilkapitel) – einen wichtigen Validitätsaspekt darstellt.

Die im Business Case aufbereiteten Informationen stellten einen wichtigen Grundstock bezüglich der zu berücksichtigenden Eigenschaften, Abhängigkeiten und Zielkonflikte dar. Die Einbettung dieser in das modulzentrierte Abhängigkeitsbild, und damit einhergehend mit dessen Ausbau mit weiteren für diese Perspektive notwendigen Informationen führte schnell zu einem Zuwachs externalisierter Zusammenhänge und Zielkonflikte, sowohl hinsichtlich des mengenmäßigen Umfangs, als auch hinsichtlich der Differenzierbarkeit nach verschiedenen Formen derselben. Die **Transparenz, die aus der klar gegliederten Repräsentation kunden- und lösungsbezogener Qualitätswirksamkeit im zentralen Metamodell M-HoQ** resultiert, unterstützt das Fassen von Zielen hinsichtlich des Pfades, auf dem sie zur Modulqualität beitragen. Diese wichtige Grundvoraussetzung für das **Verstehen und zielgerichtete Adressieren komplexerer Zielkonflikte** stellt einen Aspekt der Methodik dar, welcher in Folge der

Diskussionen mit Experten des Kooperationspartners im Rahmen des Demonstrationsbeispiels als zentraler Mehrwert zu resümieren ist.

Obschon die in Unterkapitel 7.1.2 geschilderte Negativerfahrung im Kontext des Vorgängermoduls dazu geführt hatte, dass bei dem Industriepartner aktuell davon Abstand genommen wird, ähnliche Kooperation mit einzelnen, zentralen Kunden einzugehen, kann im Rahmen der Reflexion des Demonstrationsbeispiels auch eine alternative Empfehlung abgeleitet werden. Anstatt auf die im Rahmen dieser Kooperation für den Industriepartner verfügbaren Nutzungsdaten sowie dessen detaillierte Anforderung zu verzichten, sollte der Fokus darauf gelegt werden, diese **wertvollen Informationen in ein ganzheitliches, modulzentriertes Abhängigkeitsmodell einfließen zu lassen, wie es mit Hilfe des M-HoQ darstellbar** ist. So kann auch die besondere Berücksichtigung eines kooperierenden Stakeholders auf eine gesteuerte Art und Weise erfolgen, in der das Risiko minimiert wird, durch diesen Fokus andere wichtige Eigenschaften und SH-Perspektiven, sowie Architekturen, die möglicherweise beim kooperierenden SH nicht vorliegen, erfolgsbedrohend zu vernachlässigen.

Ein zentraler Aspekt der Anwendbarkeit einer Methodik ist die **Verfügbarkeit der Informationen** von denen deren Funktionsweise abhängt. Dies gilt einerseits für die **als initialen Input zu akquirierenden** Informationen und andererseits für die **Abhängigkeiten** ersterer, welche den eigentlichen, durch die Methodikanwendung zu generierenden Wissenszuwachs darstellen, der als wichtiger Treiber der Entwicklungsarbeit zu sehen ist.

Was den **initialen Input** betrifft, muss resultierend aus der Anwendung des entwickelten Lösungsansatzes im Rahmen der initialen Evaluation insbesondere der Datenzugang bezüglich der Basisarchitekturen des Projektionsraums näher reflektiert werden. Dieser betrifft eine der Informationsarten, welche nicht als generell vorliegend – insbesondere in Form der benötigten Aufbereitungsart – angenommen werden kann, da diese im Rahmen von Standardvorgehen in dieser expliziten Form nicht einfließen. Entsprechend hoch ist der initiale Aufwand hierzu anzusiedeln, zumal die Auswahl der modulprojektspezifisch sinnvollen BAs nicht isoliert stattfinden sollte. Vielmehr sollte, um die Methode nachhaltig zu verankern und den Aufwand bei wiederholter Anwendung zu minimieren (vgl. Abbildung 6-16), das gesamte existierende Portfolio relevanter Gesamtsystemarchitekturen durchdrungen und durch Aufbereitung in Form struktureller und merkmalsbezogener Beschreibungen auf die zentralen Stellvertreter-BAs hin kondensiert und für projektspezifische Auswahlen zugreifbar gemacht werden.

Bezüglich der **Abschätzbarkeit von Abhängigkeiten** haben sich je nach Ausprägung der **horizontalen Aggregation** (vgl. Abbildung 5-2) der beteiligten Eigenschaften erwartungsgemäß große Unterschiede gezeigt. Insbesondere im Zusammenhang mit Lebenszykluseigenschaften (vgl. „ilities“ [DE WECK ET AL. 2011, S. 66], Kapitel 3.3.4), deren Nutzen sich nicht als unmittelbar im Betrieb messbarer Effekt niederschlägt, spielen Erfahrungen, Langzeitversuche und Expertenwissen eine zentrale Rolle. Trotz der naturbedingten Unschärfe, welche derlei Relationen zugrunde liegt, erlaubt ihre Integration in einem Modell mit schärfer greifbaren Relationen die Formulierung wichtiger Fragen. Beispielsweise kann, wenn die Ausfallwahrscheinlichkeit auf Basis des Zusammenwirkens zahlreicher E_{Quelle} als solche stark unsicherheitsgeprägt ist, eine systematische Analyse erfolgen, in welchem Anteil der identifizierten MGP ein Modulausfall kritisch wäre (beispielsweise durch die Verortung des Moduls auf dem kritischen Pfad der MGP und/oder aufgrund fehlender Substituierbarkeit der in dieser

genutzten Funktion des Moduls durch ein anderes Modul). Stellen mehrere Eigenschaften auf die gleichen Randbedingungen zu deren Wirksamwerden ab, liefert diese Erkenntnis gegebenenfalls das Potenzial für Kompromissbündelungen oder Variantenbildung.

7.2 Expertenstudie zur Nutzenbewertung der Methodik

7.2.1 Vorgehen der Expertenstudie

Als zweite Säule der initialen Evaluation wurde die Methodik im Rahmen einer **Expertenstudie** hinsichtlich des **aus industrieller Perspektive empfundenen Nutzens** nach den **definierten Erfolgskriterien** bewertet. Grundlage dieser Studie, deren Vorgehen und Ergebnisse im Folgenden vorgestellt werden, stellt das Demonstrationsbeispiel des vorigen Unterkapitels dar. Als konkret behandelte Problemstellung bot es die Möglichkeit einer gezielten Diskussion der Ergebnisse mit für die Experten nachvollziehbarem, inhaltlichem Bezug. Vorgelagert diente das Beispiel darüber hinaus als Kommunikationsmittel des Ansatzes und seines zugrundeliegenden Problemverständnisses, bezüglich derer zu Beginn der Studie im Expertenfeld keine einheitlichen Vorkenntnisse vorlagen.

Das **interdisziplinäre Teilnehmerfeld** der Studie umfasste **14 Experten** des Industriepartners, einem der marktführenden System-OEMs der Ölbohrindustrie. Durch die hohe Durchlässigkeit und Fluktuation zwischen den Unternehmen dieser Branche konnten zahlreiche Teilnehmer auf eine Expertise zurückgreifen, die sie neben ihrer Tätigkeit für den Industriepartner aus weiteren Tätigkeiten für Wettbewerber und/oder Unternehmen anderer Stakeholderklassen der Wertschöpfungskette aufbauen konnten. Neben einer großen **Interdisziplinarität** zeichnete sich das Feld durch Vertreter verschiedener **Projekt- und Linienrollen** sowie **sämtlicher Rangebenen** inklusive des Top-Managements des OEMs aus. Die **Erfahrung in der Anwendung und Applikation von Entwicklungsmethoden** war im Teilnehmerfeld stark unterschiedlich ausgeprägt. Explizit wurde dies für **Vorkenntnisse und Erfahrungen im Bereich QFD** abgefragt, welche durch 50% der Teilnehmer bejaht und teilweise spezifiziert wurde. Einzelne Details zur Charakterisierung des Teilnehmerfelds sind Tabelle 10-6 im Anhang zu entnehmen.

Im Folgenden wird auf den Ablauf der Expertenstudie näher eingegangen, welche zweistufig erfolgte. Die eigentliche **Bewertung des Lösungsansatzes hinsichtlich des Erfüllungsgrades der definierten Erfolgskriterien** erfolgte streng formalisiert anhand eines Fragebogens. Dieser gingen Workshops à 1,5 bis 2 Stunden mit jeweils 2 bis 4 Experten voraus, in denen neben einer Vorstellung der Methodik sowie des zentralen Modells des Demonstrationsbeispiels nochmals die der Methodenentwicklung zugrunde gelegte Motivation und die aus dem Handlungsbedarf abgeleiteten Prämissen diskutiert und validiert wurden. Dabei wurden als Bestandteil des Fragebogens die formal definierten Erfolgskriterien (vgl. Kapitel 6.1) welche als Anforderungen die Grundlage der Entwicklung des Lösungsansatzes bildeten, nochmals aus Sicht der teilnehmenden Experten gewichtet, um die Interpretationsqualität des Gesamtergebnisses zu erhöhen.

Nach eingehender Vorstellung des theoretischen Aufbaus und der Kernkonzepte der Methodik erfolgte ein gemeinsamer Durchlauf durch das Demonstrationsbeispiel, den Aufbau der verschiedenen Stufen des zugehörigen M-HoQ sowie dessen Nutzung in beispielhaften

Analysesituationen. Die geringe Teilnehmerzahl pro Workshop ermöglichte die Diskussion und Beantwortung sämtlicher, vor dem Hintergrund der spezifischen Erfahrungsgrundlagen auftretender Fragestellungen im Rahmen des gemeinsamen, beispielbasierten Nachvollziehens der Methodik. Diese Diskussionen bildeten nicht nur die Grundlage des Verständnisses für die nachgelagerte formale Bewertung, sondern förderten darüber hinaus Fragestellungen und Verbesserungsvorschläge zu Tage. Diese stellen eine weitere wichtige Quelle von Bewertungs- und Weiterentwicklungsaspekten dar, welche teilweise am Ende dieses Kapitels (bezogen auf Anforderungen einer geeigneten Rechnerunterstützung) sowie in den finalen Schlussfolgerungen der Reflexion und des Ausblicks aufgegriffen werden.

Im Vordergrund der nachgelagerten **formalen Bewertung der Methodik M-QFD** durch die teilnehmenden Experten auf Basis eines einheitlichen Fragebogens stand die Erfassung der subjektiv empfundenen Bewertung des Erfüllungsgrades jedes einzelnen Erfolgskriteriums durch den Lösungsansatz. Um auch hier den methodischen Fehler durch divergierende Interpretationen der in den Formulierungen der Erfolgskriterien verwendeten Begriffe zu minimieren, wurden den Teilnehmern erklärende Detailinformationen²⁶⁷ zur Verfügung gestellt.

7.2.2 Ergebnisse der Expertenstudie

Während die „unformalisierten“ Evaluationsergebnisse auf Basis der Teilnahme sämtlicher 14 Experten an den insgesamt 5 durchgeführten Workshops entstanden, beziehen sich die Ergebnisse der statistisch ausgewerteten Fragebögen auf insgesamt 12 Rückläufer. Die Bewertung der Erfüllungsgrade erfolgte dabei auf Basis folgender Skala verbal formalisierter Antwortmöglichkeiten.²⁶⁸

- sehr hoch (Wert 2)
- hoch (Wert 1)
- niedrig (Wert -1)
- sehr niedrig (Wert -2)

Ebenfalls konnten die Teilnehmer kennzeichnen, wenn ihnen keine Bewertung möglich erschien, wobei die Begründung dabei nicht explizit abgefragt wurde (z. B. unzureichendes Verständnis eines Kriteriums oder Gleichgültigkeit gegenüber diesem). Für die Berechnung der Häufigkeitsverteilung wurden diese *fehlenden Werte* – wie in der Statistik üblich (vgl. [KUCKARTZ ET AL. 2013, S. 21; MÜLLER-BENEDICT 2011, S. 47]) – ausgeschlossen.²⁶⁹ Die der Bewertung einzelner Kriterien zugrunde liegende Stichprobe kann daher von 12 abweichen, was in den Auswertungsgrafiken aus den Angaben unter dem Balken jedes Kriteriums in der Form $[N(B)=X]$ abzulesen ist.

²⁶⁷ Diese sind der erweiterten Darstellung des Anforderungskatalogs im Anhang (Kapitel 10.1.2) zu entnehmen, welche detaillierte Erläuterungen und Unteranforderungen zu den Erfolgskriterien enthält.

²⁶⁸ Die Werte in Klammern repräsentieren die Grundlage für die statistische Auswertung und deren Visualisierung.

²⁶⁹ Ebenfalls als *fehlende Werte* wurden in Anlehnung an KUCKARTZ ET AL. [2013, S. 20] die Fälle *Verweigerung einer Antwort*, *Ankreuzen zweier Antworten* und *mangelnde Lesbarkeit* behandelt, sofern vorgekommen.

Die validierenden Gewichtungen der Kriterien (vgl. voriges Unterkapitel) wurden vorab nach dem gleichen verbalen Grundschema abgefragt. Sie sind in den Auswertungsgrafiken nicht grafisch repräsentiert, sondern auf Basis des Modalwertes in der Verbalform angegeben (z. B. „G: hoch“). Der Umgang mit *fehlenden Werten* (s. o.) erfolgte hier analog, wodurch teilweise eine von der Stichprobengröße der Bewertung des Erfüllungsgrades abweichende Stichprobengröße vorliegt. Die vollständige Datengrundlage der Auswertung ist Tabelle 10-6 im Anhang zu entnehmen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Expertenstudie sowohl aufbereitet in Übersichtsgrafiken der statistischen Auswertungen, als auch in Form der wichtigsten der insgesamt 37 erfassten individuellen Kommentare und Verbesserungsvorschläge der Experten zusammengefasst. Neben den arithmetischen Mittelwerten der bewerteten Erfüllungsgrade ist in den Grafiken die Streuung als Bereich zwischen den jeweiligen Minimal- und Maximalwerten repräsentiert. Eine geringe Streuung weist dabei auf eine große Einigkeit unter den Teilnehmern bezüglich des Erfüllungsgrades eines spezifischen Erfolgskriteriums hin. Auf diesen basierende Schlussfolgerungen bergen ein geringeres Risiko der Fehlinterpretation sowie, einen Teil der Bewertungen unberücksichtigt zu lassen, oder diesem gar entgegenzulaufen.

Expertenbewertung bezüglich des Effektivitätsbezogenen Nutzens

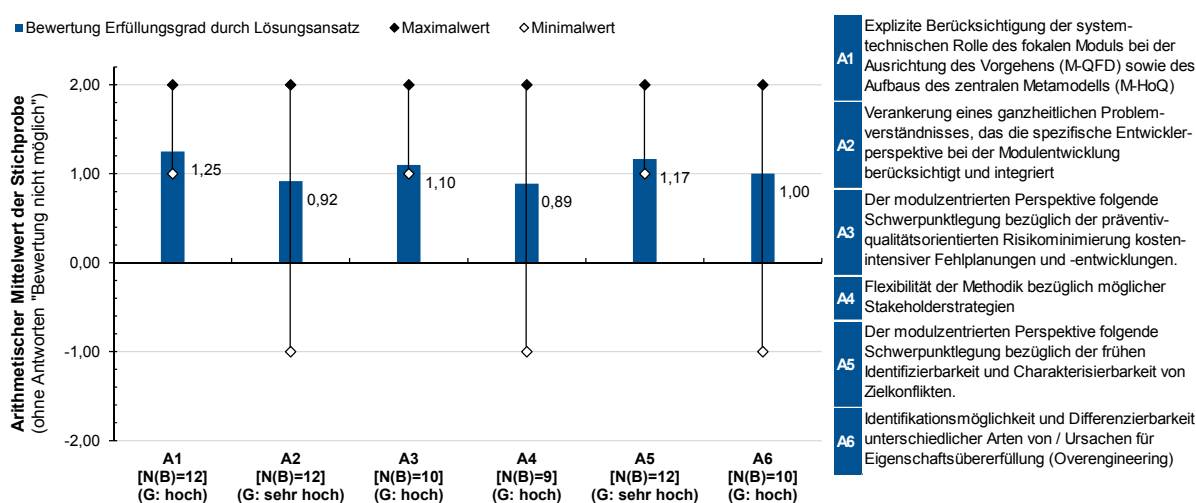


Abbildung 7-5: Expertenbewertung des Erfüllungsgrades der Erfolgskriterien der Anforderungsklasse A – „Effektivitätsbezogener Nutzen“ (Anforderungsdetails s. Kapitel 10.1.2)

Betrachtet man die beiden „grundlegenden“ Kriterien der Etablierung der modulzentrierten Perspektive, wurde bezogen auf die systemtechnische Rolle des fokalen Moduls (A1) ein etwas höherer Erfüllungsgrad konstatiert, als bezogen auf die Verankerung des Problemverständnisses im Entwicklungsprozess (A2), welcher jedoch eine höhere Bedeutung beigemessen wird (Gewichtung). In den ergänzenden Kommentaren werden gleichfalls Bedenken bezüglich der Bereitschaft geäußert, die Entwicklungsteams aufbringen müssen, um sich voll in diese Perspektive zu begeben, was möglicherweise in der Bewertung mitschwingt.

Der Erfüllungsgrad bezüglich Kriterium A3 untermauert, dass der Transparenzschaffung als wesentlicher Aspekt der Grundausrichtung der Methodik ein großer Wert beigemessen wird, und die Art und Weise wie diese durch die Methodik bereitgestellt wird, einer simplen Ableitung von Schwerpunkten vorgezogen wird. Der Erfüllungsgrad des als sehr hoch gewichteten Kriteriums A5 wurde zwar höher als „gut“ bewertet, Formulierung von Zweifeln, dass alle wichtigen Systemszenarios und daraus hervorgehenden Konflikte identifizierbar seien, weisen hier jedoch auf einen wichtigen Punkt des weiteren Handlungsbedarfs hin.

Der vergleichsweise schwache Wert für A4 wird durch Anmerkungen interpretierbar, welche einen stärkeren Fokus des Stakeholder-Aspekts für nötig halten, was unter anderem darauf zurückführbar ist, dass dieser Aspekt im Evaluationsbeispiel nicht im Vordergrund stand. Der über A6 abgefragte Aspekt verkörpert das Potenzial der Identifikation und gezielten Auflösung ineffektiver Beitragsanteile welcher im Evaluationsbeispiel schwerpunktmäßig adressiert wurde – hier dürften im Gegensatz zu A4 ideale Bewertbarkeitsbedingungen vorgelegen haben.

Expertenbewertung bezüglich des Nutzens der prozessualen Unterstützung

Die Kriterien, anhand welcher der Nutzen der prozessualen Unterstützung durch die Methodik bewertet wurde, weisen insgesamt die höchsten Erfüllungsgrade auf. Obschon die Flexibilität und Durchgängigkeit der Verfolgung projektspezifischer Ziele (B1) von allen Experten mit „gut“ bewertet wurde, merkt ein Experte an, dass eine maximale Flexibilität nicht auf Kosten der Nutzungsfreundlichkeit gehen dürfe.

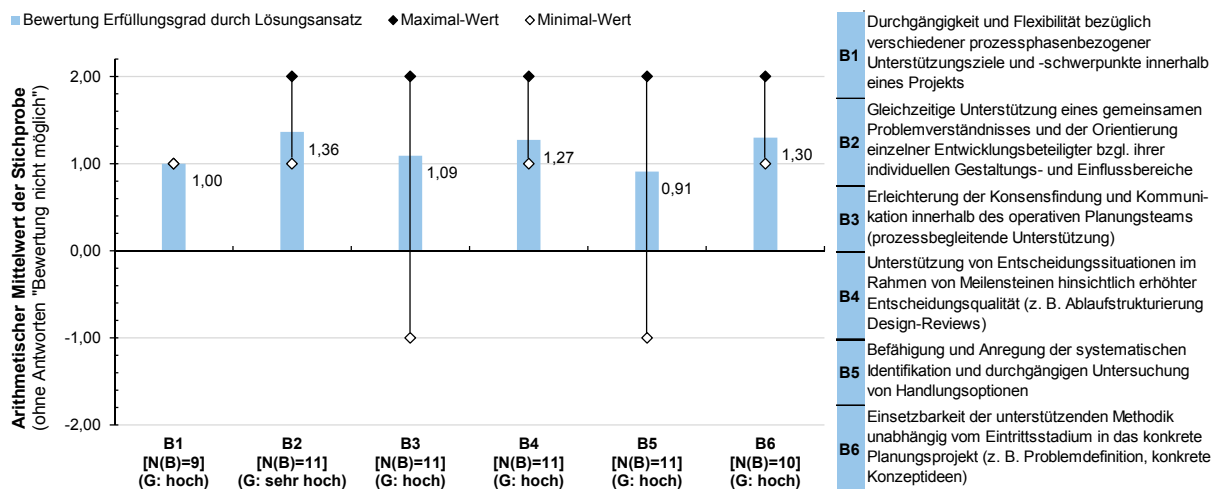


Abbildung 7-6: Expertenbewertung des Erfüllungsgrades der Erfolgskriterien der Anforderungsklasse B – „Nutzen der prozessualen Unterstützung“ (Anforderungsdetails s. Kapitel 10.1.2)

Gemeinsam mit A5 stellt B2 das Erfolgskriterium mit der höchsten Bedeutung aus Experten-sicht dar. Die Unterstützungsfähigkeit der Methodik zur Bildung eines gemeinsamen Problemverständnisses bildet die Basis für die Orientierung einzelner Entwicklungsbeteiligter bezüglich ihrer individuellen Gestaltungs- und Einflussbereiche. Hinsichtlich der Erfüllung dieses Kriteriums liegt hier der Höchstwert von 1,36 vor, was für die Anforderungsgerechtigkeit der Methodik spricht. Dennoch wurde auch hier von 2 Experten die Abhängigkeit von der Bereitschaft der

Anwender zur Konsequenzen Anwendung einer solchen Methode als große Herausforderung gesehen, welche große Anstrengungen bezüglich des Veränderungsmanagements erfordere.

Gleiches gilt für die über B3 adressierte Unterstützung der Konsensfindung, bezüglich derer der Methodik ebenfalls ein hoher Erfüllungsgrad beigemessen wird. Insbesondere wurde hier zusätzlich auf die Bedeutung dieses Kriteriums zur Abschwächung des Einflusses dominanter Personen hingewiesen. Unter Berücksichtigung der Expertenkommentare ist die gute Bewertung bezüglich der Unterstützung von Meilensteinentscheidungen (B4) maßgeblich auf die Nutzung der Modellstruktur zur organisatorischen Gliederung entsprechender Steuerkreissitzungen zurückzuführen. Die konkrete Nutzung des Modells als Diskussionsbasis auf Managementebene wird aufgrund einer nach wie vor als hoch empfunden Komplexität als empirisch zu evaluierender Aspekt gesehen.

Bezüglich der Identifizierbarkeit von Handlungsmöglichkeiten (B5) – speziell über die systematische Nutzung von Variationssensitivitäten – wird indes auf die Notwendigkeit ausgereifter Softwareunterstützung hingewiesen, welche am Ende dieses Unterkapitels nochmals gesondert aufgegriffen wird. Erfolgskriterium B6, welches mit einem Erfüllungswert von 1,30 als Stärke der Methodik aufgefasst werden kann, wird der Tatsache gerecht, dass Projekte im industriellen Umfeld auf unterschiedlichen Wegen gestartet werden, und sich die vorliegende Güte und Vollständigkeit von Zielen und bereits festgelegter Lösungsaspekte zu diesem Zeitpunkt stark unterscheiden können. Bezüglich dieses Aspekts wird M-QFD die notwendige Flexibilität beigemessen.

Expertenbewertung bezüglich Implementierung und Akzeptanz

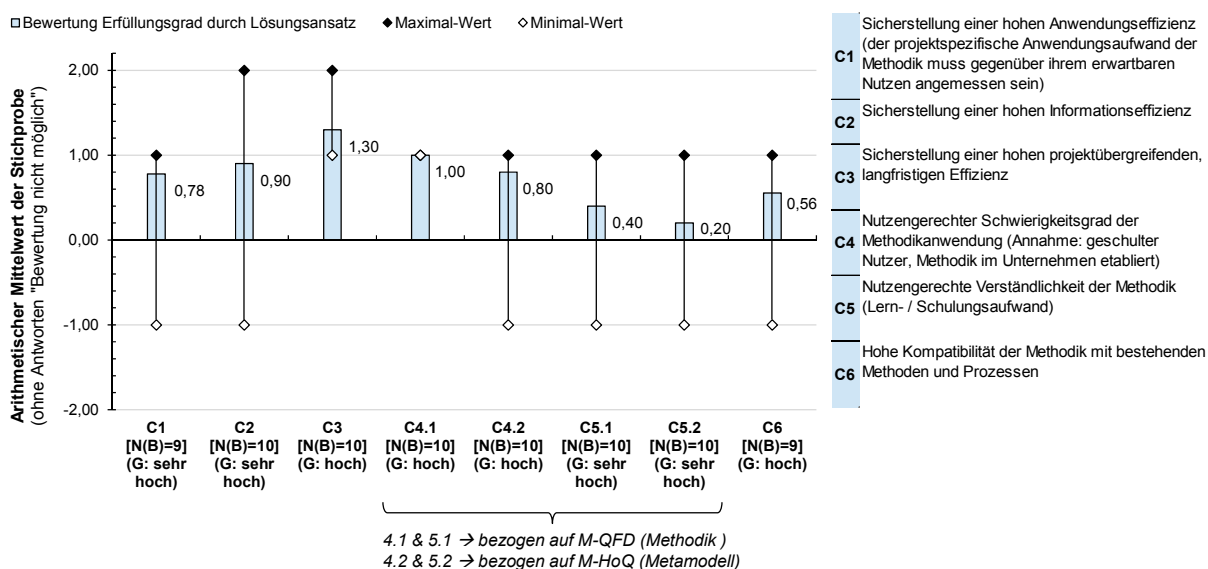


Abbildung 7-7: Expertenbewertung des Erfüllungsgrades der Erfolgskriterien der Anforderungsklasse C – „Implementierung und Akzeptanz“ (Anforderungsdetails s. Kapitel 10.1.2)

Die Erfolgskriterien C1 bis C3 verkörpern unterschiedliche Effizienzaspekte (Anwendungseffizienz, Informationseffizienz und langfristige, projektübergreifende Effizienz), von denen

letzterer als der mit dem höchsten Erfüllungsgrad bewertet wird. Bedeutungsseitig ragen hingegen C1 und C2 heraus, deren Erfüllung als leicht unter „hoch“ bewertet ist, was im Lichte der Expertenankmerkungen mit der erst eingeschränkt vorhandenen softwaretechnischen Umsetzung und einer dafür notwendigen Einführung entsprechender Datenstrukturen erklärbar ist.

Die Kriterien C4 und C5 stellen auf einen angemessenen Schwierigkeitsgrad der Nutzung ab sowie die einen etwaigen Schulungs- und Lernaufwand determinierende Verständlichkeit. Zur Ableitung der weiteren Verbesserungspotenziale wurden beide Kriterien jeweils für die Methodik an sich (4.1 und 5.1) sowie für das Metamodell M-HoQ (4.2 und 5.2) abgefragt. Besonders hinsichtlich der initialen Verständlichkeit, welche nur knapp im positiven Bereich liegt, muss hier Handlungsbedarf festgehalten werden. Gemäß den Expertenankmerkungen sei hierfür insbesondere an einer schrittweisen Einführungsstrategie zu arbeiten. Auch ist aus diesen erneut ein starker Bedarf nach Rechnerunterstützung zu folgern.

Die Kompatibilität der Methodik mit bestehenden Methoden und Prozessen (C6) wird zwar noch als gut, jedoch mit einem verhältnismäßig schwachen Wert bewertet. Dies wird jedoch in den Kommentaren nicht in erster Linie der Methodik selbst zugeschrieben, sondern der Tatsache, dass das Unternehmen insgesamt Schwächen hinsichtlich der Umsetzung formalisierter Prozesse aufweist.

Bedeutung einer softwaretechnischen Umsetzung für die industrielle Akzeptanz

Aus den freien Anmerkungen der Experten, welche ergänzend zu der formalen Bewertung eines jeden Erfolgskriteriums möglich waren, stechen zwei Aspekte heraus: Zum einen wurde vielfach auf die Abhängigkeit zahlreicher Kriterien von der tatsächlichen Fähigkeit und **Bereitschaft eines Unternehmens** und seiner Mitarbeiter hingewiesen, sich auf eine neue Denkweise einzulassen und eine Methodik wie die entwickelte mit der für ihre Wirksamkeit notwendigen Verbindlichkeit zu akzeptieren, worauf wiederum die **Haltung und das Verhalten des Top-Managements** einen entscheidenden Einfluss habe.

Ebenso eindeutig konnte konstatiert werden, dass diese beiden Aspekte wiederum stark von einer **adäquaten softwaretechnischen Umsetzung** abhängen. Während dies außerhalb des Fokus dieser Arbeit stand, wurden im Rahmen der Entwicklung der Methodik und des eingeschränkten **Excel™-basierten Funktionsprototypen** (vgl. Unterkapitel 7.1.3) Anforderungen an eine solche gesammelt, die an dieser Stelle nochmals konsolidiert mit einigen konkreten Forderungen aus dem Expertenfeedback diskutiert werden, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Grundsätzlich können dabei Anforderungen an administrative und kognitive Funktionen unterschieden werden.

Administrative Funktionen beinhalten dabei die Entlastung des Nutzers²⁷⁰ beispielsweise hinsichtlich der geordneten Aufnahme von Informationen und deren Verknüpfungen, der aufwändigen Visualisierungsarbeit, der Sicherstellung der Auffindbarkeit und systemischen Angreifbarkeit der Informationen, um eine Eindeutigkeit und Nachvollziehbarkeit für alle Beteiligten zu gewährleisten. Die Darstellbarkeit unterschiedlicher Auflösungsgrade spielt

²⁷⁰ Der Begriff „Nutzer“ wird hier stellvertretend für nutzende Einzelpersonen, Teams oder Organisationen verwendet

dabei ebenfalls eine wichtige Rolle. So fungiert im vorliegenden Ansatz (wie auch in anderen QFD-basierten Ansätzen)²⁷¹ die Modellsyntax als führende Auflösung, während Erklärungen oder zur Abschätzung herangezogene Berechnungen oder Annahmen als Metainformationen hinterlegt werden können, was durch eine entsprechende Datenstruktur gegeben sein muss.

Anforderungen an eine Software, die sich darauf beziehen, dass der Nutzer in seinem Vorgehen angeleitet wird, ihm Orientierung geboten wird und seinen Fokus darauf lenkt, sich auf seine momentane Aufgabe zu konzentrieren betreffen die **kognitiven Funktionen**. So sollte beispielsweise die initiale Abfrage der Eigenschaften und deren Domänenzuordnung anfangs listengestützt möglich sein, und erst bei Bedarf ein Wechsel in die Visualisierungsform der einzelnen Matrizen erfolgen können, um sich mit Hilfe dieser der Vernetzungsarbeit zu widmen. Generell soll dem Nutzer jegliche, das Modell aufbauende Tätigkeit abgenommen werden. Infolge von Iterationen zusätzlich entstehende Bereiche – eine wichtige Anforderung liegt auch in der Skalierbarkeit der Modelle – müssen visuell gekennzeichnet, und die nachzuziehende Bearbeitung muss von der Software eingefordert werden.

Der QFD-Philosophie folgend wird es als wichtige Anforderung gesehen, den Nutzer zur permanenten Konsistenzschaffung zu zwingen, diesen jedoch stets als entscheidende Instanz aufzufassen und nicht durch logisch-automatische Schlüsse zu entmündigen (die Entlastung des Nutzers durch das Anzeigen im Hintergrund ausgeführter Berechnungen beispielsweise im Aggregationsbereich fällt nicht in diese Restriktion). Wie in Kapitel 6.3.4 am Beispiel der Kategorisierung von Relationen beschrieben,²⁷² soll die Software beispielsweise musterbasiert das potenzielle Vorliegen einer mittelbaren Relation signalisieren, die Entscheidung, ob es sich tatsächlich um eine solche handelt jedoch nicht selbst treffen, sondern vom Nutzer einfordern. Die durch den Ansatz und das Metamodell prinzipiell ermöglichten Wiederverwendbarkeiten von Teilbereichen machen überdies eine Ex- und Importierbarkeit der entsprechenden Daten (beispielsweise bezüglich des Projektionsraums) für eine softwareseitige Umsetzung erforderlich.

²⁷¹ Z. B. das QFD-basierte *Ganzheitliche Anforderungsmanagement* nach DANNER [1996], welches spezifische Kommentierungen und Codierungen zum Hinterlegen von Metainformationen wie Begründungen und Zuverlässigkeitsgrad (z. B. faktenbasiert vs. Expertenschätzung) zu einem bestimmten Zeitpunkt beinhaltet. Der formulierte Bedarf einer adäquaten Softwareumsetzung als Grundvoraussetzung für eine nutzerfreundliche und effiziente Umsetzung derlei Möglichkeiten [DANNER 1996, S. 56] stellte die Motivation der entwickelten Rechnerunterstützung „HyperQFD“ dar.

²⁷² Mehrfachverweis einer E_{Senke} auf eine E_{Quelle} über verschieden lange Wirkketten

8. Zusammenfassung und Fazit

8.1 Erarbeiteter Handlungsbedarf und Ergebnisse

Motivation

In dieser Arbeit wird eine **Methodik zur qualitätsorientierten Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule** im Anlagenbau vorgestellt. Die entwickelte Methodik „M-QFD“ fokussiert die Modulentwicklung als vom Projektkontext der Systementwicklung losgelöstes, eigenständiges Planungs- und Entwicklungsproblem. Ausgangsmotivation für diesen Fokus ist die in zahlreichen etablierten Industrien vorliegende Problematik, dass evolutiv verfestigte Gesamtsystemarchitekturen und Strukturen in Wertschöpfungsnetzwerken maßgebliche Hürden für System-OEMs repräsentieren, im Kontext auftrags- bzw. kundenbezogener Systementwicklung Innovationen in den Markt zu bringen und Systemverbesserungen zu realisieren. In der Konsequenz sind diese Unternehmen auf die erfolgreiche Nutzung der systemhierarchischen Innovationsebene **kundenneutraler Modulentwicklungen** angewiesen.

Letzteres gilt insbesondere für jene Module, welche Schlüsselrollen innerhalb der angebotenen Systeme und damit des Portfolios eines System-OEMs einnehmen, weswegen eine weitere Konzentration auf **multifunktionale Kernmodule**²⁷³ erfolgt. In ihrer zentralen Rolle zeichnen sich multifunktionale Kernmodule durch eine besonders hohe Kundenrelevanz, jedoch auch durch besonders hohe Entwicklungs- und Herstellkosten aus. Bei häufig sehr geringen Stückzahlen ist die Beherrschung ihrer hohen inneren Komplexität sowie der Komplexität der multiplen Wirkungskontexte ein essenzieller Wettbewerbsfaktor.

Die zweite Motivationssäule stellt die im Rahmen dieser Arbeit validierte Eingangshypothese dar, dass die Modulentwicklung im Rahmen allgemeiner Ansätze der Konstruktionsmethodik und des Systems Engineerings keine ausreichende Berücksichtigung finden – sowohl hinsichtlich des Entwicklungskontexts als auch hinsichtlich der aus systemtechnischer Sicht resultierenden spezifischen Herausforderungen. Die genannten Ansätze beziehen sich zwar auf die der klassischen Systemtechnik zugrundeliegende Prämisse der hierarchischen Ebenenneutralität (ein Modul als Systemelement stellt selbst wiederum ein System dar), setzen jedoch meist implizit idealisierend voraus, dass der Gestaltungsspielraum das vollständige Gesamtsystem umfasst.

Diese beiden Aspekte resultieren in der zentralen Forderung dieser Arbeit nach einer expliziten **modulzentrierten Perspektive** zur Überwindung der Übertragbarkeitshürde allgemeiner

²⁷³ Diese sind im Kontext dieser Arbeit über folgende Hauptcharakteristika definiert (bezüglich der detaillierten Herleitung sei auf die Kapitel 2.2.1 und 3.2 verwiesen):

- Partizipation an verschiedenen Hauptfunktionen bzw. -prozessen des Gesamtsystems als Bestandteil einer für diesen Zweck zusammenwirkenden Gruppe von Systemmodulen (Modulgruppe)
- Interaktion mit variierenden Nachbarmodulen innerhalb der verschiedenen Modulgruppen und Einbringung unterschiedlicher Eigenfunktionen in diese
- Einsetzbarkeit als Konfigurationselement verschiedener Gesamtsystemarchitekturen, zwischen welchen Gesamtfunktionsumfänge und auftretende Modulgruppen stark variieren können.

Ansätze, um deren Potenzial für die Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule verfügbar zu machen. Die Charakterisierung dieser Perspektive unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf das Verständnis von Ziel- Sach- und Handlungssystemen ist ein zentrales Ergebnis dieser Arbeit.

Einen weiteren Betrachtungsschwerpunkt der Arbeit stellt das **Quality Funktion Deployment** dar, welches als prinzipiell tragfähige Ausgangsbasis des Lösungsansatzes dieser Arbeit identifiziert wurde. Die durch diese umfassende Entwicklungsmethodik in den Vordergrund gestellte durchgängige Qualitätsorientierung repräsentiert grundsätzlich einen weiteren, für System-OEMs etablierter Industrien des Anlagenbaus essenziellen Aspekt. Vor dem Hintergrund ausgereifter und industrieweit verfestigter technischer Konzepte und Architekturen tritt die Relevanz einschneidender Innovationen gegenüber der Vermeidung des Risikos nicht vollständig hinsichtlich ihrer Entstehung und Wahrnehmung transparenter Eigenschaftsgefüge in den Hintergrund. Darüber hinaus liegt dem QFD ein ausgeprägtes systemhierarchisches Denken und Handeln zugrunde. Gleichfalls reflektiert es jedoch die bereits im Zusammenhang mit den allgemeinen Ansätzen konstatierten Defizite hinsichtlich des Aufgreifens der Spezifika der Modulentwicklung.

Die Formulierung des **Handlungsbedarfs** stellt daher eine Konsolidierung der expliziten Einnahme der modulzentrierten Perspektive mit den resultierenden systemtechnischen Konsequenzen und deren Übertragung auf die Grundprinzipien des QFD dar. Die Abgeleiteten **Anforderungen**, welche klassifiziert sind nach „effektivitätsbezogenem Nutzen“, „Nutzen der prozessualen Unterstützung“ und „Implementierung und Akzeptanz“ stellen die Grundlage des **entwickelten Lösungsansatzes M-QFD** (modulzentriertes QFD) dar und bilden zugleich die Erfolgskriterien für die initiale Evaluation der Methodik. Die aus der konsequenten Umsetzung dieser Anforderungen resultierenden Adaptionen gegenüber dem Ausgangspunkt des traditionellen QFD betreffen sämtliche Dimensionen, sodass das Ergebnis eine gänzlich neue und eigenständige Methodik darstellt. Eine grundlegende Parallele besteht jedoch in der Verschränkung eines zentralen Matrixsystems als Metamodell mit einem Vorgehen, welches durch den Aufbau des Modells strukturiert ist.

Kernkonzepte der Methodik

M-QFD basiert auf dem Zusammenspiel mehrerer **Kernkonzepte**: Als fokales Entwicklungsobjekt ist das Modul im **M-HoQ** – als instanziiertes Metamodell stellt dieses das zentrale Unterstützungsinstrument der Methodik dar – sowohl über sein eigenes Eigenschaftsgefüge darstellbar, als auch über die Wirkung seiner Eigenschaften in verschiedenen relevanten Systemkontexten, deren Gesamtheit als **Übersystembereich** gefasst wird. Ersteres erfolgt im **Modulbereich**, der vollständig isolierbar ist und zugleich den **Gestaltungsbereich** der Modulentwicklung repräsentiert. Die Eigenschaften des Übersystembereichs liegen hingegen außerhalb der unmittelbaren Beeinflussbarkeit, und damit lediglich im **Wirkbereich**. Die unterschiedlichen Systemgrenzen von Gestaltungs- und Wirkbereich stellen dabei ein wichtiges Orientierungs- und Kommunikationsinstrument dar.

Das **modulzentrierte Anforderungsverständnis** manifestiert sich im klaren Kontrast zum klassischen QFD außerdem keineswegs ausschließlich in direkter Kundenrelevanz sondern primär im **Beitrag zu höheraggregierten System- oder Modulgruppeneigenschaften**.

Daraus ergibt sich die Zielstellung eines objektiv darstellbaren Eigenschaftsgeflechts, welches sich auf unterschiedlichen systemhierarchischen Ebenen **aus Sicht verschiedener Stakeholder bewerten** lässt. Dadurch wird ein differenzierter Umgang mit system- beziehungsweise interessenbedingten Zielkonflikten ermöglicht und das Risiko vorschneller Vorfilterungen reduziert. Als Konsequenz liegt dem Modulbereich ein im Gegensatz zum QFD **adaptiertes Domänenverständnis** zu Grunde, welches zudem berücksichtigt, dass im M-QFD explizit **keine Lösungsneutralität des Eigenschaftsgefüges** gefordert wird (wobei der Lösungsbezug mit zunehmender Planungsreife zunimmt). Letzteres ist ein klares Bekenntnis zur Realität inkrementeller Weiterentwicklungen innerhalb des adressierten Anwendungsbereichs.

Ein weiteres Kernkonzept ist die Auffassung des Übersystembereichs als **skalierbaren Projektionsraum** der Moduleigenschaften, welcher unter Berücksichtigung von Relevanz- und Aufwandsaspekten projektspezifisch über repräsentative **Basisarchitekturen** und **Stakeholderperspektiven** definiert wird, wobei lediglich die Wirkungen auf eine ebenfalls zu definierende **Referenzarchitektur** vollständig abgebildet werden. Diese Maßnahmen seien hier stellvertretend für weitere **effizienzwirksame Reduktionsmechanismen** genannt. Die klare Trennung der Bereiche ermöglicht darüber hinaus weitreichende Variations- und Wiederverwendungsszenarien.

Auch hebt sich das M-QFD vom klassischen QFD über das Primärziel der Nutzung des M-HoQ bzw. des HoQ ab. Als Voraussetzung erfolgreicher Qualitätsorientierung ist im Kontext hoher Komplexität der Module, Systeme und Anwendungsprozesse die **Schaffung von Transparenz** als essenziell zu betrachten. Daher steht weniger die einmalige Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten in Form zu priorisierender Qualitätsmerkmale im Vordergrund, welche anschließend sequenziell durch weitere Qualitätshäuser geschleust werden, als die kontinuierliche Verfeinerung und iterative Konsolidierung des Eigenschaftsgefüges auf Basis eines **durchgängig in Modulplanung und -entwicklung genutzten Matrizensystems**. Diese **analyse- und synthesebezogene Nutzung** zielt daher auf die Identifikation (und Behebung) von versteckten Verbesserungspotenzialen und Schwachstellen im Rahmen bekannter Merkmale und Eigenschaften ab, und nicht auf ein prioritätsgetriebenes Vorgehen hinsichtlich neuartiger Lösungsmerkmale und Funktionen. Hierbei kommt auch eine **erweiterte Syntax** in Form **lösungsbezogener Variationssensitivitäten** zum Einsatz. Über diese lassen sich unter anderem **ineffektive Beitragsanteile** von Eigenschaften identifizieren, charakterisieren und schließlich eliminieren. Dies erhöht die Lösungsqualität im Sinne eines ganzheitlichen Qualitätsverständnisses und reduziert lösungsinduzierte Randbedingungen, welche die Umsetzung anderer Lösungsaspekte erschweren oder verhindern, auf ein unvermeidbares Minimum.

Die Methodik M-QFD sieht **kein Standardvorgehen** vor. Sie kann vielmehr durch situative Iterationen **synthese- und analysebezogener Nutzung** und einhergehender Weiterentwicklung des zentralen Kernmodells beschrieben werden. Dies ermöglicht auch eine **Flexibilität gegenüber der Ausgangssituation und des Eintrittsstadiums** eines Projekts in die Unterstützung durch die Methodik. Flexibilität besteht darüber hinaus hinsichtlich der in einer spezifischen Situation zu untersuchender Teilbereiche des Modells, deren Einbettung in die Gesamtvernetzung jedoch zu jedem Zeitpunkt sichergestellt ist.

Die aus den modellierten Informationen aggregierten **Metriken** dienen dem genannten Primärziel der Transparenzschaffung und nicht der logisch-automatischen Ableitung von

Entscheidungen. Sie unterstützen zwar die quantitative Fokussierung auf einzelne Abhängigkeiten, ein **quantitatives Gesamtmodell** zu Optimierungszwecken auf Basis einer absoluten Lösungsgüte stellt jedoch keinen Schwerpunkt dar. Exemplarisch ist die aus drei Submetriken zusammengesetzte Metrik der **intramodularen Eigenschaftskomplexität** zu nennen, welche einen Indikator für die technische Schwierigkeit darstellt, notwendige Verbesserungen über die Variation der zugehörigen Eigenschaft realisieren zu können, der sich aus der aktiven und passiven Vernetzung derselben innerhalb des Eigenschaftsgefüges ergibt.

Durch das Fehlen eines Standardvorgehens werden im Rahmen der Arbeit exemplarisch **Nutzungsszenarios** des M-HoQ aufgezeigt, was auf der Basis nicht-orthogonaler Gesichtspunkte und deren Ausprägungsstufen erfolgt (vgl. Abbildung 6-15). Eine **initiale Evaluation der Anwendbarkeit** erfolgte im Rahmen eines Demonstrationsbeispiels in Kooperation mit einem System-OEM der Offshore-Bohrindustrie. Darauf aufbauend wurde basierend auf den aus dem Handlungsbedarf abgeleiteten Erfolgskriterien eine **fragebogenbasierte Expertenstudie** zur Bewertung des industriellen Nutzens durchgeführt.

8.2 Reflexion und Ausblick

Reflexion des Mehrwerts für Wissenschaft und industrielle Praxis

Der vorgestellte Lösungsansatz, welcher im Rahmen dieser Arbeit als Antwort auf die dargestellten, besonderen Randbedingungen zahlreicher System-OEMs des Anlagenbaus entwickelt wurde, stellt eine **konsequente Umsetzung der herausgearbeiteten modulzentrierten Perspektive im Kontext der Qualitätsorientierung** dar. Die Denkweisen und Prinzipien der Systemtechnik sowie bewährte methodische Herangehensweisen der systematischen Produktentwicklung wurden einerseits als Fundament des Lösungsansatzes herangezogen, andererseits jedoch an zahlreichen Stellen aufgebrochen und um alternative Sichtweisen erweitert. Auf Grundlage der Prämisse, dass die Idealisierung einer zu lösenden Problemstellung als Voraussetzung für die Anwendbarkeit als ideal angesehener Vorgehensweisen (wie beispielsweise die Top-Down-Entwicklung auf Gesamtsystemebene) nicht zu einem Mehrwert in der industriellen Realität führen kann, **stellt der Ansatz bewusst einige theoretische Ideale infrage**, sowohl hinsichtlich des strukturellen Vorgehens, als auch hinsichtlich der inhaltlichen Ausrichtungen und Schwerpunkte.

Die industrielle Akzeptanz verfügbarer Entwicklungsmethoden hängt stark vom jeweiligen Aufwand/Nutzen-Verhältnis ab. Obschon VON REGIUS [2006, S. 23] den hohen relativen Aufwand als Akzeptanzbarriere zahlreicher QFD-Ansätze sieht, sind seiner Meinung nach die Hauptbemühung für eine Akzeptanzerhöhung nicht auf Komplexitätsreduktion zu fokussieren. Vielmehr müsse hierfür eine Konzentration auf die Demonstrierbarkeit des erhöhten Nutzens durch eine adäquate Abbildung bestehender Komplexitätsaspekte mit dem Ziel größtmöglicher Transparenzschaffung erfolgen. Dies deckt sich mit der Prämisse dieser Arbeit, welche durch die Konzeption der M-QFD-Methodik anstrebt, dem Anwendungsbereich mit den spezifischen, komplexen Zusammenhängen innerhalb verschiedener Dimensionen mit starken gegenseitigen Abhängigkeiten gerecht zu werden. Gleichfalls integriert der modellbasierte Ansatz mehrere Mechanismen, über welche Aufwandsminimierungen und eine größtmögliche Übersichtlichkeit angestrebt werden.

Die Expertendiskussionen im Rahmen der Evaluationsworkshops haben gezeigt, dass allein die systematische Herleitung der systemtechnischen Spezifika einer modulzentrierten Perspektive, sowie insbesondere der Herausforderungen im Zusammenhang mit multifunktionalen Kernmodulen einen substanziellen Erkenntnisgewinn darstellen. Die Intention, bei der Entwicklung der methodischen Unterstützung, die aus der Nichtberücksichtigung dieser Unterschiede resultierenden Defizite vermeintlich allgemeingültiger Ansätze in den Mittelpunkt zu stellen, ist daher als entscheidender Schlüsselaspekt hinsichtlich **Akzeptanz und Nutzen der Methodik in der industriellen Praxis** zu sehen. Die Verankerung einer explizit herausgestellten Übersystembetrachtung sowie die dadurch ermöglichte klare Trennung von Gestaltungs- und Wirkbereich werden als wichtige Orientierungs- und Transparenzmaßnahmen bewertet.

In der systemtechnischen Auseinandersetzung mit der modulzentrierten Perspektive sowie den Treibern, die zur bewussten Einnahme derselben im Kontext der Betätigung auf der systemhierarchischen Innovationsebene der Modulentwicklung motivieren, ist auch ein entscheidender Teilaspekt des **wissenschaftlichen Beitrags** zu sehen. Gleiches gilt für das Aufzeigen der Notwendigkeit der systematischen Entwicklung dieser Perspektive infolge der unzureichenden Reflexion der Problemaspekte der Modulentwicklung in generellen Ansätzen, welche im Allgemeinen das Ideal eines Top-Down-Vorgehens auf Basis der Dekomposition eines zu entwickelnden Gesamtsystems proklamieren. Während sich die Forschung darüber hinaus in den letzten zwei Dekaden maßgeblich mit der Gestaltung von Modularität auseinandergesetzt hat, woraus zahlreiche Modularisierungsansätze entstanden sind, setzt die vorliegende Arbeit am **Umgang mit bestehender Modularität als Rahmenbedingung planerischen und entwicklerischen Handelns** an, welcher bislang wenig Aufmerksamkeit erfahren hat.

Durch die Übertragung der genannten Aspekte auf die Konzeptionierung einer qualitätsorientierten Entwicklungsmethodik auf Basis der Grundprinzipien des QFD wurde auch auf diesem spezifischen, und dennoch breiten Forschungsfeld eine substanzielle Ergänzung geleistet. Exemplarisch sind hier die Domänenbelegung auf Grundlage der Auseinandersetzung mit verschiedenen Eigenschaftstypologien zu nennen, oder auch die differenziertere Betrachtung von Konfliktsituationen mittels des zentralen Modells des M-HoQ und deren intensivere Nutzung im Vorgehen. Der explizite Lösungsbezug durch die Syntaxerweiterung in Form von Variationssensitivitäten stellt eine weitere wertvolle Neuerung dar.

Zuletzt stellt auch die **umfassende Beschreibung der Offshore-Bohrindustrie** als exemplarisches Beispiel des Anwendungsbereichs dieser Arbeit eine Erweiterung des Wissenskörpers dar. Eine systemtechnisch hinterlegte Charakterisierung der komplexen Zusammenhänge zwischen den Wertschöpfungsnetzwerken und -prozessen sowie den komplexen Systemen und Modulen ist in der Literatur bislang nicht zu finden.

Anknüpfungspunkte und Ausblick

Als Anknüpfungspunkte weiterführender Forschungsaktivitäten werden insbesondere drei Felder gesehen: Zunächst wird die Notwendigkeit der **systematischen Aufbereitung von Anwendungsbereichen** gesehen, für welche eine modulzentrierte Perspektive besondere Relevanz hat. Die abstrahierte Charakterisierung des in dieser Arbeit fokussierten Bereichs

innerhalb des Anlagenbaus sowie der hier vorliegenden Relevanztreiber bieten dazu eine gute Ausgangsbasis. Darüber hinaus ist eine intensive Auseinandersetzung mit der Frage nach möglichen weiteren – system- und industriebezogenen – Relevanztreibern der modulzentrierten Perspektive anzustrengen.

Das zweite Feld bezieht sich auf die **Verfeinerung und Weiterentwicklung der eigentlichen Methodik**. Da in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung des Gesamtgerüsts der Methodik im Vordergrund steht, besteht hinsichtlich einiger Teilschritte der Bedarf, diese weiter detailliert methodisch zu unterfüttern. Erhöhtes Potenzial wird hierbei bezüglich der Erhebungs- und Modellierungsmethoden des Projektionsraums gesehen. Hier stellen insbesondere die Wertschöpfungsnetzwerke und -prozesse sowie die aus unterschiedlichen Konstellationen resultierenden Stakeholderperspektiven ein relevantes Feld dar, welches unter Einbezug wirtschaftswissenschaftlicher und marketingorientierter Disziplinen zu betrachten ist. Gleiches gilt für verbesserte Ansätze bezüglich der systematischen Aufbereitung der den theoretischen Übersystembereich repräsentierenden Gesamtsystemarchitekturen, sowie eine adäquate, deren zielgerichtete Reduktion unterstützende, Modellierung.

Seitens der **vorgehensunterstützenden Metriken** sind ebenfalls weitere sinnvolle Erweiterungen denkbar. So erfolgt die Darstellung der lösungsbezogenen Variationssensitivität bislang ausschließlich bezogen auf einzelne Relationen, ihre Überführung in eine aggregierte, dynamische Metrik würde jedoch einen zusätzlichen Mehrwert hinsichtlich Transparenz und Effektivität darstellen. Daraus würde zusätzlich ein Angriffspunkt für die nach wie vor unbeantwortete Frage resultieren, auf welche Bezugsgröße sich die Gewichtung aus Kundensicht beziehen sollte: auf die generelle Bedeutung einer Eigenschaft, auf das Erreichen eines konkreten Ausprägungswerts derselben oder auf die Schließung eines zu einem bestimmten Zeitpunkt der Entwicklung vorliegenden Deltas zwischen Zielwert und momentan erreichbarem Wert.

Bezüglich der ausstehenden Entwicklung einer geeigneten **Softwareunterstützung** wurde bereits am Ende der Evaluation ausführlich auf entsprechende Anforderungen eingegangen. Darauf aufbauend sind auch hier Anknüpfungen zu weiteren Unterstützungsbereichen denkbar, wie zum Beispiel der Auslösung und dem formalen Management von Änderungsprozessen, wenn Umfänge oder Parameter von einer diese verantwortenden Person oder Organisationseinheit geändert werden sollen.

Zuletzt ist die mögliche **Erweiterung des eigentlichen Nutzungszwecks der Methodik** als potenzieller Forschungsbereich zu nennen. Die vorliegende Arbeit fokussiert den Anwendungsfall der Weiterentwicklung eines singulären Moduls unter Berücksichtigung dessen Wirkung in multiplen Kontexten. Die Anwendung des dabei generierten Vernetzungswissens birgt jedoch über diesen Fokus hinaus nennenswertes Potenzial, langfristig anzustrebende Systemveränderungen abzuleiten, sodass bislang infolge der etablierten Architekturen unerschließbare Potenziale der Kernmodule zur Entfaltung kommen. Auch die gezielte Überführung und Nutzbarkeit des Wissens im Rahmen gesamtstrategischer Überlegungen wäre zu überprüfen. Zuletzt ist eine Kombination mit Ansätzen des Portfoliomanagements anzustreben. So ist bereits mit dem bestehenden M-QFD-Ansatz beispielsweise die Absicherung der Abdeckung bestimmter Bedarfsgefüge über möglichst wenige Varianten denkbar.

9. Literaturverzeichnis

AGOURIDAS ET AL. 2008

Agouridas, V.; McKay, A.; Winand, H.; de Pennington, A.: Advanced product planning – a comprehensive process for systematic definition of new product requirements. In: Requirements Engineering 13 (2008) 1, S. 19–48.

AKAO 1990

Akao, Y.: Quality function deployment – Integrating customer requirements into product design. Cambridge [MA, USA]: Productivity Press 1990. ISBN 0-915299-41-0.

AKAO 1992

Akao, Y.: QFD - Quality Function Deployment – Wie die Japaner Kundenwünsche in Qualität umsetzen. Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie 1992.

ALLAVERDI ET AL. 2013

Allaverdi, D.; Herberg, A.; Lindemann, U.: Lifecycle perspective on uncertainty and value robustness in the offshore drilling industry. In: 2013 IEEE International System Conference (SysCon 2013), Tagungsband. Orlando [FL, USA], 15.-18.04.2013. IEEE. Piscataway [NJ, USA]: IEEE Service Center 2013. ISBN 9781467331074.

ALLAVERDI ET AL. 2014

Allaverdi, D.; Herberg, A.; Lindemann, U.: Identification of Flexible Design Opportunities (FDO) in Offshore Drilling Systems by Market Segmentation. In: D. Marjanović, M. Štorga, N. Pavković und N. Bojčetić (Hrsg.): Proceedings of the DESIGN 2014 13th International Design Conference. Dubrovnik [Kroatien], 19.-22.05.2014. Somerset [Schottland]: Design Society 2014, S. 1451–1462. ISSN 1847-9073.

ALLMANNBERGER 1998

Allmannsberger, G.: Aktionsfelder des Integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 4: Strategien zum Entwickeln von Lösungsalternativen. In: U. Lindemann und R. Reichwald (Hrsg.): Integriertes Änderungsmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer 1998. ISBN 978-3-642-71958-5.

ANDREASEN 1980

Andreasen, M. M.: Syntesemetoder på systemgrundlag: bidrag til en konstruktionsteori. Dissertation. Lunds Tekniska Högskola. Lund [Dänemark]: 1980.

ANDREASEN & HEIN 1987

Andreasen, M. M.; Hein, L.: Integrated product development. Bedford [England]: IFS (Publications) 1987. ISBN 9780948507212.

ANSOFF 1957

Ansoff, H. I.: Strategies for Diversification. In: Harvard Business Review 35 (1957) 5, S. 113–124.

AUGHENBAUGH & PAREDIS 2004

Aughenbaugh, J. M.; Paredis, C. J. J.: The role and limitations of modeling and simulation in systems design. In: Proceedings of IMECE2004. 2004 ASME International Mechanical Engineering Congress and RD&D Expo. Anaheim [CA, USA], 13.-19.11.2004. American Society of Mechanical Engineers 2004.

BACHTHALER 1986

Bachthaler, M.: Systemorientierte Lösungsansätze bei komplexen Problemstellungen der Anlagenplanung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1986. ISBN 3181433160.

BALDWIN & CLARK 1998

Baldwin, C. Y.; Clark, K. B.: Modularisierung: Ein Konzept wird universell. In: Harvard Business Manager 20 (1998) 2, S. 39–48.

BALDWIN & CLARK 2006

Baldwin, C. Y.; Clark, K. B.: Architectural Innovation and Dynamic Competition – The Smaller Footprint Strategy. Working Paper Version 1.0. Harvard Business School. Boston [MA, USA]: 2006.

BALDWIN & CLARK 2000

Baldwin, C. Y.; Clark, K. B.: Design rules – The power of modularity. Cambridge [MA, USA]: MIT Press 2000. ISBN 0262024667.

BAUER ET AL. 2014

Bauer, M.; Freeden, W.; Jacobi, H.; Neu, T.: Handbuch Tiefe Geothermie. Berlin, Heidelberg: Springer 2014. ISBN 978-3-642-54511-5.

BAUMBERGER 2007

Baumberger, C.: Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2007. (Zugleich München: Dr. Hut 2007. ISBN 978-3899636604).

BECKER-FLÜGEL 1998

Becker-Flügel, J.: Qualitätsmanagement für die Entwicklung in Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienfertigung unter besonderer Berücksichtigung der auftragsgebundenen Entwicklung. Dissertation. Technische Universität Darmstadt. Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Betriebswirtschaftliche Fachgebiete. Darmstadt: 1998. (Zugleich Aachen: Shaker 1998. ISBN 978-3826557071).

BEREKOVEN ET AL. 2009

Berekoven, L.; Eckert, W.; Ellenrieder, P.: Marktforschung – Methodische Grundlagen und praktische Anwendung. 12. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2009. ISBN 3834982679.

BLESSING & CHAKRABARTI 2009

Blessing, L.; Chakrabarti, A.: DRM, a Design Research Methodology. London: Springer 2009. ISBN 9781848825864.

BOEHM 1988

Boehm, B. W.: A spiral model of software development and enhancement. In: Computer 21 (1988) 5, S. 61–72.

BOUTELLIER & BIEDERMANN 2014

Boutellier, R.; Biedermann, A.: Qualitätsgerechte Produktplanung. In: T. Pfeifer und R. Schmitt (Hrsg.): Masing Handbuch Qualitätsmanagement. 6. Aufl. München: Hanser 2014. ISBN 978-3-446-43431-8.

BRACHMAN & LEVESQUE 2004

Brachman, R.; Levesque, H.: Knowledge representation and reasoning. San Francisco [CA, USA]: Elsevier 2004. ISBN 1-55860-932-6.

BRANDENBURG 2001

Brandenburg, F.: Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen. Dissertation. RWTH Aachen. Aachen: 2001. (Zugleich Aachen: Shaker 2002. ISBN 978-3832201425).

BRAUN 2005

Braun, T.: Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2005. (Zugleich München: Dr. Hut 2006. ISBN 978-3899632743).

BROSE 1982

Brose, P.: Planung, Bewertung und Kontrolle technologischer Innovationen. Dissertation. Technische Universität Braunschweig. Braunschweig: 1982. (Zugleich Berlin: E. Schmidt 1982. ISBN 9783503021871).

BROWNING & HONOUR 2008

Browning, T. R.; Honour, E. C.: Measuring the life-cycle value of enduring systems. In: Systems Engineering 11 (2008) 3, S. 187–202.

BRUHN & GEORGI 1999

Bruhn, M.; Georgi, D.: Kosten und Nutzen des Qualitätsmanagements – Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele. München: Hanser 1999. ISBN 3446210784.

BRUNNER 1992

Brunner, F. J.: Produktplanung mit Quality Function Deployment QFD. In: io-Management-Zeitschrift 61 (1992) 6, S. 42–46.

BStMUGV 2009

BStMUGV (Hrsg.): Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe. Anlagenverordnung - VAWS. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. München: 2009.

BUJA 2011

Buja, H.-O.: Handbuch der Tief-, Flach-, Geothermie- und Horizontalbohrtechnik – Bohrtechnik in Grundlagen und Anwendung mit 792 Abbildungen und 119 Tabellen. Wiesbaden: Vieweg+Teubner bei Springer Fachmedien 2011. ISBN 3834812781.

BULLINGER & SEIDEL 1994

Bullinger, H.-J.; Seidel, U. A.: Einführung in das Technologiemanagement – Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Stuttgart: Teubner 1994. ISBN 3-519-06367-0.

CANTAMESSA 2001

Cantamessa, M.: Design research in perspective – A meta-research on ICED 97 and ICED 99. In: S. Culley, A. Duffy, C. McMahan und K. Wallace (Hrsg.): Proceedings of ICED 01. International Conference on Engineering Design, ICED'01. Glasgow [Schottland], 21.-23.08.2001. Somerset [Schottland]: Design Society 2001, S. 29–36. ISBN 1-86058-356-3.

CHAN & WU 2002

Chan, L.; Wu, M.: Quality function deployment – a literature review. In: European Journal of Operational Research 143 (2002) 3, S. 463–497.

CHANDRASEKARAN 1989

Chandrasekaran, B.: A framework for design problem-solving. In: Research in Engineering Design 1 (1989) 2, S. 75-86.

CLUZEL ET AL. 2012

Cluzel, F.; Yannou, B.; Millet, D.; Leroy, Y.: Identification and Selection of Eco-Innovative R&D Projects in Complex Systems Industries. In: J. L. Zachariah-Wolff (Hrsg.): 3rd International Engineering Systems Symposium – Design and Governance in Engineering Systems, Tagungsband. CESUN 2012. Delft [Niederlande], 18.-20.06.2012. Council of Engineering Systems Universities (CESUN) 2012, S. 767–776.

COOPER 1990

Cooper, R. G.: Stage-Gate Systems – A New Tool for Managing New Products. In: Business Horizons 33 (1990) 3, S. 44–54.

COOPER 2008

Cooper, R. G.: Perspective – The Stage Gate® Idea to Launch Process—Update, What's New, and NexGen Systems*. In: Journal of Product Innovation Management 25 (2008) 3, S. 213–232.

CRAWLEY ET AL. 2004

Crawley, E.; de Weck, O. L.; Eppinger, S.; Magee, C.; Moses, J.; Seering, W.; Schindall, J.; Wallace, D.; Whitney, D.: The influence of architecture in engineering systems. In: Engineering Systems Monograph (2004).

CRISTIANO ET AL. 2001

Cristiano, J. J.; Liker, J. K.; White, C. C.: Key factors in the successful application of quality function deployment (QFD). In: IEEE Transactions on Engineering Management 48 (2001) 1, S. 81–95.

DAENZER 1989

Daenzer, W. F. (Hrsg.): Systems Engineering – Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben. Zürich [Schweiz]: Verlag Industrielle Organisation 1989. ISBN 9783857439063.

DANNER 1996

Danner, S.: Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau. München: 1996. (Zugleich Aachen: Shaker 1996. ISBN 978-3-8265-1908-6).

DANZER 1990

Danzer, H. H.: Quality-Denken stärkt die Schlagkraft des Unternehmens. Zürich, Köln: TÜV Rheinland 1990. ISBN 9783885857204.

DE WECK ET AL. 2012

de Weck, O. L.; Ross, A. M.; Rhodes, D. H.: Investigating Relationships and Semantic Sets amongst System Lifecycle Properties (Iilities). In: J. L. Zachariah-Wolff (Hrsg.): 3rd International Engineering Systems Symposium – Design and Governance in Engineering Systems, Tagungsband. CESUN 2012. Delft [Niederlande], 18.-20.06.2012. Council of Engineering Systems Universities (CESUN) 2012.

DE WECK ET AL. 2011

de Weck, O. L.; Roos, D.; Magee, C. L.; Charles, M.: Engineering Systems – Meeting Human Needs in a Complex Technological World. Cambridge [MA, USA]: MIT Press 2011. ISBN 0262016702.

DEUBEL 2007

Deubel, T.: Anforderungs-, kosten- und wertgetriebene Steuerung des Produktentwicklungsprozesses. Dissertation. Universität des Saarlands. Lehrstuhl für Konstruktionstechnik / CAD. Saarbrücken: 2007. ISBN 978-3-930429-68-4.

DIN 2330:1979

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 2330: Begriffe und Benennungen – Allgemeine Grundsätze. Deutsche Norm. Berlin: Beuth 1979.

DIN EN ISO 9000:2005

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2005); Dreisprachige Fassung EN ISO 9000:2005. Deutsche Norm. Berlin: Beuth 2005.

DIN 2330:2013

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 2330: Begriffe und Benennungen – Allgemeine Grundsätze. Deutsche Norm. Berlin: Beuth 2013.

DISSELKAMP 2012

Disselkamp, M.: Innovationsmanagement – Instrumente und Methoden zur Umsetzung im Unternehmen. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2012. ISBN 978-3-8349-4471-9.

DOBBERKAU 2002

Dobberkau, K.: Aufgabenorientierte Methoden Anpassung in der Produktentwicklung am Beispiel des Qualitätsmanagements. Dissertation. Technische Universität Kaiserslautern. Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation. Kaiserslautern: 2002.

DÖRNER 1987

Dörner, D.: Problemlösen als Informationsverarbeitung. 3. Auflage. Stuttgart: W. Kohlhammer 1987. ISBN 3-17-009711-3.

DURU ET AL. 2013

Duru, O.; Huang, S. T.; Bulut, E.; Yoshida, S.: Multi-layer quality function deployment (QFD) approach for improving the compromised quality satisfaction under the agency problem – A 3D QFD design for the asset selection problem in the shipping industry. In: Quality & Quantity 47 (2013) 4, S. 2259–2280.

EHRENSPIEL ET AL. 1992

Ehrlenspiel, K.; Danner, S.; Schlüter, A.: Verbindungsgestaltung für montagegerechte Produkte. In: Montage und Demontage (1992) VDI-Berichte 999, S. 179–205.

EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013

Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 5. Auflage. München: Hanser 2013. ISBN 978-3-446-43548-3.

EILETZ 1999

Eiletz, R.: Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Beispiel PKW-Entwicklung. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau. München: 1999. (Zugleich Aachen: Shaker 1996. ISBN 3-8265-6019-1).

EISENFÜHR ET AL. 2010

Eisenführ, F.; Langer, T.; Weber, M.: Rationales Entscheiden. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer 2010. ISBN 978-3-642-02848-9.

ERICSSON & ERIXON 1999

Ericsson, A.; Erixon, G.: Controlling Design Variants – Modular Product Platforms. Fairfield [NJ, USA]: ASME Press 1999. ISBN 0872635147.

ERIXON 1998

Erixon, G.: Modular Function Deployment – A Method for Product Modularization. Dissertation. The Royal Institute of Technology. Department of manufacturing systems, Assembly systems division. Stockholm [Schweden]: 1998.

ESTEFAN 2008

Estefan, J. A.: Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies. International Council on Systems Engineering (INCOSE), MBSE Initiative. San Diego [CA, USA]: 2008.

EVERSHEIM 2003

Eversheim, W.: Innovationsmanagement für technische Produkte. Berlin, Heidelberg: Springer 2003. ISBN 978-3-642-55768-2.

FELGEN 2007

Felgen, L.: Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2007. (Zugleich München: Dr. Hut 2003. ISBN 978-389963556).

FORSBERG ET AL. 2005

Forsberg, K.; Mooz, H.; Cotterman, H.: Visualizing project management – Models and frameworks for mastering complex systems. 3. Auflage. Hoboken [NJ, USA]: John Wiley & Sons 2005. ISBN 0471746746.

FÖRSTER 2003

Förster, M.: Variantenmanagement nach Fusion in Unternehmen des Anlagen und Maschinenbaus. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2003.

FRANKE ET AL. 1996

Franke, H. J.; Kaletka, I.; Beukenberg, M.; Kunz, R.: Variantenreduzierung mit Baukastentechniken. In: Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 91 (1996) 10, S. 501–504.

FRANKE 2014

Franke, S.: Strategieorientierte Vorentwicklung komplexer Produkte – Prozesse und Methoden zur zielgerichteten Komponentenentwicklung am Beispiel Pkw. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2014. (Zugleich Göttingen: Cuvillier 2014. ISBN 978-3-95404-669-0).

FRICKE 2003

Fricke, E.: Der Änderungsprozeß als Grundlage einer nutzerzentrierten Systementwicklung. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Raumfahrttechnik. München: 2003. (Zugleich München: Utz 2003. ISBN 3-8316-0383-9).

GAUSEMEIER & RIEPE 2000

Gausemeier, J.; Riepe, B.: Komplexitätsbeherrschung in den frühen Phasen der Produktentwicklung. In: Industrie Management 16 (2000) 5, S. 54–58.

GAUSEMEIER ET AL. 2012

Gausemeier, J.; Lanza, G.; Lindemann, U.: Virtuelle Synchronisation von Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung – Modellbildung und Analyse in der frühen Phase der Produktentstehung. München: Hanser 2012. ISBN 978-3-446-42825-6.

GAUSEMEIER ET AL. 2000

Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H.-P.: Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmässigen Wirkens. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Inst. 2000. ISBN 9783931466787.

GEIGER & KOTTE 2008

Geiger, W.; Kotte, W.: Handbuch Qualität. 5. Auflage. Wiesbaden: Vieweg & Sohn 2008. ISBN 978-3-8348-0273-6.

GERST 2002

Gerst, M.: Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2002. (Zugleich München: Dr. Hut 2002. ISBN 978-3934767799).

GfSE 2013

GfSE (Hrsg.): INCOSE Systems Engineering Handbuch. Version 3.2.2 – Übersetzung ins Deutsche. Gesellschaft für Systems-Engineering e.V. German Chapter of INCOSE (GfSE). München: 2013.

GOMERINGER 2007

Gomeringer, A.: Eine integrative, prognosebasierte Vorgehensweise zur strategischen Technologieplanung für Produkte. Dissertation. Universität Stuttgart. Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement. Stuttgart: 2007. (Zugleich Heimsheim: Jost-Jetter-Verlag 2007. ISBN 3939890154).

GÖPFERT & STEINBRECHER 2000

Göpfert, J.; Steinbrecher, M.: Modulare Produktentwicklung leistet mehr. In: Harvard Business Manager 22 (2000) 3, S. 20–48.

GÖPFERT 2009

Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung – Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation. 2. Auflage. Norderstedt: BoD 2009. ISBN 978-3-8370-3559-9.

GORBEA 2011

Goarbea, C.: Vehicle Architecture and Lifecycle Cost Analysis In a New Age of Architectural Competition. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2011. (Zugleich München: Dr. Hut 2012. ISBN 978-3-8439-0458-2).

GRANER 2012

Graner, M.: Der Einsatz von Methoden in Produktentwicklungsprojekten – Eine empirische Untersuchung der Rahmenbedingungen und Auswirkungen. Dissertation. Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Elektrotechnik. Cottbus: 2012. (Zugleich: Schriften zum europäischen Management, Wiesbaden: Springer Gabler 2013. ISBN 9783658012779).

GROßKLAUS 2008

Großklaus, R. H. G.: Neue Produkte einführen – Von der Idee zum Markterfolg. Wiesbaden: Gabler 2008. ISBN 978-3-8349-0499-7.

HABERFELLNER ET AL. 2012

Haberfellner, R.; de Weck, O. L.; Fricke, E.; Vössner, S. (Hrsg.): Systems Engineering – Grundlagen und Anwendung. 12. Auflage. Zürich [Schweiz]: Orell Füssli 2012. ISBN 978-3-280-04068-3.

HARI ET AL. 2007

Hari, A.; Kasser, J. E.; Weiss, M. P.: How lessons learned from using QFD led to the evolution of a process for creating quality requirements for complex systems. In: Systems Engineering 10 (2007) 1, S. 45–63.

HARTUNG 1994

Hartung, S.: Methoden des Qualitätsmanagements für die Produktplanung und-entwicklung. Aachen: Shaker 1994. ISBN 3861119463.

Haskins 2010

Haskins, C. (Hrsg.): Systems Engineering Handbook – A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. Version 3.2. International Council on Systems Engineering (INCOSE). San Diego [CA, USA]: 2010.

HAUSCHILDT & SALOMO 2010

Hauschildt, J.; Salomo, S.: Innovationsmanagement. 5. Auflage. München: Vahlen 2010. ISBN 3800643537.

HAUSER & CLAUSING 1988

Hauser, J. R.; Clausing, D.: The House of Quality. In: Harvard Business Review 66 (1988) 5, S. 63–73.

HEIDENREICH ET AL. 1997

Heidenreich, M.; Kerst, C.; Munder, I.: Innovationsstrategien im deutschen Maschinen-und Anlagenbau. In: M. Heidenreich (Hrsg.): Innovationen in Baden-Württemberg., Bd. 83. Baden-Baden: Nomos 1997. ISBN 978-3789046216.

HENDERSON & CLARK 1990

Henderson, R. M.; Clark, K. B.: Architectural innovation – The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. In: Administrative science quarterly 35 (1990) Special Issue: Technology, Organizations, and Innovation, S. 9–30.

HEPPERLE 2013

Hepperle, C.: Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2013. (Zugleich München: Dr. Hut 2013. ISBN 978-3-8439-1000-2).

HERBERG & LINDEMANN 2012

Herberg, A.; Lindemann, U.: Supporting system architecture assessment by two-level functional modeling – Process oriented analysis and comparison of large-scale systems. In: 2012 IEEE International System Conference (SysCon 2012), Tagungsband. Vancouver [Kanada], 19.-22.03.2012. IEEE. Piscataway [NJ, USA]: IEEE Service Center 2012, S. 296–303. ISBN 978-1-4673-0749-9.

HERBERG & LINDEMANN 2013

Herberg, A.; Lindemann, U.: A different view on system decomposition – Subsystem-centered property evaluation in multiple supersystems. In: M. Aiguier, F. Boulanger, D. Krob und C. Marchal (Hrsg.): Proceedings of the Posters Workshop of the Complex Systems Design & Management Conference CSD&M 2013. Paris [Frankreich], 04.-06.12.2013. Center of Excellence on Systems Architecture, Management, Economy & Strategy (C.E.S.A.M.E.S.) 2013, S. 153–165. ISSN 1613-0073.

HERFELD 2007

Herfeld, U.: Matrix-basierte Verknüpfung von Komponenten und Funktionen zur Integration von Konstruktion und numerischer Simulation. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2007. (Zugleich München: Dr. Hut 2013. ISBN 978-3-89963-545-4).

HERSTATT & VERWORN 2007

Herstatt, C.; Verworn, B.: Management der frühen Innovationsphasen – Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze. Wiesbaden: Gabler 2007. ISBN 978-3-8349-0375-4.

HOFFMANN 1997

Hoffmann, J.: Entwicklung eines QFD-gestützten Verfahrens zur Produktplanung und -entwicklung für kleine und mittlere Unternehmen. Dissertation. Universität Stuttgart. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung. Stuttgart: 1997. (Zugleich Berlin Heidelberg: Springer 1994. ISBN 978-3-540-62638-1).

HÖHNE & LANGBEIN 2007

Höhne, G.; Langbein, P.: Konstruktionstechnik. In: E. Hering (Hrsg.): Grundwissen des Ingenieurs. 14. Aufl. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl-Hanser-Verlag 2007. ISBN 3446228144.

HONOUR & BROWNING 2007

Honour, E. C.; Browning, T. R.: Dynamic optimization of systems of systems using value measurement. In: Journal of Integrated Design and Process Science 11 (2007) 2, S. 33–53.

HOPE ET AL. 2012

Hope, I.; Livingston, S.; Ogg, J.: Newbuild Construction Cycles-An Evolving Paradigm. In: 2012 IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, Tagungsband. San Diego [CA, USA], 06.-08.03.2012. IADC/SPE 2012.

HUBKA & EDER 1988

Hubka, V.; Eder, W. E.: Theory of Technical Systems – A Total Concept Theory For Engineering Design. Berlin, Heidelberg: Springer 1988. ISBN 0824711041.

HUBKA & EDER 1996

Hubka, V.; Eder, W. E.: Design science – Introduction to Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge. London: Springer 1996. ISBN 978-3-540-19997-7.

IBUSUKI & KAMINSKI 2007

Ibusuki, U.; Kaminski, P. C.: Product development process with focus on value engineering and target-costing – A case study in an automotive company. In: International Journal of Production Economics 105 (2007) 2, S. 459–474.

ISO/IEC 15288:2008

ISO Internationale Organisation für Normung. ISO/IEC 15288: Systementwicklung – Der Systemlebenszyklus und seine Prozesse. Internationale Norm. 2008.

JOCHEM & RAßFELD 2014

Jochem, R.; Raßfeld, C.: Qualitätsbezogene Kosten. In: T. Pfeifer und R. Schmitt (Hrsg.): Masing Handbuch Qualitätsmanagement. 6. Aufl. München: Hanser 2014. ISBN 978-3-446-43431-8.

JUNG 2006

Jung, C.: Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2006. (Zugleich München: Dr. Hut 2006. ISBN 3-89963-367-9).

KALLENBACH ET AL. 1997

Kallenbach, E.; Birli, O.; Saffert, E.; Schäffel, C.: Zur Gestaltung integrierter mechatronischer Produkte. In: Mechatronik im Maschinen- und Fahrzeugbau – Tagung Moers, VDI Berichte 1315. Moers, 11.-12.03.1997. VDI Verein Deutscher Ingenieure - Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997, S. 1–14. ISBN 3-18-091315-0.

KAMISKE & BRAUER 2011

Kamiske, G. F.; Brauer, J.-P.: Qualitätsmanagement von A bis Z. München: Hanser 2011. ISBN 978-3-446-42581-1.

KANO 1995

Kano, N.: Upsizing the organization by attractive quality creation. In: G. K. Kanji (Hrsg.): Total Quality Management – Proceedings of the first world congress.: Springer Netherlands 1995. ISBN 978-94-010-4240-6.

KERSTEN & KOPPENHAGEN 2002

Kersten, W.; Koppenhagen, F.: Systematische Ableitung modularer Produktarchitekturen. In: PPS Management 7 (2002) 1, S. 9–13.

KERSTEN 2001

Kersten, W.: Marktorientiertes Vielfaltsmanagement als Basis für effiziente Produktionssysteme und kontinuierliche Produktinnovation. In: T. Blecker und B. Kaluza (Hrsg.): Innovatives Produktions- und Technologiemanagement – Festschrift für Bernd Kaluza. Berlin, Heidelberg: Springer 2001. ISBN 978-3540416616.

KERSTEN 2002

Kersten, W.: Vielfaltsmanagement: Integrative Lösungsansätze zur Optimierung und Beherrschung der Produkte und Teilevielfalt. München: TCW Transfer-Centrum 2002. ISBN 3931511774.

KESPER 2012

Kesper, H.: Gestaltung von Produktvariantenspektren mittels matrixbasierter Methoden. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2012. (Zugleich München: Dr. Hut 2012. ISBN 978-3-8439-0780-4).

KING 1989

King, B.: Better designs in half the time – Implementing QFD Quality Function Deployment in America. 3. Auflage. Methuen [MA, USA]: Goal/QPC 1989. ISBN 1-879364-01-8.

KING 1994

King, B.: Doppelt so schnell wie die Konkurrenz – Quality Function Deployment. St. Gallen [Schweiz]: Gesellschaft für Management und Technologie 1994. ISBN 9783906156309.

KINKEL ET AL. 2004

Kinkel, S.; Lay, G.; Wengel, J.: Innovation: Mehr als Forschung und Entwicklung – Wachstumschancen auf anderen Innovationspfaden. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung). Karlsruhe: 2004.

KIRSTEIN 1992

Kirstein, H.: Qualitätssicherung im Unternehmen – Methode - Strategie - Philosophie. In: Qualität und Zuverlässigkeit 37 (1992) 7, S. 400–403.

KISSEL 2014

Kissel, M. P.: Mustererkennung in komplexen Produktportfolios. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2014.

KLEEDÖRFER 1998

Kleedörfer, R. W.: Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau. München: 1998. (Zugleich Aachen: Shaker 1999. ISBN 3-8265-4339-4).

KLEIN 2012

Klein, B.: QFD - quality function deployment. 2. Auflage. Renningen: expert 2012. ISBN 9783816930884.

KÖHLER 2009

Köhler, C.: Technische Produktänderungen – Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf Basis einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes. Dissertation. Universität des Saarlands. Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III. Saarbrücken: 2009. ISBN 978-3930429745.

KOHLMASE 1997

Kohlhase, N.: Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen: Strategien, Methoden, Instrumente. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997. ISBN 3183275015.

KOHN 2014

Kohn, A.: Entwicklung einer Wissensbasis für die Arbeit mit Produktmodellen. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2014. (Zugleich München: Dr. Hut 2014. ISBN 978-3-8439-1829-9).

KOLLER 1998

Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau – Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer 1998. ISBN 978-3-642-80418-2.

KONTNY ET AL. 2001

Kontny, H.; Burkert, W.-D.; Göpfert, J.: Durch Produktarchitekturgestaltung Einkauf und Logistik optimieren. In: BA Beschaffung aktuell (2001) 4, S. 52–56.

KOPPENHAGEN 2014

Kopenhagen, F.: Modulare Produktarchitekturen – Komplexitätsmanagement in der frühen Phase der Produktentwicklung. In: K.-P. Schoeneberg (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen – Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Gabler 2014. ISBN 978-3-658-01283-0.

KORTLER 2014

Kortler, S.: Absicherung von Eigenschaften komplexer und variantenreicher Produkte in der Produktentwicklung. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2014. (Zugleich München: Dr. Hut 2014. ISBN 978-3-8439-1652-3).

KRAUSE & RIPPERDA 2013

Krause, D.; Ripperda, S.: An Assessment of Methodical Approaches to Support the Development of Modular Product Families. In: U. Lindemann, S. Venkataraman, Y. S. Kim, S. W. Lee und (Keine Angabe) (Hrsg.): Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13). Seoul [Korea], 19.-22.08.2013. Somerset [Schottland]: Design Society 2013. ISBN 978-1-904670-45-2.

KUCKARTZ ET AL. 2013

Kuckartz, U.; Rädiker, S.; Ebert, T.; Schehl, J.: Statistik – Eine verständliche Einführung. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien (VS Verlag für Sozialwissenschaften) 2013. ISBN 978-3-531-19889-7.

KÜHNE 2006

Kühne, T.: Matters of (Meta-) Modeling. In: Software & Systems Modeling 5 (2006) 4, S. 369-385.

LESMEISTER 2001

Lesmeister, F.: Verbesserte Produktplanung durch den problemorientierten Einsatz präventiver Qualitätsmanagementmethoden. Dissertation. RWTH Aachen. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre. Aachen: 2001. (Zugleich Düsseldorf: VDI-Verlag 2001. ISBN 3-18-313216-8).

LEY & HOFER 1999

Ley, W.; Hofer, A. P.: Produktplattformen: Ein strategischer Ansatz zur Beherrschung der Variantenvielfalt. In: *io-Management-Zeitschrift* 7 (1999) 8, S. 56–60.

LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer 2009. ISBN 978-3-642-01422-2.

LINDEMANN ET AL. 2009

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: *Structural complexity management – an approach for the field of product design*. Berlin, Heidelberg: Springer 2009. ISBN 978-3-540-87888-9.

LO ET AL. 2010

Lo, C. H.; Tseng, K. C.; Chu, C. H.: One-Step QFD based 3D morphological charts for concept generation of product variant design. In: *Expert Systems with Applications* 37 (2010) 11, S. 7351–7363.

MAI 1998

Mai, C.: *Effiziente Produktplanung mit Quality Function Deployment*. Berlin, Heidelberg: Springer 1998. ISBN 3540641459.

MALORNY 2014

Malorny, C.: *Total Quality Management als Grundlage für die Entwicklung der Unternehmenskultur*. In: T. Pfeifer und R. Schmitt (Hrsg.): *Masing Handbuch Qualitätsmanagement*. 6. Aufl. München: Hanser 2014. ISBN 978-3-446-43431-8.

MARTIN & ISHII 2002

Martin, M. V.; Ishii, K.: Design for variety – Developing Standardized and Modularized Product Platform Architectures. In: *Research in Engineering Design* 13 (2002) 4, S. 213–235.

MASING 2014

Masing, W.: *Das Unternehmen im Wettbewerb*. In: T. Pfeifer und R. Schmitt (Hrsg.): *Masing Handbuch Qualitätsmanagement*. 6. Aufl. München: Hanser 2014. ISBN 978-3-446-43431-8.

MATEIKA 2005

Mateika, M.: *Unterstützung der Lebenszyklusorientierten Produktplanung am Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus*. Dissertation. Technische Universität Braunschweig. Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik. Braunschweig: 2005. (Zugleich Essen: Vulkan 2005. ISBN 978-3802786839).

MAURER 2007

Maurer, M.: *Structural Awareness in Complex Product Design*. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2007. (Zugleich München: Dr. Hut 2014. ISBN 978-3-89963-632-1).

MEERKAMM 1994

Meerkamm, H.: Design for X – a core area of design methodology. In: Journal of Engineering Design 5 (1994) 2, S. 165–181.

MICOUIN 2008

Micouin, P.: Toward a property based requirements theory – System requirements structured as a semilattice. In: Systems Engineering 11 (2008) 3, S. 235–245.

MILLER ET AL. 1973

Miller, G. A.; Galanter, E.; Pribram, K. H.: Strategien des Handelns – Pläne und Strukturen des Verhaltens. Stuttgart: Klett-Cotta 1973. ISBN 3129258906.

MOON 2014

Moon, T.: Worldwide survey of deepwater drilling rigs July 2014 – Drilling Rigs Operational for Water Depths > 4,000'. In: Offshore Magazine 74 (2014) 8.

MÜLLER 2000

Müller, M.: Modularisierung von Produkten – Entwicklungszeiten und-kosten reduzieren. Leipzig: Hanser 2000. ISBN 978-3446214606.

MÜLLER-BENEDICT 2011

Müller-Benedict, V.: Grundkurs Statistik in den Sozialwissenschaften: Eine leicht verständliche, anwendungsorientierte Einführung in das sozialwissenschaftlich notwendige statistische Wissen. 5. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien (VS Verlag für Sozialwissenschaften) 2011. ISBN 978-3-531-18035-9.

MÜNCH 2013

Münch, T.: Stakeholderkonstellationen und Vertragsbeziehungen der Ölbohrindustrie – Systematisierung und methodische Ableitung von Stakeholderinteressen aus Systemanbieter-Perspektive. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2013.

NASA 2007

NASA (Hrsg.): NASA Systems Engineering Handbook. National Aeronautics and Space Administration. Washington D.C. [DC, USA]: 2007. ISBN: 978-0-16-079747-7.

NEVILLE 2007

Neville, C.: Introduction to research and research methods. University of Bradford. Bradford [England]: 2007.

NILSSON 2010

Nilsson, P.: Conceptual Product Development in Small Corporations. Dissertation. KTH Royal Institute of Technology. Department of Production Engineering, Division of Computer Systems for Design and Manufacturing. Stockholm [Schweden]: 2010.

PAHL ET AL. 2007

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer 2007. ISBN 3-540-34060-2.

PATZAK 1982

Patzak, G.: Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme – Grundlagen, Methoden, Techniken. Berlin, Heidelberg: Springer 1982. ISBN 978-3-540-11783-4.

PETERMANN 2011

Petermann, M.: Schutz von Technologiewissen in der Investitionsgüterindustrie. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2011. (Zugleich München: Dr. Hut 2011. ISBN 978-3-8439-0150-5).

PIMMLER & EPPINGER 1994

Pimmler, T. U.; Eppinger, S. D.: Integration analysis of product decompositions. In: Proceedings of DTM'1994. 1994 ASME Design Technical Conferences, 6th International Conference on Design Theory and Methodology. Minneapolis [MN, USA], 11.-14.09.1994. American Society of Mechanical Engineers 1994.

PLATT 1969

Platt, J.: Theorems on boundaries in hierarchical systems. In: L. L. White, A. G. Wilson und D. Wilson (Hrsg.): Hierarchical Structures. New York [NY, USA]: American Elsevier 1969.

PLESCHAK & SABISCH 1996

Pleschak, F.; Sabisch, H.: Innovationsmanagement. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996. ISBN 3791060171.

PONN 2007

Ponn, J.: Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2007. (Zugleich München: Dr. Hut 2007. ISBN 978-3-89963-654-3).

PONN & LINDEMANN 2011

Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte – Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltungslösungen. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer 2011. ISBN 978-3642-20579-8.

PUGH 1981

Pugh, S.: New Concept Selection – A Method That Works. In: V. Hubka und W. E. Eder (Hrsg.): WDK 7: Conference Results – ICED 81. International Conference on Engineering Design, ICED'81. Rom [Italien], 09.-13.03.1981. Workshop Design Konstruktion (WDK) 1981. ISBN 3-85693-007-8.

PULM 2004

Pulm, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2004. (Zugleich München: Dr. Hut 2011. ISBN 978-3899630626).

QAMAR & PAREDIS 2012

Qamar, A.; Paredis, C. J. J.: Dependency modeling and model management in mechatronic design. In: J. L. Zachariah-Wolff (Hrsg.): 3rd International Engineering Systems Symposium – Design and Governance in Engineering Systems, Tagungsband. CESUN 2012. Delft [Niederlande], 18.-20.06.2012. Council of Engineering Systems Universities (CESUN) 2012.

RAPP 2010

Rapp, T.: Produktstrukturierung – Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und-plattformen. 2. Auflage. Norderstedt: BoD 2010. ISBN 9783839136041.

REFFLINGHAUS 2009

Refflinghaus, R.: Einsatz des Analytischen Hierarchie Prozesses zur Vorbereitung der kundenspezifischen Eingangsgrößen eines Quality Function Deployments. Technical Report 0901. Technische Universität Dortmund. Dortmund: 2009. ISSN: 1867-3473.

REICHLÉ 2006

Reichle, M.: Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Erfolgspotenzials und des Innovationsgrades von Produktideen und Produkten. Dissertation. Universität Stuttgart. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design. Stuttgart: 2006. ISBN 978-3922823636.

REINERTSEN 1992

Reinertsen, D. G.: Use product architecture to slash design time. In: Electronic Design 40 (1992) 25, S. 59–62.

REINHART ET AL. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement – Ein Kurs für Studium und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer 1996. ISBN 978-3-540-61078-6.

ROPOHL 1975

Ropohl, G.: Systemtechnik – Grundlagen und Anwendung. München: Hanser 1975. ISBN 3446118292.

ROPOHL 2009

Ropohl, G.: Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik. 3. Auflage. Karlsruhe: Universitätsverlag 2009. ISBN 978-3-86644-374-7.

ROSS ET AL. 2008

Ross, A. M.; Rhodes, D. H.; Hastings, D. E.: Defining changeability: Reconciling flexibility, adaptability, scalability, modifiability, and robustness for maintaining system lifecycle value. In: Systems Engineering 11 (2008) 3, S. 246–262.

ROTHER 1999

Rother, F. W.: Total Missverständen. In: Wirtschaftswoche (1999) 46, S. 68–70.

ROYCE 1970

Royce, W. W.: Managing the development of large software systems. In: Technical Papers of Western Electronic Show and Convention (WesCon). IEEE WESCON 1970. Los Angeles [CA, USA], 25.-28.08.1970. IEEE 1970.

SAATWEBER 1997

Saatweber, J.: Kundenorientierung durch Quality Function Deployment – systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen. München: Hanser 1997. ISBN 3-446-19011-2.

SCHMIDT 1997

Schmidt, R.: The implementation of simultaneous engineering in the stage of product concept development: A process orientated improvement of quality function deployment. In: European Journal of Operational Research 100 (1997) 2, S. 293–314.

SCHUH ET AL. 2009

Schuh, G.; Lenders, M.; Bender, D.: Szenariorobuste Produktarchitekturen. In: J. Gausemeier (Hrsg.): 5. Symposium für Technologieplanung und Vorausschau, Tagungsband. Berlin, 19.-20.11.2009 (Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Paderborn, 265). Paderborn: Heinz Nixdorf Institut 2009. ISBN 978-3-939350-84-2.

SCHUH 2012

Schuh, G. (Hrsg.): Innovationsmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer 2012. ISBN 978-3-642-25049-1.

SCHUH 2005

Schuh, G.: Produktkomplexität managen. Strategien-Methoden-Tools. 2. Auflage. München: Hanser 2005. ISBN 3446400435.

SCHUH ET AL. 2012

Schuh, G.; Lenders, M.; Nußbaum, C.; Rudolf, S.: Produktarchitekturgestaltung. In: G. Schuh (Hrsg.): Innovationsmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer 2012. ISBN 978-3-642-25049-1.

SCHUH ET AL. 2008

Schuh, G.; Stölzle, W.; Straube, F.: Grundlagen des Anlaufmanagements – Entwicklungen und Trends, Definitionen und Begriffe, Integriertes Anlaufmanagementmodel. In: G. Schuh, W. Stölzle und F. Straube (Hrsg.): Anlaufmanagement in der Automobilindustrie Erfolgreich Umsetzen – Ein Leitfaden für die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer 2008. ISBN 978-3-540-78406-7.

SEGHEZZI ET AL. 2013

Seghezzi, H. D.; Herrmann, F.; Fahrni, F.: Integriertes Qualitätsmanagement – Der St. Galler Ansatz. 4. Auflage. München: Hanser 2013. ISBN 978-3-446-43461-5.

SESMA VITRIÁN 2004

Sesma Vitrián, E.: Beitrag zur Ermittlung von Kosten und Nutzen der präventiven Qualitätsmethoden QFD und FMEA. Dissertation. Technische Universität Berlin. Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau. Berlin: 2004.

SIMON 1962

Simon, H. A.: The Architecture of Complexity. In: Proceedings of the American Philosophical Society 106 (1962) 6, S. 467–482.

SIMON 1977

Simon, H. A.: The Organization of Complex Systems. In: R. S. Cohen und M. W. Wartofsky (Hrsg.): Models of Discovery – And Other Topics in the Methods of Science., Bd. 54. Boston [MA, USA]: D. Reidel 1977. ISBN 978-90-277-0970-7.

SKINNER 2009

Skinner, D. C.: Introduction to decision analysis – A practitioner's guide to improving decision quality. 3rd ed. Sugar Land [TX, USA]: Probabilistic Publishing 2009. ISBN 0964793865.

SOSA ET AL. 2000

Sosa, M. E.; Eppinger, S. D.; Craig M. R.: Designing modular and integrative systems. In: Proceedings of DETC '00. ASME 2000 International Design Engineering Technical Conferences. Baltimore [MD, USA], 10.-13.09.2000. American Society of Mechanical Engineers 2000.

STAKE 2000

Stake, R.: On conceptual development of modular products – Development of supporting tools for the modularisation process. Dissertation. KTH Royal Institute of Technology. Department of Production ENgineering. Stockholm [Schweden]: 2000.

STAUSS 1994

Stauss, B.: Total Quality Management und Marketing. In: Marketing - Zeitschrift für Forschung und Praxis 16 (1994) 3, S. 149–159.

SUH 1995

Suh, N. P.: Design and operation of large systems. In: Journal of Manufacturing Systems 14 (1995) 3, S. 203–213.

SUH 1990

Suh, N. P.: The principles of design. New York [NY, USA]: Oxford University Press 1990. ISBN 0-19-504345-6.

SUH 2001

Suh, N. P.: Axiomatic design – Advances and applications. New York [NY, USA]: Oxford University Press 2001. ISBN 0195134664.

TAKAI & ISHII 2006

Takai, S.; Ishii, K.: Integrating Target Costing Into Perception-Based Concept Evaluation of Complex and Large-Scale Systems Using Simultaneously Decomposed QFD. In: Journal of Mechanical Design 128 (2006) 6, S. 1186–1195.

TAKAI & KALAPURACKAL 2012

Takai, S.; Kalapurackal, R. M.: Sensitivity analysis of relative worth in quality function deployment matrices. In: Concurrent Engineering 20 (2012) 3, S. 195–202.

TEMPONI ET AL. 1999

Temponi, C.; Yen, J.; Amos Tiao, W.: House of quality – A fuzzy logic-based requirements analysis. In: European Journal of Operational Research 117 (1999) 2, S. 340–354.

TROPSCUH 1988

Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau. München: 1988.

ULRICH 1995

Ulrich, K.: The role of product architecture in the manufacturing firm. In: Research policy 24 (1995) 3, S. 419–440.

ULRICH & PROBST 1995

Ulrich, H.; Probst, G. J. B.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln – Ein Brevier für Führungskräfte. 4. Auflage. Bern [Schweiz]: Haupt 1995. ISBN 3258051828.

ULRICH & EPPINGER 2004

Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.: Product design and development. 3. Auflage. Boston [MA, USA]: McGraw-Hill/Irwin 2004. ISBN 9780072471465.

VAHS & BREM 2013

Vahs, D.; Brem, A.: Innovationsmanagement – Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung. 4. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschek 2013. ISBN 978-3791028576.

VDMA 1976

VDMA (Hrsg.): Statistisches Erfassungsmaterial des VDMA. Lagebericht 1976 - Arbeitsgemeinschaft Großanlagenbau. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA). Frankfurt am Main: 1976.

VDMA 2011

VDMA (Hrsg.): Was macht den Großanlagenbau robust für die Zukunft? – Risiken managen - Chancen nutzen. Ergebnisse einer Gemeinschaftsstudie von Management Engineers und der VDMA Arbeitsgemeinschaft Großanlagenbau. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA). Stuttgart: 2011.

VDI 2220:1980

Verein Deutscher Ingenieure. VDI 2220: Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation. VDI-Richtlinie. Berlin: Beuth 1980.

VDI 2221:1993

Verein Deutscher Ingenieure. VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Richtlinie. Berlin: Beuth 1993.

VDI 2222 Blatt 1:1997

Verein Deutscher Ingenieure. VDI 2222 BLATT 1: Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. VDI-Richtlinie. Berlin: Beuth 1997.

VDI 2206:2004

Verein Deutscher Ingenieure. VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. VDI-Richtlinie. Berlin: Beuth 2004.

VDI 2223:2004

Verein Deutscher Ingenieure. VDI 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. VDI-Richtlinie. Berlin: Beuth 2004.

VERHO & SALMINEN 1993

Verho, A.; Salminen, V.: Systematic shortening of the product development cycle. In: N.F.M. Roozenburg (Hrsg.): Proceedings of ICED 93. International Conference on Engineering Design, ICED'93. Den Haag [Niederlande], 17.-19.08.1993. Workshop Design Konstruktion (WDK) 1993, S. 596–606. ISBN 3-85693-0272.

VOLKMANN 1996

Volkman, L.: Fundamente der Graphentheorie. Wien [Österreich], New York [NY, USA]: Springer 1996. ISBN 978-3-211-82774-1.

VON REGIUS 2006

von Regius, B.: Qualität in der Produktentwicklung – vom Kundenwunsch bis zum fehlerfreien Produkt. München: Hanser 2006. ISBN 3446221093.

WALTHER 2001

Walther, C.: Systemtechnische Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und Funktionen großer Systeme – Methoden zur Darstellung von Änderungsauswirkungen. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Raumfahrttechnik. München: 2001. (Zugleich München: Utz 2001. ISBN 3-89675-816-0).

WEBER ET AL. 2002

Weber, C.; Werner, H.; Deubel, T.: A Different View on PDM and its Future Potentials. In: D. Marjanović (Hrsg.): Proceedings of the DESIGN 2002, the 7th International Design Conference, Dubrovnik. Dubrovnik [Kroatien], 14.-17.05.2002. Somerset [Schottland]: Design Society 2002. ISBN 953-6313-45-6.

WEBER 2005

Weber, C.: CPM/PDD - An extended theoretical approach to modelling products and product development processes. In: H. Bley, H. Jansen, F.-L Krause und M. Shpitalni (Hrsg.): Proceedings of the 2nd German-Israeli Symposium on Advances in Methods and Systems for Development of Products and Processes. Berlin, 07.-08.07.2005. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag 2005, S. 159–179.

WULF 2002

Wulf, J. E.: Elementarmethodische Konzepte zur Optimierung der Lösungssuche im Team. Dissertation. Technische Universität München. Lehrstuhl für Produktentwicklung. München: 2002. (Zugleich München: Dr. Hut 2002. ISBN 3-934767-77-X).

ZERNIAL 2007

Zernial, P.: Technology Roadmap Deployment – Eine Methodik zur Unterstützung der integrierten strategischen Planung technologischer Innovationen. Dissertation. RWTH Aachen. Fakultät für Wirtschaftswissenschaften. Aachen: 2007.

10. Anhang

Für ein vertiefendes Studium und zur besseren Nachvollziehbarkeit sind im nachfolgenden Anhang detaillierende und ergänzende Informationen zu den Anforderungen, zum Lösungsansatz sowie zum Evaluationsbeispiel und der zugehörigen Expertenstudie zusammengestellt.

10.1 Detaillierungen zu den Anforderungen an den Lösungsansatz

10.1.1 Zuordnung der Anforderungen zu den Handlungsschwerpunkten

Die Anforderungen an den Lösungsansatz M-QFD, welche als Erfolgskriterien zugleich die Grundlage für dessen Evaluation darstellen, wurden systematisch aus den in Kapitel 5.3 konsolidierten Handlungsschwerpunkten abgeleitet und nach 3 Anforderungsklassen kategorisiert. Während die Darstellung im Hauptteil der Arbeit (Tabelle 6-1) lediglich die Zusammenhänge zwischen Anforderungen und Handlungsfeldern darstellt, wird hier der genaue Bezug zu den Handlungsschwerpunkten innerhalb der 4 Handlungsfelder gezeigt. Die Hauptverknüpfungen (primärer Zielbeitrag) finden sich auch in der Struktur des Anforderungs- bzw. Kriterienkatalogs wieder (nachfolgendes Unterkapitel).

Tabelle 10-1: Zusammenhang zwischen Handlungsschwerpunkten und aus diesen abgeleiteten Anforderungen

| | | Anforderungsklassen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|--|-------|----|----|----|----|--------------------------------------|----|----|----|----|----|-------------------------------|----|----|----|----|----|---|---|
| | | Effektivitätsbezogener Nutzen | | | | | | Nutzen derprozessualen Unterstützung | | | | | | Implementierung und Akzeptanz | | | | | | | |
| | | Anforderungen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | | |
| Handlungsfelder | 1 | Systemtechnik / modulzentrierte Perspektive | HS1.1 | ● | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | |
| | | | HS1.2 | ● | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | |
| | | | HS1.3 | ● | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | |
| | | | HS1.4 | | ● | | | ○ | | ○ | | | | | | | ● | | | | |
| | | | HS1.5 | | ● | | | ○ | | ○ | | | | | | | | | | | |
| | 2 | Schwerpunkte und Funktionalitäten der Methodik | HS2.1 | | | ● | ● | | ○ | | ○ | ○ | ○ | | | | | | | ○ | |
| | | | HS2.2 | | | ● | ● | ● | | | ○ | | ○ | | | | | | | | |
| | | | HS2.3 | | | ○ | ○ | ○ | | | ○ | | | | | | | | | | |
| | | | HS2.4 | | | | | ● | ○ | | ● | ○ | ● | | | | | | | | |
| | | | HS2.5 | | | ○ | | ● | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | | | | | | | |
| | | | HS2.6 | | | | | ● | ● | | ○ | ○ | ● | | | | | | | | |
| | 3 | Prozessuale Unterstützung | HS3.1 | ○ | ● | | | ○ | | ○ | ● | ● | ● | ○ | ● | | | | ○ | ● | ○ |
| | | | HS3.2 | | | | | ○ | ● | ○ | ● | ● | ● | | | | | | | | |
| | | | HS3.3 | | | | | | ● | ○ | | ● | ○ | | | | | | | | |
| | | | HS3.4 | ○ | ○ | | ○ | | ○ | ● | | | | ○ | | | | ● | ● | | |
| | | | HS3.5 | | | | | | | ○ | | | | ● | | | | | | | |
| | 4 | Anwendungs- und Implementierungserfolg | HS4.1 | | | | | | | | | | | ● | ● | | ● | | | ○ | |
| | | | HS4.2 | | ○ | | | | | | | | | ○ | ● | ● | | | | | |
| | | | HS4.3 | | | | | | | | | | | ○ | ○ | ○ | ● | ● | | ○ | |
| | | | HS4.4 | | | | | | | | | | | ○ | ○ | ○ | | ○ | | ● | |

- Primärer Zielbeitrag einer Anforderung zu einem Handlungsfeld
- Sekundärer Zielbeitrag einer Anforderung zu einem Handlungsfeld

10.1.2 Detaillierungen und Erläuterungen zu den Anforderungen /Erfolgskriterien

Die nachfolgenden Tabellen repräsentieren die vollständige Fassung des Anforderungs- bzw. Kriterienkatalogs, welcher die Basis zur Entwicklung des Lösungsansatzes sowie für dessen Evaluation darstellt. Diese Fassung enthält – zusätzlich zu der in Kapitel 6.1 vorgestellten komprimierten Fassung – detaillierende Erläuterungen und Untieranforderungen. Diese ergänzenden Informationen standen ebenfalls den Experten der Evaluationsstudie zur Verfügung, um ein möglichst homogenes Verständnisbild der Kriterien und der Lösungsaspekte, auf die sie abzielen, zu gewährleisten und Interpretationsunterschiede zu minimieren.

Tabelle 10-2: Anforderungen / Erfolgskriterien der Klasse A „Effektivitätsbezogener Nutzen“

| | | |
|--|---|--|
| Anforderung / Erfolgskriterium A1 | Explizite Berücksichtigung der systemtechnischen Rolle des fokalen Moduls (strukturell und wirkungsbezogen) bei der Ausrichtung des Vorgehens (M-QFD) sowie des Aufbaus des zentralen Metamodells (M-HoQ) | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS1.1 HS1.2 HS1.3 |
| Detaillierung / Erläuterung | Vollwertige Unterstützung einer <u>adäquaten Übersystembetrachtung</u> durch die explizite modulzentrierte Perspektive. | |
| | <u>Multiplizität der Übersystembetrachtung</u> : Ermöglichung der Repräsentation mehrerer relevanter Übersysteme, in die das Modul potenziell eingebettet sein wird zur Differenzierung deren Beeinflussung. | |
| | Ermöglichung der Repräsentation der Eigenschaften der ausgewählten Gesamtsysteme auf <u>verschiedenen relevanten, dem Modul übergeordneten Hierarchieebenen</u> (Berücksichtigung überlagerter Strukturen unterschiedlicher Beziehungsdimensionen in der Übersystembetrachtung (vgl. Abbildung 3-4)). | |
| | Umsetzung der Übersystembetrachtung in Form eines " <u>Projektionsraums</u> ", in welchen das betrachtete Modul gedanklich eingebettet wird. Dieser entspricht einem strategisch definierten Ausschnitt der theoretisch existierenden Gesamtsystemmenge. | |
| | Dimensionsspezifische Skalierbarkeit des Projektionsraums nach Problemkomplexität und Ressourcenverfügbarkeit. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium A2 | Verankerung eines ganzheitlichen Problemverständnisses, das die spezifische Entwicklerperspektive bei der Modulentwicklung berücksichtigt und integriert | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS1.4 HS1.5 HS3.1 |
| Detaillierung / Erläuterung | Differenzierung von Gestaltungs- und Wirkungsbereich festzulegender Eigenschaften als essenzielle Gliederungsdimension der das Entwicklungsproblem und den Entwicklungsprozess strukturierenden Matrixsysteme. Dadurch Verhinderung subjektiv angenommener Wirkungsbereiche einzelner Entwickler. | |
| | An die modulzentrierte Perspektive adaptierte, klare Definition der QFD-Domänen: <ul style="list-style-type: none"> • Anstelle reinen Kundenbezugs, Auffassung der Eigenschaften der "WAS"-Bereiche der Matrixsysteme als "technische, systemzweckbezogene" Verhaltenseigenschaften unterschiedlicher systemhierarchischer Ebenen mit Verhaltensbezug. • Klare Orientierung an bestehenden Eigenschaftssystematiken. • Darstellbarkeit der Konformität zu den Eigenschaftsinteressen unterschiedlicher Stakeholder. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium A3 | Der modulzentrierten Perspektive folgende Schwerpunktlegung bezüglich der präventiv-qualitätsorientierten Risikominimierung kostenintensiver Fehlplanungen und -entwicklungen. | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS2.1 HS2.2 |
| Detaillierung / Erläuterung | Fokus der Werkzeugunterstützung auf <u>Transparenzschaffung und Übersicht</u> , anstelle der selektiven, Logik suggerierenden Schwerpunktleitung im traditionellen QFD. | |
| | <u>Adäquate Berücksichtigung von Basis- und Leistungseigenschaften</u> sowie von <u>ungewollten und schädlichen Eigenschaften</u> . | |
| | Differenzierbarkeit zwischen modul- und systembezogenen Effekten und Risiken. | |
| | Ausnutzung der durch den Fokus und die Maßnahmen der Transparenzschaffung entstehenden <u>zusätzlichen Potenziale</u> gegenüber dem traditionellen QFD. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium A4 | Flexibilität der Methodik bezüglich möglicher Stakeholderstrategien | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS2.1 HS2.2 |
| Detaillierung / Erläuterung | Strategiespezifische Ausgestaltung der Stakeholder-Domäne im Matrixsystem auf Basis der Differenzierbarkeit relevanter Stakeholder-Perspektiven, insbesondere <ul style="list-style-type: none"> • Differenzierung von Stakeholderklassen und / oder von Stakeholdern einer Klasse. • Keine numerische Konsolidierung von Stakeholdergewichtungen. | |
| | <u>Prozessuale Unterstützung</u> bei der Ausgestaltung der Stakeholder-Domäne. | |
| | <u>Unabhängigkeit</u> lösungsbezogener und subjektiver Domänen und Zielkonflikte. | |

| | | |
|--|--|---|
| Anforderung / Erfolgskriterium A5 | Der modulzentrierten Perspektive folgende Schwerpunktlegung bezüglich der frühen Identifizierbarkeit und Charakterisierbarkeit von Zielkonflikten. | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten HS2.2 HS2.5 |
| Detaillierung / Erläuterung | Charakterisierung kontextrelevanter <u>Ausprägungen und Ursachen von Zielkonflikten</u> , unter anderem durch stärkere Differenzierung technischer und wahrnehmungsbedingter Zielkonflikte sowie deren Integration in die Lösungsbewertung und Entscheidungsunterstützung. | |
| | Explizite Berücksichtigung der Konfliktinformationen für eine ganzheitlichere Abschätzung der <u>Umsetzungsschwierigkeit</u> angestrebter Ausprägungen. | |
| | Umsetzung der Transparenzprämisse durch Fokus auf die <u>Darstellung aller relevanten Abhängigkeiten</u> zur Diskussionsunterstützung und Vermeidung der logischen Entscheidungsableitung aus absolut berechneten Werten, die auf hinsichtlich ihrer Konsequenzen nicht beherrschter Annahmen beruhen. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium A6 | Identifikationsmöglichkeit und Differenzierbarkeit unterschiedlicher Arten von / Ursachen für Eigenschaftsübererfüllung (Overengineering) | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten HS2.3 HS2.4 HS2.6 |
| Detaillierung / Erläuterung | Charakterisierung <u>kontextrelevanter Ausprägungen</u> und Ursachen von Eigenschaftsübererfüllung. | |
| | Berücksichtigung der <u>Multiplizität der Übersystemperspektive</u> . | |
| | Nutzbarkeit der Unterstützungswerkzeuge zur <u>Ermittlung von Übererfüllungstypen</u> . | |
| | Nutzbarkeit der Unterstützungswerkzeuge zur <u>Ableitung zielgerichteter Maßnahmen</u> im Sinne einer <u>korrigierenden Syntheseunterstützung</u> (z.B. Lockerung lösungsinduzierter Restriktionen für die Umsetzung anderer Eigenschaften). | |

Tabelle 10-3: Anforderungen / Erfolgskriterien der Klasse B „Nutzen der prozessualen Unterstützung“

| | | |
|--|---|---|
| Anforderung / Erfolgskriterium B1 | Durchgängigkeit und Flexibilität bezüglich verschiedener prozessphasenbezogener Unterstützungsziele und -schwerpunkte innerhalb eines Projekts | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten HS2.6 HS3.2 HS3.3 |
| Detaillierung / Erläuterung | <u>Kontinuierlich vervollständigte, erweiterte und verfeinerte</u> Abhängigkeitsrepräsentation und -dokumentation, die zu <u>verschiedenen Zeitpunkten, Zwecken und Reifegraden</u> innerhalb eines Prozesses die Situationsbewertung und die Entscheidungsfindung hinsichtlich auszulösender Maßnahmen sowie im absichernden Sinn unterstützt, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • <u>Initiale Analyse</u> einer existierenden Lösung / eines generierten Konzepts für die Schwachstellensuche (strukturierte Dokumentation abgeschlossener Projekte kann auszubauende Ausgangsbasis für Folgeprojekte sein). • <u>Bewertung</u> zu verschiedenen Zeitpunkten / Reifegraden. • <u>Ableitung von (alternativen) Verbesserungsmöglichkeiten</u> und deren Bewertung unter Berücksichtigung von Realisierungskonsequenzen (Gegenüberstellung identifizierter Potenziale und Schwachstellen als Ausgangspunkte korrigierender Synthese) • Schaffung von <u>Übersichtlichkeit und Gesamttransparenz</u> zur <u>kontinuierlichen, ganzheitlichen Situationsbewertung</u>. • <u>Dokumentierte</u> Nachvollziehbarkeit von Entscheidungsvorschlägen und deren <u>Begründungen</u>. | |
| | Projektabhängige Relevanz zeitpunkt- und zweckbezogener Unterstützungsbedarfe durch: <ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung der Vorgabe eines starren, auf bestimmte Unterstützungszwecke fixierten Vorgehens. • Flexibilität hinsichtlich Bewertungslogik und Interpretation (Aspekte, Lösungs- & Kontextvarietät, Schwerpunkte, unternehmenspolitische Faktoren). | |
| | Flexible Ausrichtung an möglichen Konstellationen aus Untersuchungs- / Modellierungsobjekt, Untersuchungsinteresse und Vorgehensschwerpunkten. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium B2 | Gleichzeitige Unterstützung eines gemeinsamen Problemverständnisses und der Orientierung einzelner Entwicklungsbeteiligter bzgl. ihrer individuellen Gestaltungs- und Einflussbereiche | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten HS3.1 HS3.4 |
| Detaillierung / Erläuterung | Erarbeiten der modulzentrierten Perspektive als <u>initialer Bestandteil der Problemanalyse</u> . | |
| | Explizite Berücksichtigung der Auswirkungen von den Projektionsraum betreffenden Entscheidungen (Varietät und Detaillierungsgrad der Dimensionen der Übersystembetrachtung) auf Ergebnisqualität sowie Projektkomplexität & -aufwand. | |
| | Verbindlichkeit zwischen allen Projektbeteiligten bezüglich der <u>gemeinsam genutzten Modellbasis</u> . | |
| | Definition der Rolle eines Verantwortlichen bezüglich der <u>Hoheit über das Mastermodell</u> sowie der permanenten Sicherstellung des grundsätzlichen, diesbezüglichen Konsens. | |

| | | |
|--|--|---|
| Anforderung / Erfolgskriterium B3 | Erleichterung der Konsensfindung und Kommunikation innerhalb des operativen Planungsteams (prozessbegleitende Unterstützung) | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS2.4 HS3.1 HS3.2 |
| Detailierung / Erläuterung | Erhöhung der <u>Qualität von Entscheidungsergebnissen</u> sowie der Entscheidungseffizienz durch kontinuierliche Sicherstellung des <u>abgestimmten Problemverständnisses</u> (vgl. [B1]) als gemeinsame Diskussions- / Argumentationsgrundlage. | |
| | Individuelle Meinungsbildung und Reflexionsmöglichkeiten eigener Entscheidungsvorschläge im Gesamtkontext dargestellter Abhängigkeiten. | |
| | Hinterlegung von <u>Verantwortlichkeiten</u> (z. B. bezüglich Bauteilen, Eigenschaften) zur schnellen Ableitung von Kommunikationsschnittstellen auf Basis potenziell durch selbst verantwortete Eigenschaften beeinflusste Eigenschaften. | |
| | Transparenz durch Möglichkeit der Abbildung von <u>Zusatzinformationen</u> hinsichtlich Vollständigkeit, Genauigkeit oder (Un)Sicherheit von Abhängigkeiten und Bewertungen. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium B4 | Unterstützung von Entscheidungssituationen im Rahmen von Meilensteinen hinsichtlich erhöhter Entscheidungsqualität (z. B. Ablaufstrukturierung Design-Reviews) | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS3.1 HS3.3 |
| Detailierung / Erläuterung | Aufbereitungs- & Aggregationsmöglichkeit <u>entscheidungskritischer Aspekte</u> , um diese für diskrete <u>Bewertungen</u> sowie für die Diskussion alternativer <u>Handlungsmöglichkeiten</u> auf Basis leicht ersichtlicher Konsequenzen (Sensitivitäten) heranzuziehen. | |
| | Nutzung dieser herausgearbeiteten Aspekte zur <u>systematischen Abarbeitung</u> von Entscheidungspunkten in Review-Sitzungen. | |
| | Nutzung des Arbeitsmodells zur <u>Entscheidungsableitung</u> und Begründungsdokumentation zur Erhöhung von Entscheidungstransparenz und -verbindlichkeit. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium B5 | Befähigung und Anregung der systematischen Identifikation und durchgängigen Untersuchung von Handlungsoptionen | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS2.4 HS2.6 HS3.2 |
| Detailierung / Erläuterung | Ergänzung der statischen Abhängigkeiten zwischen den Eigenschaften (Grundvernetzung) um <u>qualitative Sensitivitäten</u> in Folge von Ausprägungsabweichungen der Eingangsgröße im Umgebungsbereich deren Festlegungsbereich (ausgehend vom aktuellen Entwicklungsstand). | |
| | Prozessuale <u>Verankerung</u> der Ergänzung von Ausprägungsfestlegungen um die Abfrage genannter Sensitivitäten. Dadurch permanente Integration der Abwägung positiver und negativer Effekte möglicher Entscheidungen. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium B6 | Einsetzbarkeit der unterstützenden Methodik unabhängig vom Eintrittsstadium in das konkrete Planungsprojekt (z. B. Problemdefinition, konkrete Konzeptideen) | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS3.1 HS3.2 HS3.5 |
| Detailierung / Erläuterung | Anstelle einer Vorgehensstandardisierung klare Definition der problemübergreifend <u>zu erreichenden Modellstadien</u> (die wiederum problemspezifisch auszugestalten ist). Nebeneffekt: Vertrautheit mit Überlegungen, Möglichkeiten und Mechanismen zum Erreichen und nach Erreichung dieses Stadiums. | |
| | Eintrittsstadiumspezifische Anpassung der initialen Schritte zur Generierung der Modellierungsgrundlage auf Basis der erforderlichen Abhängigkeiten im Kontext des zu definierenden Projektionsraums (Übersystembetrachtung). | |

Tabelle 10-4: Anforderungen / Erfolgskriterien der Klasse C „Implementierung und Akzeptanz“

| | | |
|--|---|---|
| Anforderung / Erfolgskriterium C1 | Sicherstellung einer hohen Anwendungseffizienz (der projektspezifische Anwendungsaufwand der Methodik muss gegenüber ihrem erwartbaren Nutzen angemessen sein) | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS4.1 |
| Detailierung / Erläuterung | <u>Reduktionsmechanismen</u> zur modellierungsbegleitenden Filterung unnötiger und redundanter Informationsbereiche, sowohl bei der initialen Definition des Projektionsraums, als auch bei der Aufnahme von Elementen und Abhängigkeiten. | |
| | Ausnutzen der Möglichkeiten, den Projektionsraum hinsichtlich einer größtmöglichen Effizienz auszulegen. | |
| | Ausschluss eines Anwendungszwangs im Falle niedrigkomplexer Problemstellungen. Initiale Abfrage zu Projektbeginn, ob gegebene Problemkomplexität den Einsatz der Methodik über den erwartbaren Effektivitätsgewinn rechtfertigt. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium C2 | Sicherstellung einer hohen Informationseffizienz | <i>Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten</i> HS4.1 HS4.2 |
| Detailierung / Erläuterung | Ausnutzen einfach akquirierbarer Informationen / intern verfügbaren Expertenwissens. | |
| | Im Rahmen der Reflexionen bezüglich Externalisierung und Systematisierung der Informationen, Betrachtung der Nutzbarkeit auch für andere Zwecke. | |
| | Aufbau und kontinuierliche Überführung in und Konsolidierung von <u>Checklisten</u> hinsichtlich berücksichtigter Eigenschaften zur Effizienzsteigerung bei der zukünftigen Informationsakquise sowie zur Risikominimierung, wichtige Aspekte zu vergessen. | |

| | | |
|---|--|---|
| Anforderung / Erfolgskriterium C3 | Sicherstellung einer hohen projektübergreifenden, langfristigen Effizienz | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten HS1.4 HS4.2 |
| Det./Erl. | Ermöglichung der <u>Wiederverwendbarkeit</u> von Teilergebnissen auf Basis der Trennung von Gestaltungs- und Wirkbereich (vgl. [A2]). Ausnutzen von <u>Lerneffekten</u> . | |
| Anforderung / Erfolgskriterium C4 | Nutzengerechter Schwierigkeitsgrad der Methodikanwendung (Annahme: geschulter Nutzer, Methodik im Unternehmen etabliert) | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten HS3.4 HS4.1 HS4.3 |
| Det./Erl. | Trotz anzustrebender intuitiver Erfassbarkeit der Methodik und ihrer unterstützenden Werkzeuge, <u>prozessuale Unterstützung</u> für alle wesentlichen Schritte. Überführbarkeit in eine rechnerunterstützte Methodik (Prozessenkung, Verantwortungsbereiche, Schnittstellen, Reifegrade, Widersprüche, Checklistenbezug, ...) | |
| Anforderung / Erfolgskriterium C5 | Nutzengerechte Verständlichkeit der Methodik (Lern- / Schulungsaufwand) | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten HS3.1 HS3.4 HS4.3 |
| Det./Erl. | Übergreifender Nutzen und Nutzen im Zusammenhang mit den unterschiedlichen operationalen (ggf. rollenspezifischen) Zielen muss klar ersichtlich sein, um Motivation zur Kompetenzbildung zu gewährleisten. Klares <u>Zuordnungsverständnis</u> zwischen möglichen operationalen Zielen und nutzbaren Anwendungsschwerpunkten. Möglichst umfangreiche <u>Beibehaltung bewährter und vertrauter Prinzipien</u> der bekannten Basis-Methodik QFD. Eindeutigkeit bezüglich der Modellfunktionen (lesen, befüllen, etc.) und bestehender Interpretations- & Nutzungsmöglichkeiten. | |
| Anforderung / Erfolgskriterium C6 | Hohe Kompatibilität der Methodik mit bestehenden Methoden und Prozessen | Primärer angestrebter Zielbeitrag zu den Handlungsschwerpunkten HS4.4 |
| Det./Erl. | Kein Eingriff in die <u>eigentlichen Prozesse und Modelle der Lösungsgenerierung</u> . Diese stellen nach wie vor das Fundament für abzuleitende, zusammenzuführende Informationen und Abhängigkeiten dar. Unterstützung der Etablierung einer modulzentrierten "Denkweise / Philosophie" über ein ergänzendes, <u>transparenzschaffendes Werkzeug</u> . | |

10.2 Berechnungen der Metriken im Aggregationsbereich des M-HoQ

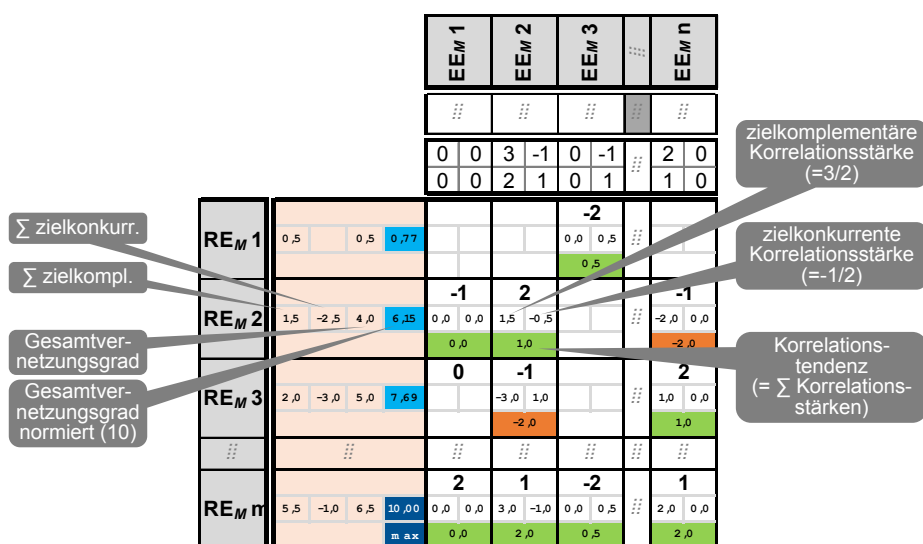


Abbildung 10-1: Berechnungen der Metriken im M-HoQ-Aggregationsbereich (vgl. Beispiel aus Abbildung 6-8)

10.3 Detaillierungen zur analyseorientierten Unterstützung durch den Lösungsansatz

Dieser Abschnitt enthält erläuternde Detaillierungen und ergänzende, spezifische Nutzungsmöglichkeiten der in Kapitel 6.4.4 differenzierten Gesichtspunkte der analyseorientierten Nutzung des M-HoQ (vgl. Abbildung 6-15).²⁷⁴ Anhand von Beispielen wird dabei jeweils auf folgende Aspekte eingegangen:

- (A) den exemplarischen Analyse- bzw. Bewertungsaspekt (die Situation)
- (B) vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen
- (C) die verwendbaren Aggregationsmetriken, Algorithmen und Heuristiken
- (D) sowie die Entscheidungsmöglichkeit bzw. -relevanz

Aufgrund der Nicht-Orthogonalität der Gesichtspunkte beleuchten diese teilweise gleiche oder ähnliche Situationen aus unterschiedlichen Blickwinkeln und sind daher nicht überschneidungsfrei. Dies ist durch Querbezüge (jeweils rechts in den Übersichtstabellen) dargestellt, wobei diese exemplarisch zu sehen sind und hier kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird.

| Gesichtspunkt I: Ausbaustufen und Reife des Modells | | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
|---|--|--|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | Analyse basierend auf Grundvernetzung | | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 2: | Analyse basierend auf Ausbaustufe Variationssensitivitäten | | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| Ausprägungsstufe 3: | Nutzung nach Modellfinalisierung | | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| Ausprägungsstufe 4: | projektübergreifende Nutzung | | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | | | Querbezüge zu anderen GP | | | |
|----------------|--|---|--------------------------|--------------|----------------|----------------------|
| Beispiel 1 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | <ul style="list-style-type: none"> > Bewertung der Konsistenz definierter Zielgrößen. > Identifikation umsetzbarkeitsbezogener Zielkonflikte. | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | <ul style="list-style-type: none"> > Gebündelte Betrachtung von Eigenschaften zwischen denen starke Abhängigkeiten vorhanden sind zur Ableitung genauere Einschätzungen, ob die im Vgl. zum Referenzmodul (Vorgänger/ Wettbewerb) geänderten Zielwerte hinsichtlich ihrer Kompatibilität realistisch sind. > Die Gegenüberstellung freigesetzter und gebundener Freiheitsgrade (im Vergleich zur Referenzlösung) ist ein wichtiger Anhaltspunkt für eine solche Einschätzung. | | II-2 II-3 | III-1 | IV-1 IV-3 IV-4 |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | <ul style="list-style-type: none"> > Konzentration auf konfliktäre Eigenschaften, welche eine starke Gewichtungsdifferenz sowie unterschiedliche Ziel-SH aufweisen. > Identifikation von Eigenschaftsbündeln bei Bedarf unterstützbar durch Clusteralgorithmen. | | | | |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | <ul style="list-style-type: none"> > Entscheidung bzgl. Auflösungsmaßnahmen von Zielkonflikten (zu bevorzugende Kompromissrichtungen; Suche alternativer Eigenschaften zur Zielerfüllung, etc.). | | | | |
| Beispiel 2 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | <ul style="list-style-type: none"> > Bewusstmachung der Konsequenzen des definierten Projektionsraums. | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | <ul style="list-style-type: none"> > Analyse der Effekte durch Varietät der GS sowie der SH-bezogenen Gewichtungen. > Gibt es Ausreißer innerhalb der BA, welche die gemeinschaftliche Erfüllung deutlich erschweren, bzw. einen wahrscheinlichen Treiber von Ineffektivitäten darstellen? | | II-1 II-2 | III-1 III-2 | IV-1 IV-2 |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | <ul style="list-style-type: none"> > Bestandsaufnahme unter Betrachtung sowohl der SH- und GS-bezogenen Aggregationsmetriken, als auch durch gefilterte Betrachtung einzelner Stellvertreter. | | | | |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | <ul style="list-style-type: none"> > Dokumentation der Begründung der Bestätigung des Projektionsraums. > Bewertung der Notwendigkeit der Anpassung des Projektionsraums bzw. der Rechtfertigung möglicher Variantenbildung auf Modulebene. | | | | |
| Bsp. 3 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | <ul style="list-style-type: none"> > Setzen von Entwicklungsschwerpunkten (hier nicht detailliert --> GP III-1). | | | III-1 | |
| ... | ... | ... | | | | |

²⁷⁴ Wie in Kapitel 6.4.4 begründet ist GP II von der Aufbereitung in Form diskreter Beispiele ausgenommen.

| Gesichtspunkt I: Ausbaustufen und Reife des Modells | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
|---|---|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | Analyse basierend auf Grundvernetzung | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 2: | Analyse basierend auf Ausbaustufe Variationssensitivitäten | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| Ausprägungsstufe 3: | Nutzung nach Modellfinalisierung | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| Ausprägungsstufe 4: | projektübergreifende Nutzung | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | | Querbezüge zu anderen GP | | | |
|---|--|--------------------------|--|--|--|
| Beispiel 1 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | | | | |
| D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | | | | | |

| Nutzungsaspekt | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
|--|--|------|-------|----------------|--------------|
| A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | > Sensitivitätsgestützte Schärfung der GS- und MG-bezogenen Differenzierung der Eigenschaftswirkungen im Wirkbereich. | | | | |
| B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | > Ausgehend von einem vorliegenden Lösungsstadium (Ausprägungen) wird für jede Eigenschaft der Effekt einer Ausprägungsänderung in und entgegen der Vorzugsrichtung auf seine E_{Senke} systematisch abgefragt. Neben dem prinzipiellen Informationsdichtezuwachs der modellierten Relationen können zahlreiche für die modulzentrierte Perspektive wichtige BA- und MG-bezogenen Beitragsvarianzen erst durch dieses Abfragevorgehen ermittelt werden. | | | | |
| C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | <p>> Im Beispiel ist gezeigt, dass die generelle Bewertung des Einflusses der Masse eines bewegten Krans (EE_{M^X}) auf die Geschwindigkeit der Prozesse (ES_{G^Y}), an dem der Kran partizipiert, im Zuge der Grundvernetzung zunächst generell – und damit für sämtliche MG und GS des Projektionsraums – als "negativ" eingestuft ist.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Die Frage des Effektes einer Massereduktion ausgehend vom momentanen Lösungsstand hingegen führt zu zwei weiteren wichtigen abgebildeten Differenzierungserkenntnissen:</p> <ul style="list-style-type: none"> >> MG_a ist in RA und BA2 gleich realisiert, und die überprüfte Eigenschaftsvariation daher in beiden Fällen wirksam, wodurch eine spezifische Ausweisung für BA2 nicht nötig ist. >> MG_b hingegen ist in den unterschiedenen BA des Projektionsraums unterschiedlich realisiert. Eine weitere Massereduktion würde nur in der RA (Referenzarchitektur) zu einer steigenden Prozessgeschwindigkeit führen, während MG_b in BA2 so realisiert ist, dass ein außerhalb des betrachteten Moduls (und damit des Gestaltungsraums) liegender Prozessengpass eine Massereduktion unwirksam werden ließe. | | II-3 | III-2 III-3 | IV-1 IV-4 |
| D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | > Die MG- und GS-differenzierende Abbildung von Variationssensitivitäten ist Voraussetzung für die Identifikation und Charakterisierung ineffektiver Beitragsanteile. | | | | |

| | | | | | |
|---------------|---|---|--|-------|--|
| Bsp. 2 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | > Analyse ineffektiver Beitragsanteile (hier nicht detailliert --> GP III-2). | | III-2 | |
| | ... | > ... | | | |

| Gesichtspunkt I: Ausbaustufen und Reife des Modells | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
|---|---|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | Analyse basierend auf Grundvernetzung | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 2: | Analyse basierend auf Ausbaustufe Variations sensitivitäten | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| Ausprägungsstufe 3: | Nutzung nach Modellfinalisierung | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| Ausprägungsstufe 4: | projektübergreifende Nutzung | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | | Querbezüge zu anderen GP | | | |
|----------------|---|--------------------------|------|-------|--------------|
| Beispiel 1 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | | II-2 | III-2 | IV-1 IV-2 |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | | | | |
| Beispiel 2 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | | I-4 | | IV-3 |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | | | | |

| Gesichtspunkt I: Ausbaustufen und Reife des Modells | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
|---|--|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | Analyse basierend auf Grundvernetzung | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 2: | Analyse basierend auf Ausbaustufe Variationssensitivitäten | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| Ausprägungsstufe 3: | Nutzung nach Modellfinalisierung | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| Ausprägungsstufe 4: | projektübergreifende Nutzung | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | | Querbezüge zu anderen GP | | | |
|----------------|---|--------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
| Beispiel 1 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | | II-1 II-3 II-4 | III-2 III-3 | IV-2 IV-3 IV-4 |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | | | | |
| Beispiel 2 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | | II-1 II-3 | III-1 III-2 III-3 | IV-2 IV-3 IV-4 |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | | | | |
| Beispiel 3 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | | | | IV-2 IV-4 |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | | | | |

Gesichtspunkt III: Konkretisierungsgrad und Herkunft analysetriebender Ziele

| | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Ausprägungsstufe 1: | explizit definierte Ziele |
| Ausprägungsstufe 2: | chancen- und risikenorientierte Ziele |
| Ausprägungsstufe 3: | erkenntnisgetriebene Analyseziele |

| GP I | GP II | GP III | GP IV |
|------|-------|--------|-------|
| I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | | |
|----------------|----------|--|
| Beispiel 1 | A | exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) |
| | B | vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen |
| | C | Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung |
| | D | Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz |

| Querbezüge zu anderen GP | | | |
|--------------------------|--------------|---------|--------------|
| GP I | GP II | GP III | GP IV |
| | | | |
| | | | |
| I-1 | II-1 II-2 | (III-2) | IV-1 IV-2 |
| | | | |

- > Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten aus initial definierten Zielen.
- > Umsetzbarkeitsorientierte Absicherung und ggf. Kompromissbildung bzgl. des Zielgefüges.
- > Qualitätsorientierte Konkretisierung des Eigenschaftsgefüges.
- > Auf Grundlage des (losgelöst oder bereits in Form konkreter Ideen oder Konzepte) in den Prozess eingebrachten Zielgefüges liegt der Analysefokus zu Beginn auf der Formulierung von Entwicklungsschwerpunkten basierend auf der technischen und abhängigkeitsbedingten Umsetzungsschwierigkeit.
- > Anstelle bedingungsloser Umsetzung sind die initialen Ziele im Zuge der Lösungskonkretisierung und der Transparenzunahme Gegenstand ständiger Bewertung und ggf. Anpassung zugunsten eines im Lichte der ermöglichten Zusatzkenntnisse und Rückschlüsse stimmiger erscheinenden Gesamtgefüges.
- > Zur Bewertung der technischen Umsetzungsschwierigkeit können beispielsweise Technologiereifegrade (Technology Readiness Level) herangezogen werden, wohingegen die EK_{im} -Metriken die Bewertung der abhängigkeitsbedingten Schwierigkeit unterstützen können.
- > Niedrige und homogen verteilte BA-abhängige Beitragsvarianzen sind ein Indikator eines im Kontext des definierten Projektionsraums ausgewogenen Eigenschaftsgefüges; der Umkehrschluss gilt jedoch nicht, da aufgrund nicht zu reduzierender Komplexität evtl. keine Lösung möglich ist, die die Zielerfüllung in den definierten GS bei geringerer partieller Übererfüllung ermöglicht.
- > Ressourcenrelevanz.
- > Änderungsentscheidungen.

Gesichtspunkt III: Konkretisierungsgrad und Herkunft analysetreibender Ziele

| | |
|---------------------|--|
| Ausprägungsstufe 1: | explizit definierte Ziele |
| Ausprägungsstufe 2: | chancen- und risikenorientierte Ziele |
| Ausprägungsstufe 3: | erkenntnisgetriebene Analyseziele |

| GP I | GP II | GP III | GP IV |
|------|-------|--------|-------|
| I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | |
|----------------|---|
| Beispiel 1 | <p>A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation)</p> <p>> Auf die Identifikation und Charakterisierung ineffektiver Beitragsanteile gerichtete Analyse:</p> <p>>> Bei der Blindwirkung ist eine weitere Steigerung der E_{Quelle} zwar anhand konkret messbarer Parameterwerte nachweisbar (z. B. Ausführungsgeschwindigkeit einer Funktion), schlägt sich aber nicht in einem messbaren Nutzen nieder (z. B. da interagierende Module als Engpass fungieren, und die Leistungssteigerung des betrachteten Moduls in Wartezeiten „verpufft“).</p> <p>>> Im Gegensatz zu (Über-)sättigung kann Blindwirkung wirksam werden, wenn korrelierende Eigenschaften verbessert werden.</p> <p>>> Vgl. auch Abb. 6-10, Bsp. rechts.</p> <p>>> (Über-)sättigung zeichnet sich durch die parallele „Verbesserung“ mehrerer E_{Quelle} aus, die auf die selbe E_{Senke} abzielen. Unzureichende Transparenz und Abstimmung kann dazu führen, dass bzgl. letzterer ein Wert im Bereich des realistischen Maximums längst erreicht ist, und Verbesserungsmaßnahmen keinen Effekt mehr haben, da der Wert auch theoretisch nicht mehr zu steigern ist.</p> <p>>> Im Falle von (Über-)sättigung kann der relative Wirksamkeitsbeitrag einzelner E_{Quelle} erhöht werden, wenn korrelierende E_{Quelle} bewusst degeneriert werden, woraus ein effizienteres Eigenschaftsgefüge resultieren kann.</p> |
| | <p>B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen</p> <p>> Zur Ableitung von Lösungsstrategien sind verschiedene Fragen erforderlich:</p> <p>>> Ist der Schwellwert, ab dem weitere Verbesserungen von E_{Quelle} nicht mehr wirksam sind, gerade erreicht oder nur geringfügig unterschritten, ist dies ein Zeichen für eine "gute" Lösung. Es besteht kein Handlungsbedarf, die Teillösung kann als abgesichert im Sinne der Qualitätsplanung gelten.</p> <p>>> Ist der Schwellwert deutlich überschritten (dies ist der Fall, wenn eine E_{Quelle}-Änderung entgegen ihrer Vorzugsrichtung keine "Verschlechterung" der E_{Senke} zur Folge hat), muss die Art der Ineffektivität bestimmt werden (Übersättigung oder Blindwirkung).</p> <p>>> Darüber hinaus ist zu klären, ob es sich um eine lokale oder globale Ineffektivität handelt (Lokalität kann sich dabei z. B. auf einzelne Modulgruppen oder BA-abhängige Beitragsvarianzen beziehen).</p> <p>>> Entscheidend für die in Entscheidungsgremien einzubringenden Maßnahmenempfehlungen ist die Frage, ob identifizierte Stellhebel innerhalb oder außerhalb des Gestaltungsbereichs des Modulentwicklungsprojekts liegen.</p> |
| | <p>C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung</p> <p>> Indikator für eine solche Situation und Ausgangspunkt einer systematischen Untersuchung sind Matrix-Zeilen, in denen nahezu alle ermittelten Variationssensitivitäten aussagen, dass ihre weitere "Verbesserung" keine Verbesserung der durch die Zeile repräsentierte Eigenschaften zur Folge hat.</p> |
| | <p>D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz</p> <p>> Der Analyseaspekt zielt auf Hinterfragen und ggf. Modifizieren gesetzter Ziele zur Vermeidung von Ineffektivitäten durch deren Umsetzung. Obschon die Bedeutung dieser Aspekte während des Entwicklungsprozesses weniger offensichtlich ist als im Falle der Umsetzung expliziter Ziele, stellen sie einen essenziellen Hebel zur Kosteneinsparung und zur Lockerung von Randbedingungen anderer Eigenschaften dar.</p> <p>> Exemplarische, zu überprüfende Maßnahmen (Stellhebel innerhalb des Gestaltungsbereichs):</p> <p>>> Im Falle von Übersättigung: Lockerung der E_{Quelle}, welche die meisten Kosteneinsparungen erzielt oder welche die Umsetzung anderer Eigenschaften essenziell erschwert.</p> <p>>> Im Falle Blindwirkung: Bewertung von Aufwand und Schwierigkeit, die wirkungsbehindernde Eigenschaften zu verbessern. Falls nicht (wirtschaftlich) sinnvoll, nicht wirkenden Anteil durch Ausprägungsanpassung eliminieren (Kosteneinsparung).</p> <p>>> In beiden Fällen sollte das potenzielle Vorliegen einer stufenweisen Wirksamkeit berücksichtigt werden. So kann es auch sinnvoll sein, einen Ausprägungswert anzustreben, bei dem gerade volle Wirksamkeit innerhalb einer bestimmten BA erreicht ist, innerhalb einer anderen, ggf. seltener vorkommenden, jedoch sogar bewusst Wirksamkeitseinbußen in Kauf genommen werden.</p> |

| Querbezüge zu anderen GP | | | |
|--------------------------|------|--|------|
| | | | |
| I-2 | II-2 | | IV-3 |
| I-4 | II-3 | | IV-4 |

| | | | | | | | |
|------------|---|---|---|-----|--------------|--|--------------|
| Beispiel 1 | D | Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | > Exemplarische Maßnahmen außerhalb des laufenden Modulentwicklungsprojekts: Im Falle der Wirksamkeitsbehinderung einer Eigenschaften des zu entwickelnden Moduls, welche durch Eigenschaften außerhalb des Gestaltungsbereichs verursacht werden, können produktstrategisch motivierte Anregungen an die Systementwicklung und/oder die verantwortenden Bereiche angrenzender Module weitergegeben werden. Bei positiven Signalen, dass diese Anregungen konstruktiv aufgegriffen werden können, bietet der momentane Blindwirkungsanteil Potenziale, in zukünftigen Systemen für eine Gesamtverbesserung nutzbar zu sein (umgekehrt sind auch zunehmende Ineffektivitäten durch zukünftige Entwicklungen außerhalb des Gestaltungsbereichs als potenzielles Risiko in Betracht zu ziehen). | | | | |
| | A | exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | > Analyse gerichtet auf unerwartetes und ungenutztes Potenzial, bestimmte Eigenschaften – ohne nennenswerte Nebenwirkungen und dadurch kostengünstig – über den ursprünglichen Zielwert hinaus zu verbessern? | | | | |
| Beispiel 2 | C | Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | > Systematische Abwärtssuche: ausgehend von EE_M mit besonders günstigen Korrelationsprofilen Suche nach E_{Senke} (weitere EE_M , RE_M oder E_{GS}), die eine weitere Steigerung des Zielwertes interessant scheinen lassen (z. B. wenn dadurch die Interessensbefriedigung einzelner SH, welche ursprünglich nicht in vollem Maße geplant war, doch "einfach" ermöglicht werden kann). > Systematische Aufwärtssuche: ausgehend von RE_M mit besonders günstigen EK_m (viele Stellhebel mit positiver Korrelationstendenz) Suche nach E_{Quelle} , über die eine "einfache" Verbesserungsmöglichkeit der RE_M zu erwarten ist. | I-2 | II-3 II-4 | | IV-2 IV-3 |
| | D | Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | > Die kostengünstige Nutzbarkeit unerwarteter (ggf. sogar begeisternder) Verbesserungspotenziale muss unter sorgsamer Berücksichtigung zu hoher kundenbezogener Übererfüllungen und Ineffektivitäten bewertet werden. > Ein weiteres Potenzial steckt in der Freisetzung von Freiheitsgraden im Eigenschaftsgefüge, die z. B. eine aufwandsärmere Umsetzung zu realisierender Eigenschaft ermöglichen. | | | | |

Gesichtspunkt III: Konkretisierungsgrad und Herkunft analysietreibender Ziele

| | | | | | |
|---------------------|---------------------------------------|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | explizit definierte Ziele | GP I | GP II | GP III | GP IV |
| Ausprägungsstufe 2: | chancen- und risikenorientierte Ziele | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 3: | erkenntnisgetriebene Analyseziele | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| | | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| | | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| | | | | | | | |
|------------|---|--|---|--------------------------|--------------|--|----------------------|
| | | Nutzungsaspekt | | Querbezüge zu anderen GP | | | |
| Beispiel 1 | A | exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | > Losgelöste, zusätzlich zur Analyse bzgl. konkreter Fragestellungen durchgeführte Betrachtung und Reflektion des momentan erfassten Eigenschaftsgefüges und der Aggregationsmetriken. | | | | |
| | B | vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | > Dokumentation unvorhergesehen hervortretender Erkenntnisse und Aspekte im operativen Planungs- und Entwicklungsprozess, die in wichtigen Entscheidungsgremien diskutiert werden sollten. | I-1 I-2 | II-1 II-4 | | IV-2 IV-3 IV-4 |
| | D | Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | > Ausleitung spezifisch zu verfolgender Analyseziele. > Weiterleitung neuer Erkenntnisse aus hervortretenden Zusammenhängen an andere Unternehmensbereiche (interagierende Module, Kundenprojekte auf GS-Ebene). | | | | |

Gesichtspunkt IV: Betrachtungsfokus der Analyse

| | | | | | |
|---------------------|----------------------|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | Gesamtbild | GP I | GP II | GP III | GP IV |
| Ausprägungsstufe 2: | Aggregationsbereich | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 3: | Teilbereiche | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| Ausprägungsstufe 4: | Einzelabhängigkeiten | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| | | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| | | | | | | | |
|------------|---|---|---|--------------------------|--------------|-------|--|
| | | Nutzungsaspekt | | Querbezüge zu anderen GP | | | |
| Beispiel 1 | A | exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | > Auf Plausibilität, Konsistenz und Vollständigkeit (im Rahmen des gewählten Detaillierungsgrads) der Modellbasis gerichtete Analyseanstrengungen. > Ersichtlichkeit von Besonderheiten wie höchst aggregierte (holistische) Eigenschaften oder EE_M , die weniger für das Modulverhalten selbst, als auf MG- oder GS-Ebene relevant sind. | | | | |
| | B | vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | > Bestimmte Muster sind als potenzielle Indikatoren für Fehler, Unsauberkeiten oder inkompatible Detaillierungsstufen in der Modellerstellung zu untersuchen. | I-1 | II-3 II-4 | III-1 | |
| | C | Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | > vgl. abschließende Schritte der initialen Modellerstellung, Teilkapitel 6.4.2. > Darüber hinaus können Metriken aus dem strukturellen Komplexitätsmanagement eingesetzt werden, um generelle Aussagen über das vorliegende Eigenschaftssystem zu erhalten. | | | | |
| | D | Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | > Maßnahmen zur Konsolidierung des Modells wie beispielsweise Umdefinition / Schärfung von Eigenschaften. | | | | |

| Gesichtspunkt IV: Betrachtungsfokus der Analyse | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
|---|----------------------|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | Gesamtbild | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 2: | Aggregationsbereich | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| Ausprägungsstufe 3: | Teilbereiche | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| Ausprägungsstufe 4: | Einzelabhängigkeiten | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | | Querbezüge zu anderen GP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--|--|--------------|--------------------|------------|------------|--------------------|--|--|----------------------------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|---------------------|-----------|---|----|---|---|----|---|-----------|---|----|----|---|----|----|------------|----|---|---|----|---|---|-----|------|--|
| Beispiel 1 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | > | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | > Nutzung der $E_{K_{im}}$ -Metriken zur Einschätzung von R_{EM} hinsichtlich des Vorliegens von Alternativwegen (und deren vernetzungsbezogene Umsetzungsschwierigkeit) zu ihrer Erreichbarkeit (z. B. zur Vermeidung unerwünschter Nebenwirkungen oder bei Feststellung, inkompatibler E_{Quelle} -Zielwerte oder durch deren Umsetzung entstehende hohe Ineffektivitäten). | I-1 | II-3 II-4 | III-1 III-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | > Sicherstellen der Primärziele. > Verbesserung der Lösungseffektivität. > Verminderung negativer Begleiterscheinungen. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beispiel 2 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | > Konsistenzbestreben hinsichtlich Modulzielsetzungen und definiertem Projektionsraum (bzgl. ausgewählter BAs). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | > BA-abhängige Beitragsvarianzen sind eine Form versteckter Eigenschaftsübererfüllung durch ineffektive Beitragsanteile. Bei großen aggregierten Varianzen sollte der Frage nachgegangen werden, ob diese im Rahmen einer sinnvollen Variantenbildung oder Reduzierung des Projektionsraums (was einer späteren Variantenbildung für den dann nicht abgedeckten Teil des Projektionsraums gleichkommt) wirtschaftlich sinnvoll reduziert werden kann. > Im Falle nicht erfüllbarer Ziele auf GS-Ebene Identifikation verantwortlicher Engpass- E_{Quelle} und Bewertung der Auswirkungen einer Zielwerterhöhung derselben (Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | > Gemeinsame Betrachtung kritischer Moduleigenschaften (bzgl. hoher aufsummierter BA-abhängiger Beitragsvarianzen) --> Vergleich der diesen zugrundeliegenden Relationen. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | > Homogene Verteilung innerhalb der Beitragsvarianzen (Bsp. links) innerhalb der involvierten E_{GS} und Moduleigenschaften --> Hinweis auf sinnvolle und möglicherweise durch Kapselung in Untermodulen aufwandsarm zu realisierende Modulvarianten für dann getrennt zu bedienende Teile des Projektionsraums. <div style="text-align: center;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Moduleigenschaften</th> <th colspan="3">Moduleigenschaften</th> </tr> <tr> <th colspan="2">GS-spezifische Beitragsvarianzen</th> <th>$\Delta 1$</th> <th>$\Delta 3$</th> <th>$\Delta 2$</th> <th>$\Delta 3$</th> <th>$\Delta 2$</th> <th>$\Delta 1$</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>$\Sigma \Delta (RA \leftrightarrow BA1)$</th> <th>$\Sigma \Delta (RA \leftrightarrow BA2)$</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Systemeigenschaften</td> <td>E_{GS3}</td> <td>+</td> <td>++</td> <td>+</td> <td>+</td> <td>++</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>E_{GS7}</td> <td>+</td> <td>++</td> <td>++</td> <td>-</td> <td>++</td> <td>++</td> </tr> <tr> <td>E_{GS11}</td> <td>++</td> <td>-</td> <td>+</td> <td>++</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> </tbody> </table> </div> > Heterogenes Bild der Aggregationsquellen (Bsp. rechts) --> kein vielversprechendes Potenzial der Variantenbildung, da Gefüge schwer auflösbar. | | | Moduleigenschaften | | | Moduleigenschaften | | | GS-spezifische Beitragsvarianzen | | $\Delta 1$ | $\Delta 3$ | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ | $\Delta 2$ | $\Delta 1$ | | | $\Sigma \Delta (RA \leftrightarrow BA1)$ | $\Sigma \Delta (RA \leftrightarrow BA2)$ | | | | | Systemeigenschaften | E_{GS3} | + | ++ | + | + | ++ | + | E_{GS7} | + | ++ | ++ | - | ++ | ++ | E_{GS11} | ++ | - | + | ++ | - | + | I-1 | II-3 | |
| | | Moduleigenschaften | | | Moduleigenschaften | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GS-spezifische Beitragsvarianzen | | $\Delta 1$ | $\Delta 3$ | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ | $\Delta 2$ | $\Delta 1$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | $\Sigma \Delta (RA \leftrightarrow BA1)$ | $\Sigma \Delta (RA \leftrightarrow BA2)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Systemeigenschaften | E_{GS3} | + | ++ | + | + | ++ | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | E_{GS7} | + | ++ | ++ | - | ++ | ++ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | E_{GS11} | ++ | - | + | ++ | - | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beispiel 3 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | > Risikoabschätzung bzgl. Anforderungs- bzw. Erwartungsänderungen durch alternative (bestehende oder zukünftige) Geschäftsmodelle innerhalb der Wertschöpfungsnetzwerke (--> hypothetisch erwogene Erweiterung des Ansatzes, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht konzeptionell ausgearbeitet, sowie hinsichtlich Umsetzbarkeit überprüft wurde). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | > Ausbau des SH-Bereichs um Variationen von Erwartungswerten. > Diese können auf der Basis einer Szenariosammlung von SH-Netzwerk-Konstellationen und Relationsarten (Hauptvertragstypen) innerhalb dieser systematisch abgefragt werden. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | > Charakterisierung von Eigenschaften hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit bzw. Robustheit ihres (SH-spezifischen oder -übergreifenden) Erwartungsgefüges gegenüber Konstellationsänderungen. | I-4 | II-4 | III-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | > Ableitung/Reflexion möglicher Strategien zum Umgang mit diesem Wissen, z.B. >> Welche potenziellen Geschäftsmodellentwicklungen stellen durch eine resultierenden Interessensverschiebung ein Risiko für die übergeordnete Marktakzeptanz des Moduls dar? >> Wie ließen sich diese rechtzeitig detektieren und wie schnell könnte darauf reagiert werden? >> Lassen sich die Auswirkungen hinsichtlich Aufwand und Nebeneffekten einer Robustheits- bzw. Flexibilitätssteigerung der Lösung gegenüber diesen Szenarios abschätzen? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Gesichtspunkt IV: Betrachtungsfokus der Analyse | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
|---|----------------------|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | Gesamtbild | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 2: | Aggregationsbereich | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| Ausprägungsstufe 3: | Teilbereiche | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| Ausprägungsstufe 4: | Einzelabhängigkeiten | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | | Querbezüge zu anderen GP | | | |
|----------------|---|--------------------------|------|-------------------------|------|
| Beispiel 1 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | I-1 I-2 | II-3 | III-1 III-2 III-3 | IV-1 |
| | C Aggregationsmetriken / Algorithmen / heuristische Modellnutzung | | | | |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | | | | |

| Gesichtspunkt IV: Betrachtungsfokus der Analyse | | GP I | GP II | GP III | GP IV |
|---|-----------------------------|------|-------|--------|-------|
| Ausprägungsstufe 1: | Gesamtbild | I-1 | II-1 | III-1 | IV-1 |
| Ausprägungsstufe 2: | Aggregationsbereich | I-2 | II-2 | III-2 | IV-2 |
| Ausprägungsstufe 3: | Teilbereiche | I-3 | II-3 | III-3 | IV-3 |
| Ausprägungsstufe 4: | Einzelabhängigkeiten | I-4 | II-4 | | IV-4 |

| Nutzungsaspekt | | Querbezüge zu anderen GP | | | |
|----------------|--|--------------------------|------|-------------------------|------|
| Beispiel 1 | A exemplarischer Analyse- / Bewertungsaspekt (Situation) | | | | |
| | B vorgehensunterstützende Schwerpunkte & Hilfsfragen | I-1 | II-3 | III-1 III-2 III-3 | IV-1 |
| | D Entscheidungsmöglichkeit / -relevanz | | | | |

10.4 Detaillierungen und Ergänzungen zur Initialen Evaluation

10.4.1 Beispielbasierte Erläuterungen der Syntax und Semantik des M-QFD

In Tabelle 10-5 sind exemplarisch für einige Relationen aus dem M-HoQ des Evaluationsbeispiels aus Kapitel 7.1.3 (vgl. Abbildung 7-2) Erklärungen der Zusammenhänge zusammengestellt, welche den dort dargestellten Schlussfolgerungen und Entscheidungen zugrunde liegen. Die dargestellten Informationen können als **Metainformationen** zu aufgenommenen Relationen hinterlegt werden.²⁷⁵ Dies kann für einen beliebigen Anteil an Relationen erfolgen, wobei für selbsterklärende Relationen aus Aufwands- und Übersichtlichkeitsgründen darauf verzichtet werden sollte. Hingegen sollte beispielsweise im Falle der Anwendung der Methodik in größeren Teams der Urheber einer Relation diese mit erklärenden Informationen ergänzen, sobald eine Fehlinterpretation nicht ausgeschlossen werden kann. Auch kann im Sonderfall der Zustandsabhängigkeit einer Relation (vgl. Beispiele 3 und 8) der konkrete Zustand angegeben werden. Durch die Kategorisierung hinsichtlich des semantischen Bezugs der Metainformation wird zudem schnell ersichtlich, hinsichtlich welchen Kernaspekts die betreffende Relation genauer beleuchtet wird.

Über den anwendungsunterstützenden Nutzen hinaus, der sich aus der gezielten Minimierung von Interpretationsmöglichkeiten und von offen bleibenden Fragen ergibt, bieten in Unternehmen vorliegende, mit Metainformationen unterfütterte Beispiele, ungeübten Methodennutzern die Möglichkeit, sich mit den Besonderheiten und Möglichkeiten der Syntax und Semantik sowie den Kernaspekten der Methodik vertraut zu machen.

Im Rahmen der Arbeit verfolgt die Zusammenstellung in der hier gewählten Form darüber hinaus den Zweck der Verständniserhöhung beim Leser. Diese bezieht sich sowohl auf die Nachvollziehbarkeit des Evaluationsbeispiels durch die Erläuterung einiger spezieller und möglicherweise nicht selbsterklärender Relationen. Anders herum soll die Verständniserhöhung der Kernaspekte im Allgemeinen, wofür der Leser von einem Kernaspekt kommend, der als relevant für eine Relation gekennzeichnet ist (semantischer Bezug), diesen im Beispielkontext reflektieren kann. Bei der Auswahl der Beispielrelationen wurde hierfür auf eine möglichst breite Abdeckung des sich aus der Kombination unterschiedlicher Domänen, Kernaspekte und Relationsinhalte ergebenden Spektrums geachtet.

²⁷⁵ Die Umsetzung der Hinterlegbarkeit, Pflege und Nutzung dieser und gegebenenfalls weiterer Metainformationen stellt eine zentrale Anforderung an eine zu entwickelnde IT-Lösung zur Anwendungsunterstützung der Methodik dar.

Tabelle 10-5: Erläuternde Details ausgewählter Relationen des Evaluationsbeispiels

| Nr. | Relation | zugrunde gelegte Kausalität | semantischer Bezug | | | | | | | |
|-----|---|---|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------|------------------------------|---|
| | | | Grundvernetzung | | GS-abh. Beitragsvariation | | Variations-sensitivität | | Sonderfälle | |
| | | | unmittelbare Abhängigkeiten | mittelbare vs. unmittelbare Abh. | ...in der Domäne der E _{GS} | ...in der Domäne der E _{MG} | GS-unabhängig | GS-abhängig | zustandsabhängige Relationen | Selbstbezogene Erfüllbarkeit einer E _r abh. vom GS |
| 1 | <p>Niedriger Verschleiß der Umsatzobjekte</p> <p>Hohe Funktionsgenauigkeit</p> | Formänderungen an den Umsatzobjekten durch deren Verschleiß bewirken Ungenauigkeit in deren Positionierung oder Greifbarkeit. | x | | | | | | | |
| 2 | <p>Anschlussmöglichkeiten Bohrspülung</p> <p>Hohe Komponenten-Zuverlässigkeit</p> | {RE _{M2} } bezieht sich hier auf die Komponente der stets mitzuführenden Anschlussschläuche, deren Langlebigkeit steigt, wenn sie in günstiger Position angeschlossen werden können | x | | | | | | | |
| 3 | <p>Hohe Not-Abtriebsleistung bei Teilantriebsausfall</p> | Dieser Relation liegt sowohl ein mittelbarer Anteil über {RE _{M14} } <Planbarkeit Wartung & Reparatur> zugrunde, als auch ein unmittelbarer da {RE _{M1} } beim Ausfall eines Antriebs in Abhängigkeit der momentanen Bohraufgabe entscheidend dafür ist, ob das Modul dafür noch verfügbar ist. Beim Vorliegen sowohl unmittelbarer als auch mittelbarer Anteile, wird die Relation als unmittelbar eingestuft. (> In der vorgesehenen IT-Unterstützung wird im Falle der automatischen Erkennung mehrfacher Wirkungspfade eine manuelle Bestätigung eingefordert, um das Vorliegen eines formalen Fehlers auszuschließen.) | | x | | | | | | |
| | <p>Hohe Verfügbarkeit</p> | {RE _{M1} } bezieht sich auf den konkreten Zustand des Ausfalls eines Teilantriebs, und auf die Aufgaben/Prozesse, für die das Modul in diesem Zustand noch erfüllen kann. Im vorliegenden Sättigungszustand der E _{Senke} {RE _{M9} }, in dem per Definition eigentlich keine Verbesserungen derselben über die Verfügbaren Stellhebel erzielt werden kann, nimmt der Stellhebel {RE _{M1} } daher eine Sonderrolle ein, da er auch noch im Sättigungszustand voll wirksam ist. | | | | | | x | | |
| 4 | <p>Länge</p> <p>Hohe Prozessrobustheit</p> | {EE _{M D} } hat nur einen zu berücksichtigenden Einfluss auf die {E _{GS9} } wenn der Mast wie in BA III eingekleidet ist. | | | x | | | | | |

10.4.2 Übersicht der quantitativen Daten der Expertenstudie

In Tabelle 10-6 sind die im Rahmen der Expertenstudie erhobenen Antworten sowie die daraus abgeleiteten statistischen Werte und Verteilungen detailliert aufgeführt. Darüber hinaus werden ergänzende Angaben zu den in die Evaluation involvierten Experten gemacht, und diese den einzelnen Fragebögen zugeordnet.

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 und
- 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 Stirnzahnrädern. 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 Teileverwaltung 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 Hilfsmittelführung 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.
München: Dr. Hut 2015 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D124 SCHRÖER, B.:
Lösungskomponente Mensch. Nutzerseitige Handlungsmöglichkeiten als Bausteine für die kreative
Entwicklung von Interaktionslösungen.
München: TU, Diss. 2014.
- 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: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. 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.
München: TU, Diss. 2014.

- 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.
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D132 BIEDERMANN, W.:
A minimal set of network metrics for analysing mechatronic product concepts.
München: TU, Diss. 2015.
- D133 SCHENKL, S.:
Wissensorientierte Entwicklung von Produkt-Service-Systemen.
München: TU, Diss. 2015.
- D134 SCHRIEVERHOFF, P.:
Valuation of Adaptability in System Architecture.
München: Dr. Hut 2015 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D135 METZLER, T.:
Models and Methods for the Systematic Integration of Cognitive Functions into Product Concepts.
München: Dr. Hut 2016 (Reihe Produktentwicklung).
- D136 DEUBZER, F.:
A Method for Product Architecture Management in Early Phases of Product Development.
München: TU, Diss. 2016.
- D137 SCHÖTTL, F.:
Komplexität in sozio-technischen Systemen - Methodik für die komplexitätsgerechte Systemgestaltung in
der Automobilproduktion.
München: Dr. Hut 2016 (Reihe Produktentwicklung).
- D138 BRANDT, L. S.:
Architekturgesteuerte Elektrik/Elektronik Baukastenentwicklung im Automobil
München: TU, Diss. 2017.
- D139 BAUER, W.:
Planung und Entwicklung änderungsrobuster Plattformarchitekturen
München: Dr. Hut 2016 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2016.
- D140 ELEZI, F.:
Supporting the Design of Management Control Systems In Engineering Companies from Management
Cybernetics Perspective
München: TU, Diss. 2015.
- D141 BEHNCKE, F. G. H.:
Beschaffungsgerechte Produktentwicklung – Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in
frühen Phasen der Entwicklung
TU München: 2015. (als Dissertation eingereicht)
- D142 ÖLMEZ, M.:
Individuelle Unterstützung von Entscheidungsprozessen bei der Entwicklung innovativer Produkte.
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).
- D143 SAUCKEN, C. C. V.:
Entwicklerzentrierte Hilfsmittel zum Gestalten von Nutzererlebnissen.
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).
- D144 KASPEREK, D.:
Structure-based System Dynamics Analysis of Engineering Design Processes
München: TU, Diss. 2016.

- D145 LANGER, S. F.:
Kritische Änderungen in der Produktentwicklung – Analyse und Maßnahmenableitung
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).
- D146 HERBERG, A. P.:
Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule in komplexen Systemarchitekturen
und -portfolios – Methodik zur Einnahme einer konsequent modulzentrierten Perspektive
München: TU, Diss. 2017.
- D147 HASHEMI FARZANEH, H.:
Bio-inspired design: Ideation in collaboration between mechanical engineers and biologists
München: TU, Diss. 2017.
- D148 HELMS, M. K.:
Biologische Publikationen als Ideengeber für das Lösen technischer Probleme in der Bionik
München: TU, Diss. 2017.
- D149 GÜRTLER, M. R.:
Situational Open Innovation – Enabling Boundary-Spanning Collaboration in Small and Medium-sized
Enterprises
München: TU, Diss. 2016.
- D150 WICKEL, M. C.:
Änderungen besser managen – Eine datenbasierte Methodik zur Analyse technischer Änderungen
München: TU, Diss. 2017.
- D151 DANILIDIS, C.:
Planungsleitfaden für die systematische Analyse und Verbesserung von Produktarchitekturen
München: TU, Diss. 2017.
- D152 MICHAILIDOU, I.:
Design the experience first: A scenario-based methodology for the design of complex, tangible consumer
products
München: TU, Diss. 2017.
- D153 SCHMIDT, D.M.:
Increasing Customer Acceptance in Planning Product-Service Systems
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2017.
- D154 ROTH, M.:
Efficient Safety Method Kit for User-driven Customization
TU München: 2016. (als Dissertation eingereicht)
- D155 PLÖTNER, M.:
Integriertes Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)
- D156 HERBST, L.-M.:
Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung raumfunktionaler Kundenanforderungen in der
Automobilentwicklung
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).
- D157 KAMMERL, D. M. A.:
Modellbasierte Planung von Produkt-Service-Systemen
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)
- D158 MÜNZBERG, C. H. W.:
Krisen in der Produktentwicklung und ihre operative Bewältigung
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)
- D159 HEIMBERGER, N.:
Strukturbasierte Koordinationsplanung in komplexen Entwicklungsprojekten
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)

D160 Lang, A.:

Im Spannungsfeld zwischen Risiken und Chancen – Eine Methode zur Ableitung von
Handlungsempfehlungen zur Öffnung der Produktentwicklung
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)