

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Produktentwicklung

Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel

Clemens Hepperle

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

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lohmann

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier,
Universität Paderborn

Die Dissertation wurde am 13.09.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 25.02.2013 angenommen.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8439-1000-2

© Verlag Dr. Hut, München 2013
Sternstr. 18, 80538 München
Tel.: 089/66060798
www.dr.hut-verlag.de

Die Informationen in diesem Buch wurden mit großer Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Autoren und ggf. Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der Vervielfältigung und Verbreitung in besonderen Verfahren wie fotomechanischer Nachdruck, Fotokopie, Mikrokopie, elektronische Datenaufzeichnung einschließlich Speicherung und Übertragung auf weitere Datenträger sowie Übersetzung in andere Sprachen, behält sich der Autor vor.

1. Auflage 2013

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Problemstellung

Leistungsbündel – wie beispielsweise neuartige Mobilitätskonzepte im Automobilbereich – nehmen einen immer wichtigeren Bestandteil in unserem Alltag ein. Kunden sind oftmals nicht mehr damit zufriedenzustellen, dass ihnen eine Sachleistung verkauft wird, sondern sie erwarten eine auf ihre individuellen Bedarfe ausgerichtete Lösung. Diese kann durch entsprechend abgestimmte Sach- und Dienstleistungskombinationen in Form sogenannter Leistungsbündel erbracht werden. Neben dem Vorteil kundenindividueller Lösungen können Leistungsbündel aus Unternehmensperspektive auch zu einer Stärkung der Kundenbindung sowie der Erschließung neuer Wertschöpfungspotenziale beitragen. Leistungsbündel sind dabei von den anbietenden Unternehmen schon in der Planungsphase hinsichtlich der Vernetzung ihrer Bedarfe und Potenziale entlang des Lebenszyklus intensiv vorzudenken. So können am Markt erfolgreiche und gleichzeitig vom Unternehmen erbringbare Leistungsbündel entstehen.

Waren bereits die Sach- bzw. Dienstleistungskomponenten jeweils in sich durch zahlreiche aufeinander abzustimmende Schnittstellen gekennzeichnet, so ist bei Leistungsbündeln auch die Vernetzung der Lösungselemente untereinander anzugehen. Zudem sind bei der Ableitung erfolgversprechender Entwicklungsvorschläge Abhängigkeiten verschiedener Zukunftsprojektionen sowie Planungshorizonte relevant. Die dargelegten planungsrelevanten Zusammenhänge sind hierbei in der Regel nicht mehr intuitiv zu durchdringen.

Zielsetzung

Aus der Ausgangssituation und Problemstellung leitet sich die Zielsetzung einer erhöhten Transparenz hinsichtlich der skizzierten Zusammenhänge ab, um im Rahmen der Planung die Entscheidungsgrundlage über zukünftig zu erbringende Leistungsbündel zu verbessern. Ein wesentlicher Schritt in Richtung einer Steigerung der Transparenz besteht in der umfassenden Klärung unternehmens-, markt- und umfeldrelevanter Bedarfe und Potenziale entlang des Lebenszyklus von Leistungsbündeln. Um die identifizierten Bedarfe und Potenziale greifbar zu machen und reflektieren zu können, besteht eine weitere Zielsetzung darin, Methoden zur systematischen Erfassung und Analyse entsprechender planungsrelevanter Systemzusammenhänge zu entwickeln.

Ergebnisse

Als wesentliche Grundlage zur Erreichung einer transparenten Entscheidungsgrundlage in der Planung von Leistungsbündeln ist ein integriertes Modell des Lebenszyklus von Leistungsbündeln entstanden. Das erarbeitete Modell greift sowohl auf sach- und dienstleistungsspezifische als auch auf disziplinübergreifende Phasen zu – von der Planung und Entwicklung über die Produktion sowie Erbringungsvorbereitung bis hin zur Nutzung, Erbringung und Auflösung von Leistungsbündeln. Dadurch wird bereits in der Planung eine umfassende Identifikation zukünftig relevanter Bedarfe und Potenziale erlaubt.

Da die Lebenszyklusphasen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Planung nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind, wurde in der Folge eine Herangehensweise zur Analyse generischer Zusammenhänge im Lebenszyklus entwickelt. Generisch bedeutet, dass die Zusammenhänge grundsätzlich auf verschiedenste Produkte und Branchen zutreffen können. Die auf etablierten Design for X-Richtlinien aufbauende Reflexion generischer Zusammenhänge der Lebenszyklusphasen dient der Ableitung von Planungsschwerpunkten bereits in den frühen Phasen des Innovationsprozesses.

Weiterhin wurde im Kontext der Identifikation vielversprechender Entwicklungsvorschläge eine Methodik entwickelt, welche die Kopplung situationsspezifischer Zusammenhänge von markt- und unternehmensseitig auftretenden Bedarfen, Zielen, Leistungsbündelfunktionen und Lösungselementen näher beleuchtet. Hierbei wird auch die Gegenüberstellung unterschiedlicher Planungshorizonte und Szenarios adressiert. Die entwickelte Methodik wird in zwei Fallbeispielen evaluiert – einerseits anhand der Planung von Großdieselmotoren und andererseits anhand der Planung einer zukunftsorientierten Waschmaschinenlösung.

Folgerungen für die industrielle Praxis

Das in der Arbeit adressierte Verständnis der Zusammenhänge planungsrelevanter Informationen führt zu einer erhöhten Transparenz bei der Entscheidungsfindung über zukünftig zu erbringende Leistungsbündel. Unternehmen können dadurch bereits in den frühen Phasen des Innovationsprozesses in sich stimmige, kundenorientierte und zugleich erfolgversprechende Entwicklungsvorschläge ableiten. Durch die frühzeitige Reflexion der Zusammenhänge kann zudem unnötigen Änderungen entlang der späteren Phasen des Innovationsprozesses vorgebeugt werden. Hierbei zeichnen sich die erarbeiteten Ansätze durch ihre Anwendbarkeit in der industriellen Praxis aus. Einerseits ist dies auf die Einbettbarkeit der entwickelten Ansätze in bereits bestehende Planungsprozesse – wie im Rahmen der Fallstudie zur Planung von Großdieselmotoren gezeigt wird – zurückzuführen. Andererseits sind die erarbeiteten Modelle und Methoden direkt an bereits etablierte Ansätze in der Industrie – wie beispielsweise Quality Function Deployment oder Szenariomanagement – koppelbar.

Folgerungen für Forschung und Wissenschaft

Die vorliegende Arbeit liefert auf unterschiedlichen forschungsrelevanten Ebenen neue Erkenntnisse. So werden auf methodischer Ebene Ansätze des strukturellen Komplexitätsmanagements systematisch neuen Anwendungsfeldern zugänglich gemacht und weiterentwickelt. Weiterhin werden durch das entwickelte Lebenszyklusmodell von Leistungsbündeln sowie die umfassenden Herangehensweisen zur Reflexion planungsrelevanter Systemzusammenhänge neue Wege im Forschungsfeld der Produkt- und Leistungsbündelplanung beschritten.

Garching, März 2013

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München in der Zeit von Januar 2007 bis März 2012.

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann für das in mich gesetzte Vertrauen bei der Erarbeitung und Durchführung der vielseitigen Aufgaben, Themen und Projekte. Das stets konstruktive Feedback gepaart mit der Freiheit, neue Wege zu beschreiten, ermöglichte es mir, meine Fähigkeiten kennenzulernen und weiterzuentwickeln. Dabei möchte ich mich auch für die am Lehrstuhl geschaffene offene Arbeitsumgebung bedanken, welche es mir erlaubte, Beruf, Dissertation und Familie zu vereinen. Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier vom Heinz Nixdorf Institut in Paderborn für die Übernahme der Zweitberichterstattung meiner Arbeit danken. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und die damit verbundene organisatorische Abwicklung des Promotionsverfahrens gilt mein Dank zudem Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lohmann des Lehrstuhls für Regelungstechnik an der Technischen Universität München.

Meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen danke ich sehr für die stets freundschaftliche Atmosphäre und gute Zusammenarbeit. Zu Beginn meiner Lehrstuhlzeit standen besonders mein Pate und Bürokollege Martin Graebisch sowie mein Projektpartner Frank Deubzer immer mit Rat und Tat zur Seite. Meinen Weggefährten Bergen Helms und Stefan Langer, mit denen sich die Diskussionen besonders spannend und tiefgehend darstellten, möchte ich herzlich danken. Herrn Robert Orawski, Sebastian Schenkl sowie Herrn Dr.-Ing. Markus Mörtl danke ich für die konstruktive und angenehme Zusammenarbeit im gemeinsam bearbeiteten Teilprojekt zur lebenszyklusgerechten Leistungsbündelplanung im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen“. Zudem danke ich meinem Mentor Herrn Dr.-Ing. Christoph Baumberger für das wertvolle Feedback zu meiner Dissertation. Auch den von mir als wissenschaftlicher Mitarbeiter betreuten Studentinnen und Studenten, von denen ich stellvertretend Herrn Armin Förg, Herrn Florian Lachner, Herrn Konstantin Kernschmidt sowie Herrn Martin Merz nennen möchte, danke ich für den umfassenden Austausch zur Thematik der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel.

Ganz besonders danke ich meinen Eltern Ruth und Bernhard Hepperle, die mir durch ihre liebevolle Unterstützung und den mir eingeräumten Freiraum den Grundstein für mein Studium sowie meine Promotion legten. Auch meiner Schwester Susanne Bezenar sowie meinen zukünftigen Schwiegereltern Barbara und Allan Parker danke ich für ihren Rückhalt während der Promotionszeit. Meiner Verlobten und Muse Katherine Parker, die mich stets entlastet hat, mich durch die von ihr ausgehende Freude bestärkt hat und die Arbeit immer mit Geduld und Verständnis begleitet hat, danke ich von Herzen. Zuletzt danke ich meinen Kindern Carla und Laurin, dass Sie durch ihre Unbeschwertheit immer für den nötigen Ausgleich sorgten.

VORVERÖFFENTLICHUNGEN (CHRONOLOGISCH)

Hepperle, C.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Innovation cycles concerning strategic planning of product-service-systems. 10th International Design Conference – DESIGN 2008. Dubrovnik, 2008.

Hepperle, C.; Thanner, S.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: An integrated product lifecycle model and interrelations in-between the lifecycle phases. 6th International Conference on Product Lifecycle Management. Bath, 2009.

Hepperle, C.; Orawski, R.; Nolte, B. D.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: An integrated lifecycle model of product-service-systems. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010.

Orawski, R.; Hepperle, C.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Matching product flexibility on the integrated portfolio of a product-service-system. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010.

Hepperle, C.; Langer, S.; Scherer, A.; Schwetz, P.; Lindemann, U.: Consideration of factors influencing the time of launching new products. 11th International Design Conference – DESIGN 2010. Dubrovnik, 2010.

Orawski, R.; Hepperle, C.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: A framework for a product-service-system portfolio: managing the early planning. 11th International Design Conference – DESIGN 2010. Dubrovnik, 2010.

Lederer, S.; Marle, F.; Hepperle, C.; Lindemann, U.: Analysis of decision-making processes in the development of complex solutions. 12th International DSM Conference. Cambridge (UK), 2010.

Hepperle, C.; Bradford, N.; Costantino, F.; Orawski, R.; Langer, S.; Lindemann, U.: Calculating lifecycle interdependencies based on Eco-Design strategies. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management – IEEM 2010. Macao, 2010.

Hepperle, C.; Orawski, R.; Langer, S.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Temporal aspects in lifecycle-oriented planning of product-service-systems. International Conference on Research into Design – ICoRD 2011. Bangalore, 2011.

Orawski, R.; Hepperle, C.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Reoccurring cyclic consideration of end-of-life requirements during product planning. International Conference on Research into Design – ICoRD 2011. Bangalore, 2011.

Hepperle, C.; Förg, A.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Consideration of goal interrelations in lifecycle-oriented product planning. 18th International Conference on Engineering Design – ICED'11. Kopenhagen, 2011.

Hepperle, C.; Biedermann, W.; Böcker, A.; Lindemann, U.: Design for X-guidelines and lifecycle phases with relevance for product planning – an MDM-based approach. 13th International DSM Conference. Cambridge (USA), 2011.

Behncke, F.; Gabriel, F.; Langer, S.; Hepperle, C.; Lindemann, U.; Karl, F.; Pohl, J.; Schindler, S.; Reinhart, G.; Zaeh, M.: Analysis of information flows at interfaces between strategic product planning, product development and production planning to support process management – A literature based approach. 2011 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics – SMC. Anchorage, 2011.

Hepperle, C.; Lachner, F.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Compatibility evaluation of future product concepts. 18th International ICE-Conference on Engineering, Technology and Innovation. München, 2012.

Kernschmidt, K.; Hepperle, C.; Mörtl, M.; Vogel-Heuser, B.: Lifecycle oriented planning of mechatronic products and corresponding services. 9th International Conference on Product Lifecycle Management. Montreal, 2012.

Orawski, R.; Hepperle, C.; Schenkl, S.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Life-cycle oriented requirement formalization and traceability. 9th International Conference on Product Lifecycle Management. Montreal, 2012.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einführung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Motivation und Problemstellung	3
1.2.1 Fallbeispiel 1: Einsatz von Biomaterialien in Filtersystemen	3
1.2.2 Fallbeispiel 2: Energiemanagement im Kraftfahrzeug	5
1.2.3 Ableitung von Herausforderungen	7
1.3 Zielsetzung und Abgrenzung des Themengebiets	7
1.4 Forschungsmethodik und Erfahrungsgrundlage	9
1.5 Aufbau der Arbeit	11
2. Grundlagen der lebenszyklusorientierten Planung von Leistungsbündeln	13
2.1 Methodisch-systematische Unterstützung der Produktplanung und -entwicklung	13
2.1.1 Methodische Ansätze der integrierten Produktentwicklung	13
2.1.2 Komplexität und Systems Engineering	14
2.2 Strategische Produktplanung	16
2.2.1 Strategische Produktplanung als Teil von Innovationsprozessen	16
2.2.2 Aufgabenbereich der strategischen Produktplanung	19
2.2.3 Methodische Unterstützung der Produktplanung	27
2.3 Leistungsbündel	45
2.3.1 Integrierte Betrachtung von Sach- und Dienstleistungsanteilen	46
2.3.2 Ansätze zur Planung und Entwicklung von Leistungsbündeln	51
2.4 Lebenszyklusorientierung	57
2.4.1 Perspektiven der Lebenszyklusorientierung	57
2.4.2 Intrinsische Lebenszyklusmodelle	60
2.5 System- und Abhängigkeitsmodellierung	66
2.5.1 Strukturierte Aufbereitung planungsrelevanter Informationen	66
2.5.2 Modellierung und Analyse komplexer Strukturen	72
2.6 Fazit zum Stand der Forschung	77

3. Verständnis des Lebenszyklus von Leistungsbündeln	79
3.1 Ableitung eines übergreifenden Lebenszyklusmodells	79
3.2 Integrierter Leistungsbündellebenszyklus	81
3.2.1 Produktlebenszyklus	81
3.2.2 Dienstleistungslebenszyklus	85
3.2.3 Leistungsbündellebenszyklus	88
3.3 Generische, lebenszyklusphasenbezogene Abhängigkeiten	91
3.3.1 Abhängigkeiten auf Basis einer Eco-Design-Richtlinie	92
3.3.2 Abhängigkeiten auf Basis unterschiedlicher DFX-Richtlinien	96
3.3.3 Reflexion generischer Abhängigkeiten im Lebenszyklus	102
3.4 Ableitung des weiteren Handlungsbedarfs	103
4. Methodischer Ansatz der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung	105
4.1 Anforderungen an die methodische Unterstützung	105
4.2 Methodik zur Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel	108
4.3 Identifikation relevanter Kontextfaktoren	111
4.3.1 Lebenszyklus-Roadmapping	111
4.3.2 Lebenszyklusorientierte Kontextanalyse	115
4.4 Identifikation lebenszyklusgerechter Konzepte	118
4.4.1 Strukturbasierte Herangehensweise zur Kompatibilitätsprüfung	119
4.4.2 Zielsystem	122
4.4.3 Konzeptsystem	124
4.4.4 Funktionsorientierte Verknüpfung von Ziel- und Konzeptsystem	128
4.4.5 Erweiterung um Lebenszyklusperspektive	129
4.4.6 Methodenunterstützung zur Kompatibilitätsanalyse	131
4.5 Erweiterung der Kompatibilitätsanalyse für die multiple Zukunft	139
4.5.1 Konsistenzanalyse unterschiedlicher Szenarios	139
4.5.2 Konsistenzanalyse unterschiedlicher Planungshorizonte	142
4.6 Diskussion der Methodik im Kontext existierender Planungsmethoden	144
4.6.1 Überblick über Methoden und Modelle der entwickelten Methodik	145
4.6.2 Anknüpfung an Aktivitäten zur Informationsakquisition	145
4.6.3 Anknüpfung an Aktivitäten zur Analyse planungsrelevanter Informationen	147

4.6.4	Werkzeugunterstützung der Methodenumgebung	149
4.7	Zusammenfassung der Ausführungen zur Planungsmethodik	150
5.	Evaluation der Methodik zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung	151
5.1	Demonstrationsbeispiel Waschmaschine	151
5.2	Fallstudie Großdieselmotor	162
5.3	Zusammenfassende Reflexion der Planungsmethodik	168
6.	Schlussfolgerungen und Ausblick	173
6.1	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	173
6.2	Ausblick	176
7.	Literatur	177
8.	Anhang	205
8.1	Abkürzungsverzeichnis	205
8.2	Angeleitete Studienarbeiten im Kontext der Dissertation	207
8.3	Überblick über Expertengespräche	208
8.4	Zusammenhänge zwischen Lebenszyklusphasen und Eco-Design-Richtlinien	209
8.5	Zusammenhänge zwischen Lebenszyklusphasen und DFX-Richtlinien	214
8.6	Berechnungsvorschriften zum Lebenszyklus-Roadmapping	218
8.7	Zuordnung von Planungsverfahren zu Zeithorizonten	219
8.8	Erfassungsmodell zur lebenszyklusgerechten Kontextanalyse	220
8.9	Checkliste zur Technologiecharakterisierung	221
8.10	Unterlagen zum Demonstrationsbeispiel Waschmaschine	221
9.	Dissertationsverzeichnis	241

1. Einführung

Die Leistungsbündelplanung setzt sich schon in den frühen Phasen des Innovationsprozesses mit der Gegenüberstellung von Potenzialen und Rahmenbedingungen zukünftig anzubietender Produkt- und Dienstleistungskombinationen auseinander. So soll es ermöglicht werden, dass zum einen vom Markt nachgefragte und zum anderen vom Unternehmen erbringbare Leistungsbündel zum richtigen Zeitpunkt erstellt werden. Nach der thematischen Verankerung der Arbeit werden anhand zweier Fallbeispiele Herausforderungen heutiger Planungsprojekte mit dem Fokus auf Zusammenhänge zwischen planungsrelevanten Informationen skizziert. Anschließend werden die Zielsetzung der Arbeit sowie die zur Erreichung der Zielsetzung verfolgte Forschungsmethodik dargelegt. Zum Ende von Kapitel 1 erfolgt ein Überblick über die Struktur der Arbeit.

1.1 Ausgangssituation

Um im globalen Wettbewerb konkurrenzfähig zu bleiben, gilt es für produzierende Unternehmen in einer Exportnation wie Deutschland, sich durch innovative Produkte und Dienstleistungen abzuheben (BULLINGER 2010). In diesem **Innovationswettbewerb** – gekennzeichnet durch einen immer schnelleren technologischen Wandel (SPATH et al. 2001, S. 8) – müssen Unternehmen wandlungs- und anpassungsfähig sein (TROTT 2008), um ihre eigene Wettbewerbsposition zu halten und idealerweise zu stärken. Insbesondere der Wandel hin zu einem integrierten Anbieter von **Sach- und Dienstleistungskombinationen** im Rahmen sogenannter Leistungsbündel stellt hierbei eine vielversprechende Möglichkeit dar, sich im Innovationswettbewerb abzugrenzen (GRÄBLE et al. 2010; SUNDIN 2009b, S. 52).

Im Kontext der Internationalisierung der Wettbewerbe sowie **technologischer, sozialer und ökologischer Veränderungen** adressiert BLEICHER 2011 die **zunehmende Komplexität und Dynamik**, welche sich Unternehmen ausgesetzt sehen. In diesem Umfeld werden geeignete **Techniken und Methoden** in Unternehmen im Bereich des Innovationsmanagements benötigt, welche diese darin unterstützen und dazu befähigen, neue Produkte sowie einhergehende Prozesse und Änderungen in der Organisation umzusetzen (HIDALGO & ALBORS 2008). Hierbei sehen FRICKE & SCHULZ 2005 in einer den gesamten **Lebenszyklus** umfassenden Perspektive bei der Produktgestaltung einen wesentlichen Stellhebel zur erfolgreichen Umsetzung von sich ändernden Kunden- und Marktbedarfen. MEIER & UHLMANN 2012 fordern hierbei im Kontext eines integrierten Leistungsbündelverständnisses die **Neubetrachtung und -entwicklung von systematischen Methoden** unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus von Leistungsbündeln.

Auch COOPER & EDGETT 2008 verweisen auf die große Bedeutung für Unternehmen, ihre **Innovationsfähigkeit** zu stärken und sprechen sechs wesentliche Prinzipien im Sinne einer schnellen, schlanken und profitablen Entwicklung neuer Produkte an. Diese umfassen eine Fokussierung kundenorientierter Lösungen, die Betonung der frühen Phasen im Innovationsprozess, zyklische anstatt rein lineare Vorgehensweisen, eine ganzheitliche Herangehensweise

an Innovationen, die Nachvollziehbarkeit und Messbarkeit für kontinuierliche Verbesserungen sowie ein effektives Management des Produktportfolios.

Hier setzt der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Sonderforschungsbereich (SFB) 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen – Verzahnte Entwicklung von Leistungsbündeln auf Basis technischer Produkte“ (LINDEMANN 2007b) an. Der seit dem Jahr 2008 etablierte SFB 768 verfolgt die übergeordnete Zielsetzung, Methoden und Werkzeuge zur Analyse, Modellierung und Gestaltung von **Innovationsprozessen** unter Berücksichtigung der Dynamik unternehmensinterner und -externer Einflussgrößen zur Verfügung zu stellen. Das im Sonderforschungsbereich 768 verfolgte Verständnis des Innovationsprozesses umfasst sämtliche Phasen der Bedarfs- und Ideengenerierung bis hin zur erfolgreichen Einführung und Nutzung von Leistungsbündeln (siehe Bild 1-1).

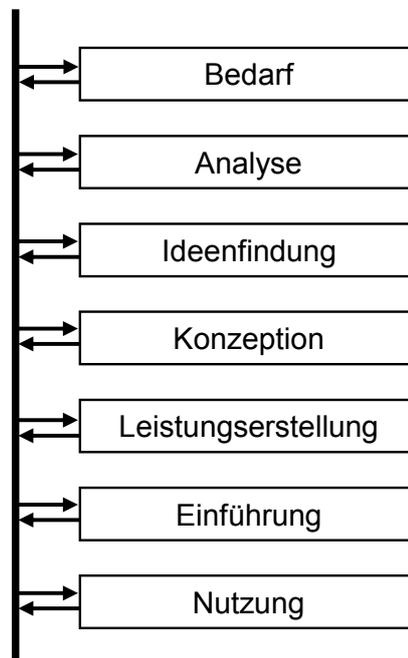


Bild 1-1: Grundmodell des Innovationsprozesses (LINDEMANN 2007b)

Das Grundmodell des Innovationsprozesses gliedert sich nach LINDEMANN 2007b in insgesamt sieben Phasen: aufbauend auf der markt-, umfeld- und unternehmensseitigen Identifikation von **Bedarfen** erfolgt eine detaillierte **Problemanalyse** als Basis für die anschließende **Ideenfindung**. Diese umfasst neben der Suche nach Produktideen auch die Suche nach sinnvollen, damit einhergehenden Prozessen und Strukturen für die weitere Konzeption und Leistungserstellung. Auf eine in der Phase der **Konzeption** zu erarbeitende Beschreibung der Lösung folgt die **Leistungserstellung**, welche die Verwirklichung bzw. Produktion der Lösung vorsieht. Die nun geschaffenen Lösungen werden daraufhin im Markt und beim Kunden **eingeführt und genutzt**. Im Rahmen der Nutzungsphase werden beispielhaft auch Themen des Upgradings sowie des Recyclings berücksichtigt. Die Phasen werden nicht zwingend sequenziell durchlaufen, sondern können durch iteratives Vorgehen geprägt sein, was durch die im Bild 1-1 dargestellte Verbindung der einzelnen Phasen angedeutet ist.

Ein Schwerpunkt der Forschungstätigkeiten des SFB 768 und Fokus der vorliegenden Arbeit stellt die intensive Auseinandersetzung mit den im Innovationsprozess frühzeitig verorteten Phasen zur Bedarfsklärung, Problemanalyse und Ideenfindung dar (HEPPERLE et al. 2008). Diese werden in der industriellen Praxis im Rahmen der **strategischen Produktplanung** fokussiert, welche an der Schnittstelle zwischen der strategischen Unternehmensplanung sowie der Produktentwicklung angesiedelt ist (BRAUN 2005). Die Gegenüberstellung von verschiedensten planungsrelevanten Informationen beispielsweise aus dem Marketing, der Wettbewerbsanalyse aber auch aus den Bereichen der Forschung und Entwicklung spielen eine wesentliche Rolle zur Ableitung **stimmiger, zukunftssträchtiger Entwicklungsvorschläge** (ULRICH & EPPINGER 2004). Eine aktuelle Studie von MACK & BANGE 2011 zeigt, dass vor dem Hintergrund der Dynamik der zahlreichen zu berücksichtigenden Einflussfaktoren sowie der damit einhergehenden Komplexität die strategische Planung zwar zunehmend in Unternehmen verankert wird, jedoch in vielen Bereichen großer Verbesserungsbedarf besteht. So wird nach MACK & BANGE 2011 die inhaltliche Verknüpfung verschiedener Planungshorizonte als essentieller Angriffspunkt zur Verbesserung der Planung gesehen. Weiterhin besteht wesentlicher Nachholbedarf bei der **Erhöhung von Transparenz und Planungssicherheit** sowie Plausibilität in der strategischen Planung. In diesem Kontext ist nicht zuletzt die Tatsache anzuführen, dass produktbezogene Kosten insbesondere in den frühen Phasen beeinflusst werden und die Kosten für spätere Änderungen entlang des Innovationsprozesses und Produktlebenszyklus nach der „rule of ten“ stark ansteigen (EHRENSPIEL 2009; ENGELMANN 1999, S. 54).

1.2 Motivation und Problemstellung

Die aufgezeigte Ausgangssituation und einhergehende Problemstellungen werden im Folgenden an zwei Fallbeispielen näher beleuchtet. Diese Fallbeispiele basieren auf Forschungsprojekten mit Industriebeteiligung, welche am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München unter Mitarbeit des Autors durchgeführt wurden. Die Projekte waren bei den Industriepartnern in vorentwicklungsnahen Abteilungen verankert, zum einen im Bereich der Hausgerätetechnik, zum anderen im Bereich der Automobilbranche. In diesem Kontext sind produktplanerische Aktivitäten hinsichtlich mittel- und langfristig zu erbringender Produkte durchgeführt wurden. Die Reflexion dieser Projekte unterstützt die Identifikation aktueller Herausforderungen und Problemstellungen im Bereich der Produktplanung.

1.2.1 Fallbeispiel 1: Einsatz von Biomaterialien in Filtersystemen

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Verbundprojekt „Einsatz von Biomaterialien in Filtersystemen – Biofis“ zielt darauf ab, neuartige Filtersysteme in der Hausgerätebranche – wie sie beispielsweise im Bereich von Staubsaugern zu finden sind – zu planen, zu entwickeln und prototypisch umzusetzen (HELTEN et al. 2012). Diese neuartigen Filtersysteme sollen auf Biomaterialien – im Speziellen auf biotechnologisch hergestellte Spinnenseide – zurückgreifen. Die Eingrenzung auf Spinnenseide und Filtersysteme wird bereits vor Projektstart festgelegt, nachdem die Spinnenseide aufgrund ihrer Materialei-

genschaften einen vielversprechenden Werkstoff für die Verbesserung aktueller Filtersysteme darstellt.

Neben einem Lehrstuhl für Biomaterialien sind an dem Projekt auch ein Hausgerätehersteller im Bereich Bodenpflegegeräte sowie ein Vlieshersteller beteiligt. Der Hausgerätehersteller bringt eine systemintegrierende Perspektive als OEM (Original Equipment Manufacturer) von Bodenpflegegeräten ein, während der Vlieshersteller als Zulieferer für die Staubsaugerfilter gesehen werden kann. Der beteiligte Lehrstuhl für Biomaterialien dagegen nimmt eine zunächst anwendungsunabhängige Perspektive ein und konzentriert sich auf die Entwicklung und Herstellung eines Spinneseidenvlieses. Aus dieser Konstellation ergibt sich die **Herausforderung, dass verschiedene beteiligte Entwicklungspartner Lösungsmöglichkeiten und Anforderungen** für ein noch nicht in der Tiefe definiertes Produkt diskutieren und einbringen (siehe Bild 1-2). So bringt der Hausgerätehersteller insbesondere Anforderungen ein, welche die spätere **Nutzung der Staubsauger** betreffen, während der Vlieshersteller neben den bereits vom OEM aufgearbeiteten Nutzungsanforderungen auch Anforderungen bezüglich der **Vliesherstellung** einbringt.

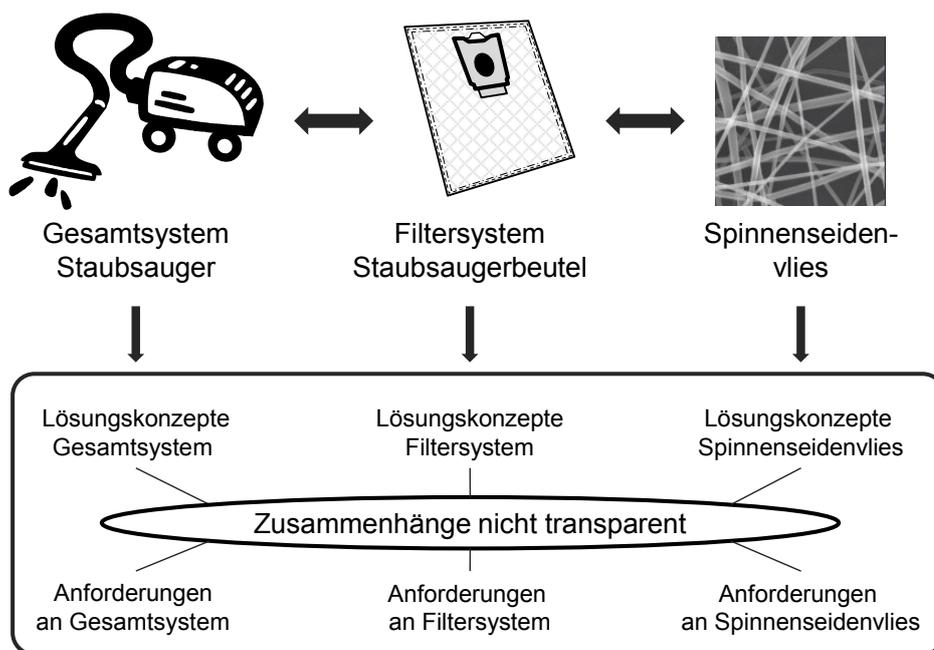


Bild 1-2: Unzureichendes Verständnis planungsrelevanter Systemzusammenhänge im Projekt Biofis (Bildquelle des künstlich hergestellten Spinneseidenvlies: RÖMER & SCHEIBEL 2007)

Weiterhin zeigt sich die Problemstellung, dass ein vertieftes Systemverständnis der durch die Partner verantworteten Betrachtungsgegenstände nur unzureichend gegeben ist. Beispielsweise bleibt im Projekt zunächst unbeantwortet, welche existierenden Lösungsansätze sich wie auf die Produktfunktionen und in der Folge auf die Anforderungserfüllung auswirken. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass Entscheidungen bezüglich zukünftiger Produkte oftmals auf Basis des Trial-and-Error-Prinzips getroffen werden und im Anschluss erfolgreiche und misslungene Lösungsansätze nicht ausreichend auf ihre Wirkmechanismen hin untersucht werden. Zudem führt das Trial-and-Error-Prinzip häufig zu einem zu schnellen Verwerfen

von Produktideen aufgrund von einfachen Versuchen, ohne dass der Grund für das Scheitern aufgearbeitet wird.

Zusammenfassend stellt sich die Ausgangssituation so dar, dass **für die Entscheidungsfindung über die Weiterverfolgung vielversprechender Produktkonzepte kein ausreichendes Systemverständnis** vorliegt. Dies äußert sich wie oben beschrieben zum einen in einer unzureichenden Überführung unterschiedlichster **Anforderungen entlang des Lebenszyklus (Produktion über Nutzung bis hin zum Recycling der Filter)**. Zum anderen werden Lösungsmöglichkeiten oftmals zu schnell verworfen, was sich auf eine unsystematische Vorauswahl und Versuchsplanung zurückführen lässt. Dieser Umstand wiederum resultiert aus einem **unzureichenden Verständnis der Zusammenhänge von Anforderungen, Funktionen und Umsetzungsmöglichkeiten** der Funktionen.

Im Projekt wurden daraufhin erste Maßnahmen ergriffen, welche sukzessive eine Erhöhung des Systemverständnisses aller beteiligten Projektpartner adressieren. So wurden basierend auf einer gezielten Anforderungsklä rung und Problemstrukturierung systematische Herangehensweisen entwickelt, welche die Kopplung von Anforderungen und Funktionen sowie Lösungsparametern erlauben. Im Endeffekt ermöglicht dieses gestärkte Systemverständnis eine gezieltere Planung und Vorauswahl von Lösungen und in der Folge eine systematischere und effizientere Versuchsplanung und -durchführung.

1.2.2 Fallbeispiel 2: Energiemanagement im Kraftfahrzeug

Im Rahmen der zwischen der BMW Group und der Technischen Universität München etablierten Kooperation CAR@TUM (Munich Centre of Automotive Research) wurde ein Forschungsprojekt zum Thema „Energiemanagement im Kraftfahrzeug“ durchgeführt. Das Projekt zielt darauf ab, zukunftsweisende hybride und elektrifizierte Antriebskonzepte unterschiedlicher Fahrzeugklassen abzuleiten und dabei systematisch skalierbare Subsysteme und Komponenten sowie einhergehende Fahrzeugkonfigurationen zu simulieren und multikriteriell zu optimieren. Das Erreichen eines multikriteriellen Optimums beinhaltet neben dem Kraftstoffverbrauch auch weitere Bewertungskriterien, wie z. B. die Fahrleistung und Dynamik. Um aktuelle und zukünftige Antriebskonzepte darzustellen und zu simulieren, wurde in *Dymola* (DASSAULT SYSTÈMES 2012) eine Entwicklungsumgebung geschaffen, in welcher verschiedene Gesamtfahrzeugmodelle inklusive der jeweiligen Teilmodelle der Komponenten und Subsysteme hinterlegt sind.

Um eine Vorauswahl der **zahlreichen Möglichkeiten an Fahrzeugkonfigurationen** sowie an **zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen zukünftiger Kraftfahrzeuge** zu treffen, wurden einerseits **Technologieszenarios** und andererseits **Umfeldszenarios** aufgespannt. Die zeitaufwändigen Simulationen und Optimierungsrechnungen konnten somit auf ein notwendiges Maß reduziert werden. Das Aufspannen der Technologie- sowie der Umfeldszenarios erfolgte basierend auf der Methodik des Szenario-Managements nach GAUSEMEIER et al. 1995. Die Kopplung anhand der Technologieszenarios vorausgewählter, zukunftsweisender Komponenten und Fahrzeugkonfigurationen und anhand der Umfeldszenarios ermittelter Rahmenbedingungen zukünftiger Fahrzeuge findet im Anschluss im Rahmen der Simulationsumgebung statt. Eine Reihe von Schritten bei der Szenarioerstellung zur Verdichtung rele-

vanter Umfeldinformationen führt hierbei zu einem Informationsverlust, welcher sich auf die Schärfe der späteren Simulationen auswirken kann. So wurden zunächst über 80 Umfeldfaktoren im Bereich „Ressourcen und Technologie“, „Verkehrsstruktur“, „Markt und Konkurrenz“, „Wirtschaft“, „Soziodemographie“ sowie „Gesetzgebung“ zusammengetragen, aus welchen wenige Schlüsselfaktoren zur weiteren Projektion ausgewählt wurden. Der im Simulationsmodell hinterlegte Fahrzyklus (NEFZ – Neuer Europäischer Fahrzyklus) – welcher als wesentliche Rahmenbedingung hinsichtlich einzuhaltender Höchst- und Durchschnittsgeschwindigkeiten, Beschleunigungen, Bremsvorgänge sowie Standzeiten gesehen werden kann – wurde in der Folge basierend auf den projizierten Schlüsselfaktoren hinsichtlich möglicher Trend- und Extremszenarios variiert. So konnten zuvor im Rahmen der Technologieszenarios ermittelte Fahrzeugkonfigurationen bezüglich der verschiedenen Umfeldszenarios evaluiert werden.

Das simulationsgestützte Vorgehen erlaubt somit die **Kopplung von Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten** zur Identifikation vielversprechender Antriebskonzepte zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Innovationsprozess (siehe Bild 1-3). Das dargestellte Vorgehen ist jedoch mit einem sehr hohen Implementierungsaufwand der Simulationsumgebung sowie zur Erstellung der Einzelmodelle verbunden. Zudem müssen zukünftig mögliche Komponenten und Betriebsstrategien quantitativ hinterlegt sein, um entsprechende computergestützte Simulationen und Optimierungen durchführen zu können. Die späte Kopplung von Umfeld- und Technologieinformationen im Vorgehen führt außerdem dazu, dass eine **Zuordenbarkeit zwischen Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten** aufgrund der Verdichtung und Überführung der Rahmenbedingungen und Technologien **nicht möglich ist**.

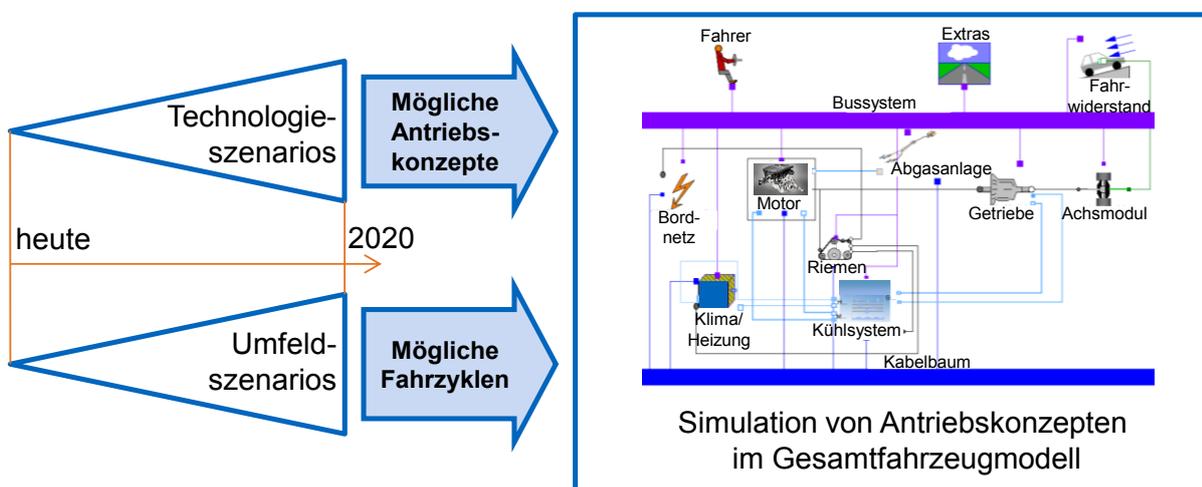


Bild 1-3: Kopplung von Rahmenbedingungen und Lösungsmöglichkeiten im Simulationsmodell
(Simulationsmodell in Anlehnung an HAUPT et al. 2007, S. 37)

Hieraus ergeben sich insbesondere für Planungsprojekte, welche zum einen nicht die Möglichkeit der Nutzung einer detaillierten computergestützten Simulationsumgebung haben und zum anderen eine **größere Nachvollziehbarkeit der Systemzusammenhänge anstreben**, zahlreiche Herausforderungen. So ist es z. B. von Interesse, eine **Gegenüberstellbarkeit der antizipierten Informationen ohne die Nutzung einer Simulationsumgebung** zu ermögli-

chen. Im dargestellten Projekt wurde zudem nur ein Planungshorizont adressiert. Bei solch strategisch wichtigen Stoßrichtungen bezüglich zukünftiger Fahrzeugkonfigurationen wäre es in der Folge sinnvoll, die **Durchgängigkeit vielversprechender Zukunftskonzepte über mehrere Zeithorizonte** zu analysieren. Im Simulationsmodell werden weiterhin insbesondere nutzungsspezifische Informationen gegenübergestellt, **Potenziale und Rahmenbedingungen der Leistungserstellung bleiben weitestgehend unberücksichtigt**. Wenn es jedoch um die Erbringung neuartiger Produkte geht – wie es bei der Ausarbeitung hybridisierter, elektrifizierter Fahrzeugkonzepte der Fall ist – sind die unternehmensbezogenen Rahmenbedingungen in der **Entwicklung und Produktion** sowie mögliche **Recycling**-Themen und Dienstleistungsaspekte (z. B. Betreibermodelle) neben der **Nutzungsphase** in eine **Gesamtevaluierung** der Produkte unbedingt einzubeziehen.

1.2.3 Ableitung von Herausforderungen

Angesichts der beschriebenen Ausgangssituation sowie der gezeigten Fallbeispiele besteht eine zentrale Herausforderung und ein Bedarf in der Stärkung eines umfassenden, **lebenszyklusbezogenen Systemverständnisses** der Zusammenhänge planungsrelevanter Informationen bezüglich **zukünftig zu erbringender Leistungsbündel**.

Um den Begriff eines „umfassenden, lebenszyklusbezogenen Systemverständnisses“ im Hinblick auf produktplanerische Tätigkeiten einzugrenzen, werden zunächst die diesbezüglich wichtigsten Themenschwerpunkte der Arbeit kurz angesprochen, bevor entsprechende Zielsetzungen in Kapitel 1.3 artikuliert werden. Ein umfassendes Systemverständnis bezieht sich zum einen auf ein **integriertes Verständnis des Lebenszyklus von Produkten und einhergehenden Dienstleistungen**. Hierbei sei zum einen ein Verständnis über die Lebenszyklusphasen, welche von einem Leistungsbündel von der Planung bis hin zum Recycling bzw. zur Auflösung durchlaufen werden, und ihrer Wechselwirkungen genannt. Zum anderen betrifft es die **Zusammenhänge zwischen Lösungsmöglichkeiten und Bedarfen**, welche hinsichtlich der einzelnen Phasen als planungsrelevant erachtet werden können. Hierbei ist von Interesse, wie die Lebensdauer von Leistungsbündeln bei der Antizipation von lebenszyklusphasenbezogenen Rahmenbedingungen und Lösungsmöglichkeiten zu berücksichtigen ist. Auch der Umgang mit unterschiedlichen Szenarios zum **Umgang mit Unsicherheit in der Planung** ist im Sinne eines umfassenden Systemverständnisses zu berücksichtigen, um **Zusammenhänge und Unterschiede zwischen verschiedenen Szenarios** darzulegen. Im Sinne des Verständnisses zeitlich aufeinander folgender, zukünftiger Leistungsbündelgenerationen ist es weiterhin von Bedeutung, die Leistungsbündelkonzepte auf ihre Konsistenz hin zu hinterfragen, um in der Folge **verschiedene Leistungsbündelgenerationen besser planen und umsetzen** zu können.

1.3 Zielsetzung und Abgrenzung des Themengebiets

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Leistungsbündelplanung als die der detaillierten Produkt- und Dienstleistungsentwicklung vorgelagerte Phase im Innovationsprozess. In diesem Kontext besteht die übergeordnete Zielsetzung darin, eine **verbesserte Entscheidungsgrundlage in der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel durch die Erhöhung**

der **Transparenz planungsrelevanter Systemzusammenhänge von Leistungsbündeln** zu schaffen. In der Folge gilt es, die lebenszyklusorientierte **Identifikation und Analyse** planungsrelevanter Systemzusammenhänge in den frühen Phasen des Innovationsprozesses zu unterstützen. Als planungsrelevante Zusammenhänge sind die **Wechselwirkungen der die verschiedenen Lebenszyklusphasen betreffenden Bedarfe und Potenziale** angesprochen, die es hinsichtlich der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung zu berücksichtigen gilt. Durch das „Frontloading“ eines umfassenden Systemverständnisses der Rahmenbedingungen bzw. Bedarfe und Potenziale sollen **lebenszyklusbezogene Inkompatibilitäten** frühzeitig erkannt werden, wodurch späteren kostenintensiven Änderungen entlang des Lebenszyklus vorgebeugt wird. Weiterhin zielt der zu entwickelnde Ansatz darauf ab, Informationen verschiedener **Stakeholder entlang des Lebenszyklus** bereits in der Planung **zusammenzuführen**, um kundenorientierte und gleichzeitig vom Unternehmen leistbare Entwicklungsvorschläge auszuarbeiten. Die Berücksichtigung der **zeitlichen Komponente** spielt hierbei eine bedeutende Rolle, um die sich verändernden Rahmenbedingungen und Potenziale für unterschiedliche Planungshorizonte zielgerichtet zu hinterfragen. Auch die **Durchgängigkeit** zwischen verschiedenen Generationen zukünftig zu erbringender Leistungsbündel trägt zur Zielerreichung **einer verbesserten Entscheidungsgrundlage** bei. Aus diesen Zielsetzungen heraus ergeben sich mehrere miteinander in Beziehung stehende Handlungsfelder (siehe Bild 1-4), welche im Folgenden anhand verschiedener Fragestellungen konkretisiert werden.

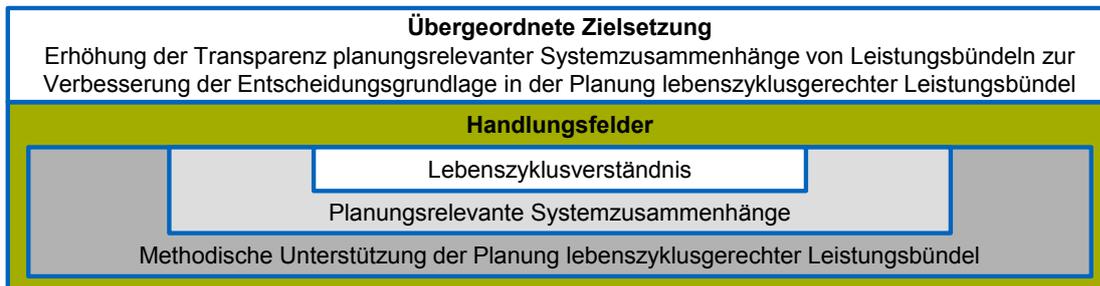


Bild 1-4: Zielsetzung und Handlungsfelder der Arbeit

Im ersten übergeordneten Handlungsfeld wird als Grundlage zur Unterstützung der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel ein **detailliertes Lebenszyklusverständnis** adressiert. Fragestellungen bezüglich dieses Handlungsfelds stellen sich wie folgt dar:

- Welche Phasen durchläuft ein Leistungsbündel während seines Lebenszyklus?
- Welche Phasen werden im Lebenszyklus disziplinübergreifend – d. h. für Produkt und Dienstleistung gemeinsam – durchlaufen und welche Phasen werden getrennt voneinander adressiert?
- Welche Faktoren entlang des Lebenszyklus sind umfeld-, unternehmens- und marktseitig in der Planung zukünftiger Leistungsbündel zu berücksichtigen?

Das zweite Handlungsfeld befasst sich mit **planungsrelevanten Systemzusammenhängen** zukünftig zu erbringender, lebenszyklusgerechter Leistungsbündel. Folgende Fragestellungen detaillieren dieses Handlungsfeld:

- Welche **leistungsbündelübergreifende Zusammenhänge** sind in der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel einzubeziehen?
- Welche **Elemente und Relationen** sind zur Identifikation und Analyse leistungsbündelspezifischer Systemzusammenhänge zu berücksichtigen?
- Welche Rolle spielen **temporale Zusammenhänge** in der Leistungsbündelplanung?

Das dritte übergeordnete Handlungsfeld adressiert in der Folge die **methodische Unterstützung der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel**. Hierbei gilt es, auf Basis der in den vorangegangenen Handlungsfeldern erlangten Erkenntnisse Ansätze für eine verbesserte Leistungsbündelplanung zu entwickeln. Folgende Fragestellungen sind in diesem Kontext von Bedeutung:

- Wie kann die Identifikation und Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge in der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung durch den **Einsatz von Methoden und Werkzeugen** unterstützt werden?
- Wie können die entwickelten Methoden **in bestehende Planungsprozesse eingebettet** werden?

Die in der Arbeit adressierte methodische Unterstützung grenzt sich hierbei in ihrer Zielsetzung und in ihrer Ausprägung deutlich von anderen etablierten lebenszyklusorientierten Herangehensweisen im Bereich systematischer Produktentwicklung ab. In diesem Kontext sei beispielsweise die Ökobilanzierung bzw. das Lifecycle Assessment (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009a) angesprochen, welches darauf abzielt, Umweltauswirkungen von Produkten entlang des Lebenszyklus „von der Wiege bis zur Bahre“ zu ermitteln und zu bewerten. Auch die Abgrenzung zum Product-Lifecycle-Management (z. B. ARNOLD et al. 2011, SAAKSUORI & IMMONEN 2008), welches primär auf ein durchgängiges Datenmanagement entlang des Lebenszyklus abzielt, ist deutlich gegeben. Themen des Anforderungsmanagements sowie der Lastenhefterstellung (Ausarbeitung von Entwicklungsvorschlägen) werden in der Arbeit nur randständig betrachtet und vor diesem Hintergrund nicht explizit aufgegriffen. Der Fokus der vorliegenden Arbeit besteht darin, eine verbesserte Entscheidungsgrundlage durch ein erhöhtes Systemverständnis in der Planung zu schaffen, der Prozess der Entscheidungsfindung selbst wird nicht näher betrachtet. In diesem Kontext relevante kennzahlenbasierte Auswahlverfahren – beispielsweise auch im Sinne einer wirtschaftlich orientierten Bewertung – werden hierbei nicht detailliert beleuchtet. Zudem sei an dieser Stelle noch darauf verwiesen, dass schwerpunktmäßig die Erarbeitung einer methodischen Unterstützung verfolgt wird, deren softwaregestützte Umsetzung steht dagegen nicht im Vordergrund.

1.4 Forschungsmethodik und Erfahrungsgrundlage

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über den in dieser Arbeit verfolgten wissenschaftlichen Ansatz sowie die einhergehende **Erfahrungsgrundlage** des Autors gegeben. Das wissenschaftliche Vorgehen lehnt sich stark an dem von BLESSING & CHAKRABARTI 2009 vorgeschlagenen Ansatz der **Design Research Methodology** (DRM) an. Die DRM umfasst hierbei vier Schritte, welche iterativ und teils simultan durchlaufen werden können. In Bild 1-5 sind die einzelnen Schritte der DRM dargelegt, wobei eine Zuordnung der Erfahrungs-

grundlage des Autors zu den jeweiligen Schritten erfolgt. Neben den literaturbasierten Ansätzen sind insbesondere die für die Themenstellung relevanten, vom Autor am Lehrstuhl für Produktentwicklung durchgeführten Forschungsprojekte angeführt.

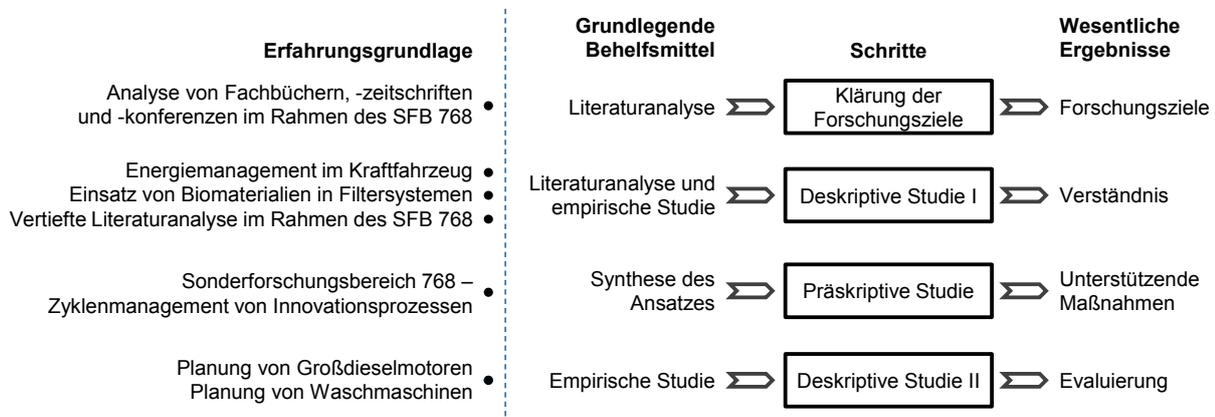


Bild 1-5: Erfahrungsgrundlage und gewählter Forschungsansatz
in Anlehnung an BLESSING & CHAKRABARTI 2009

Der erste Schritt der dargelegten Forschungsmethodik befasst sich mit der **Klärung der Forschungsziele**. Hier trägt eine literaturbasierte Situationsanalyse – wie sie auch für die vorliegende Arbeit hinsichtlich der lebenszyklusgerechten Leistungsbündelplanung erstellt ist – dazu bei, Forschungsziele zu artikulieren und den gewünschten Zielzustand zu beschreiben. In diesem Kontext wird auf die intensive Einbindung des Autors in die Vorbereitung sowie die Durchführung des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereichs (SFB) 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen“ verwiesen.

Der zweite Schritt, welcher teils parallel zum ersten Schritt läuft, befasst sich mit einer **ersten, empirisch gestützten deskriptiven Studie**. Neben einer vertieften Literaturanalyse tragen die bereits in 1.2 dargestellten Projekte zum Einsatz von Biomaterialien in Filtersystemen sowie zum Energiemanagement in zukünftigen Kraftfahrzeugen wesentlich zur Identifikation spezifischer Herausforderungen sowie zur differenzierten Aufgabenklärung bei. Nachdem entsprechende Fragestellungen ausgearbeitet sind, werden Anforderungen an die im Rahmen der **präskriptiven Studie zu entwickelnden Maßnahmen** abgeleitet. Die Ausarbeitung der Maßnahmen und Methoden zur lebenszyklusgerechten Produktplanung basiert wiederum im Wesentlichen auf den Forschungsarbeiten des Autors im Rahmen des Verbundprojekts SFB 768. Hierbei werden existierende Ansätze in Literatur und Industrie hinsichtlich einer lebenszyklusgerechten Produktplanung aggregiert und weiterentwickelt. Um die Teilergebnisse kontinuierlich zu reflektieren, sind diese durch wissenschaftliche, begutachtete Veröffentlichungen abgesichert. Zur Evaluierung der erzielten Ergebnisse hinsichtlich des industriellen Einsatzes mit Fokus auf Anwendbarkeit, Durchgängigkeit sowie Integrationsfähigkeit in bestehende Planungsprozesse, werden die entwickelten Maßnahmen in zwei Fallstudien im Rahmen der **zweiten deskriptiven Studie** mit unterschiedlichem Hintergrund eingesetzt und reflektiert. Die Forschungsarbeit entlang der vorgestellten Schritte wird durch verschiedene

Studienarbeiten unter inhaltlicher Vorbereitung, Anleitung und Betreuung des Autors unterstützt. Die in diesem Kontext relevanten Studienarbeiten sind im Anhang 8.2 aufgeführt.

1.5 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit (siehe Bild 1-6) orientiert sich an den Schritten der erläuterten Forschungsmethodik nach BLESSING & CHAKRABARTI 2009. Aufbauend auf den ersten dargelegten **Herausforderungen und Zielsetzungen sowie der Zusammenfassung der Motivationsbeispiele in Kapitel 1** erfolgt in **Kapitel 2** zunächst ein **literaturbasierter Überblick** über die wesentlichen Grundlagen der vorliegenden Arbeit. Neben der Erläuterung, wie sich die Arbeit in die Themenfelder der methodisch-systematischen Produktentwicklung sowie des Systems Engineerings einordnet, werden Arbeiten zur Produktplanung, zum Umgang mit Leistungsbündeln, zur Lebenszyklusorientierung sowie zur System- und Abhängigkeitsmodellierung vorgestellt. Im Anschluss erfolgt in **Kapitel 3** die Darstellung erster **Herangehensweisen**, sich dem Thema **planungsrelevanter Systemzusammenhänge in der Leistungsbündelplanung** zu nähern. Hierfür werden aufbauend auf einem den Lebenszyklus von Leistungsbündeln beschreibenden Modell Wechselwirkungen zwischen den Lebenszyklusphasen auf Basis generischer Gestaltungsrichtlinien hinterfragt.

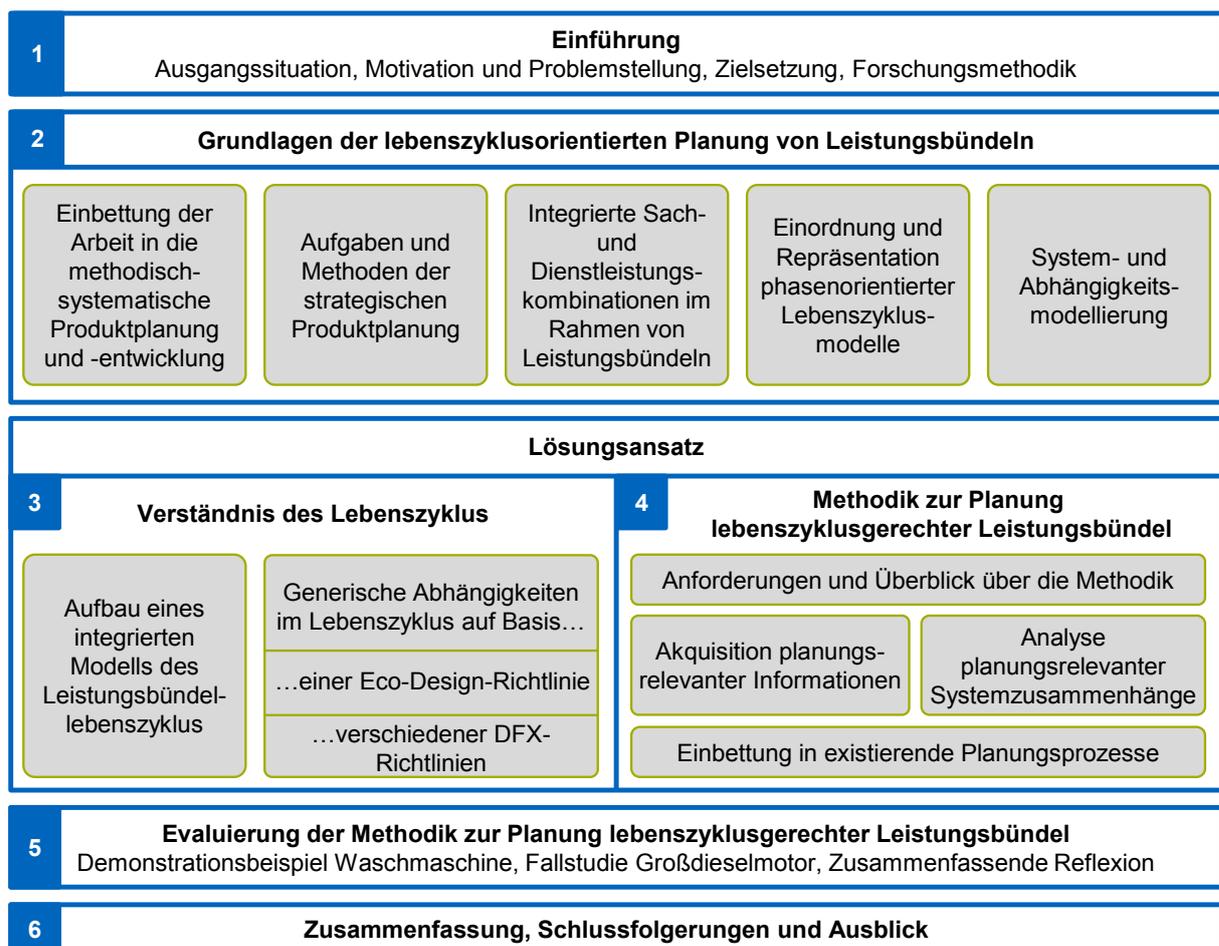


Bild 1-6: Struktur der Arbeit

Nach der generischen Auseinandersetzung mit planungsrelevanten Systemzusammenhängen wird in **Kapitel 4** zudem der Umgang mit **Wechselwirkungen leistungsbündelspezifischer Potenziale und Rahmenbedingungen** entlang des Lebenszyklus adressiert. Die dafür vorgeschlagene Methodik – bestehend aus verschiedenen Methoden zur Akquisition und Analyse planungsrelevanter Informationen – baut wiederum auf dem in Kapitel 3 erarbeiteten, integrierten Modell des Leistungsbündellebenszyklus auf. In **Kapitel 5** werden zur **Evaluation des entwickelten Ansatzes** anschließend zwei Anwendungsbeispiele hinsichtlich der Planung von Großdieselmotoren sowie von Waschmaschinen dargestellt. Die Arbeit schließt in **Kapitel 6** mit einer Zusammenfassung, Schlussfolgerungen aus der Arbeit sowie einem Ausblick auf mögliche anschließende Themenstellungen.

2. Grundlagen der lebenszyklusorientierten Planung von Leistungsbündeln

Dieses Kapitel befasst sich mit dem Stand der Forschung bezüglich der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel. Ausgehend von der Einbettung der Arbeit in die systematische Produktentwicklung und -planung sowie das Systems Engineering in Kapitel 2.1 werden in Kapitel 2.2 etablierte, für diese Arbeit grundlegende Aufgabengebiete, Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge der strategischen Produktplanung aufgezeigt. Kapitel 2.3 fokussiert in der Folge den zentralen Betrachtungsgegenstand des Leistungsbündels sowie damit verbundene methodisch-systematische Ansätze. Im Anschluss werden in Kapitel 2.4 und 2.5 die spezifischen Grundlagen der in Kapitel 1.3 adressierten Handlungsfelder detailliert beleuchtet. Zur Vertiefung einer umfassenden Perspektive auf zukünftig zu erbringende Leistungsbündel werden Aspekte und Modelle des Lebenszyklus von Produkten, Dienstleistungen und integrierten Leistungsbündeln in Kapitel 2.4 dargelegt. In Kapitel 2.5 werden zunächst grundlegende Arbeiten zur Modellierung planungsrelevanter Systemzusammengänge aufgezeigt. Abschließend werden Ansätze im Bereich des strukturellen Komplexitätsmanagements als spezifische Grundlage zur zielgerichteten Identifikation und Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge vorgestellt und reflektiert.

2.1 Methodisch-systematische Unterstützung der Produktplanung und -entwicklung

Die Erarbeitung von methodischen Ansätzen zur Erhöhung der Transparenz in der strategischen Planung von Sach- und Dienstleistungskombinationen (siehe Kapitel 1.3) ist eingebettet in die Forschungsfelder der integrierten Produktentwicklung sowie des Systems Engineerings. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Kapitel zunächst wesentliche Begrifflichkeiten zu den Forschungsfeldern dargelegt, bevor in den folgenden Kapiteln etablierte Ansätze der strategischen Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel im Detail dargestellt werden.

2.1.1 Methodische Ansätze der integrierten Produktentwicklung

Nach ULRICH & EPPINGER 2004 (S. 2) umfasst die **Produktentwicklung** eine Reihe von Aktivitäten, welche mit der Wahrnehmung von Marktchancen beginnen und bis hin zur Produktion sowie zum Vertrieb des Produkts reichen. PONN & LINDEMANN 2011 (S. 9) grenzen den Begriff der Produktentwicklung stärker ein und stellen heraus, dass Entwickler im Produktentwicklungsprozess „*als Individuen oder in Teams Konzepte und Gestaltlösungen für innovative Produkte*“ generieren. Um die rechtzeitige Entwicklung marktfähiger Produkte zu gewährleisten, adressieren PAHL et al. 2007 (S.10) die Bedeutung einer **methodisch-systematischen Arbeitsweise** in Ergänzung zu einer rein intuitiv geprägten Produktentwicklung. EHRENSPIEL 2009 (S. 192) hebt zudem die Relevanz einer **integrierten, ganzheitlichen Herangehensweise** in der Produktentwicklung unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus und einer systembezogenen anstatt einer nur eng produktbezogenen Sichtweise

hervor. Dies stützt er zum einen auf einen grundsätzlichen Paradigmenwechsel in den Ingenieurwissenschaften von einer „Elementarisierung“ hin zu einer „Integration“ (EHRENSPIEL 2009, S. 192) und zum anderen auf den Nutzen eines Informationsrückflusses aus den verschiedenen Phasen entlang des Produktlebenszyklus hin zu den frühen Phasen der Produktplanung und -entwicklung. Zur Betonung des Lebenszyklus im Rahmen der methodisch-systematischen Produktentwicklung hat sich der Einsatz sogenannter **Design for X-Richtlinien** etabliert. Diese Richtlinien geben für ein bestimmtes, oftmals lebenszyklusbezogenes Entwicklungsziel X (z. B. X=Montage bzw. Recycling) Gestaltungshinweise und somit Vorschläge für die Festlegung der Produkteigenschaften bezüglich der Erreichung dieser Entwicklungsziele (siehe MEERKAMM 1994, LINDEMANN 2007a).

Im Sinne einer **systematischen Produktplanung und -entwicklung** kann zwischen folgenden Arten von methodischen Ansätzen (auch Hilfsmittel bzw. Techniken genannt) unterschieden werden: Vorgehensmodell, Methode, Methodik und Werkzeug. Unter **Vorgehensmodell** wird *„die Abbildung wichtiger Elemente einer Handlungsfolge, die als Hilfsmittel zum Planen und Kontrollieren von Prozessen dienen können“* (LINDEMANN 2009, S. 337) verstanden. Ein Prozess stellt dabei eine *„Folge von Aktivitäten unter Nutzung von Information und Wissen sowie materiellen Ressourcen“* dar (LINDEMANN 2009, S. 16). Eine **Methode** beschreibt dagegen ein *„planmäßiges, regelbasiertes Vorgehen nach dessen Vorgabe bestimmte Tätigkeiten auszuführen sind, um ein gewisses Ziel zu erreichen“* (LINDEMANN 2009, S. 333). Werden mehrere Methoden oder Vorgehenspläne zusammengefasst bzw. wirken mehrere Einzelmethoden zusammen, so spricht man von einer **Methodik** (LINDEMANN 2009, S. 333; PULM 2004, S. 79). **Werkzeuge** als weiterer Betrachtungsgegenstand unterstützen wiederum die Anwendung von Methoden (LINDEMANN 2009, S. 337).

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt auf der Erarbeitung von Methoden zur lebenszyklusgerechten Leistungsbündelplanung, wobei diese im Sinne einer Methodik nicht voneinander isoliert, sondern zusammenwirkend betrachtet werden. Die Darlegung relevanter Vorgehensmodelle erfolgt in der vorliegenden Arbeit insbesondere zur Ableitung von Handlungsschwerpunkten der zu erarbeitenden Methoden sowie zu deren Einordnung. Die Ausarbeitung von Werkzeugen zur (rechnergestützten) Anwendung der entwickelten Methoden findet nur soweit statt, dass eine Evaluation der erarbeiteten, zusammenwirkenden Methoden ermöglicht wird.

2.1.2 Komplexität und Systems Engineering

Einen Schwerpunkt in der methodisch-systematischen Produktentwicklung stellen Ansätze zum Umgang mit der **Produkt- und Prozesskomplexität** dar (LINDEMANN 2009, S. 8). Die Komplexität definiert sich dabei aus einer hohen Anzahl und Unterschiedlichkeit an Elementen (z. B. Komponenten, Produktfunktionen), einer hohen Anzahl und Vielfalt an Relationen zwischen den Elementen sowie den unterschiedlichen möglichen Zuständen dieser Elemente und Relationen (EHRENSPIEL 2009, S. 35). Diese Definition von Komplexität spiegelt sich auch bei MANSON 2001 wider, der zwischen der algorithmischen, deterministischen und aggregierten Komplexität unterscheidet. Während die algorithmische und deterministische Komplexität auf mathematischen Beschreibungen bzw. wenigen Annahmen zur Beschreibung komplexer Systeme beruht, befasst sich die aggregierte Komplexität mit der ganzheitlichen

Betrachtung eines Systems auf Basis der **Interaktion der einzelnen Systemelemente** (MANSON 2001, S. 409).

Dabei kann der Begriff **System** nach DAENZER et al. 1988 (S. 11) als „*eine Gesamtheit von Elementen verstanden werden, die miteinander durch Beziehungen verbunden sind*“. HASKINS 2011 (S. 5) beschreibt ein System als integrierten Satz von Elementen oder Subsystemen, welche organisiert werden, um einen oder mehrere Zwecke zu erreichen; die Elemente beinhalten Produkte, Prozesse, Personen, Informationen, Techniken, Einrichtungen, Dienstleistungen und weitere unterstützende Elemente. LINDEMANN 2009 (S. 336) beschreibt ein System ebenfalls durch in Relation stehende Elemente, wobei er die Bedeutung der Abgrenzung des Systems vom Umfeld durch eine Systemgrenze herausstellt; das System selbst ist dabei nicht isoliert vom Umfeld zu betrachten, sondern ist mit diesem über Input- und Output-Größen verbunden.

Ein zentrales Forschungsfeld bezüglich der Auseinandersetzung mit Systemen stellt das Systems Engineering dar. **Systems Engineering** wird von DAENZER et al. 1988 (S. 4) vereinfacht als „*Wegleitung zur zweckmäßigen und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systeme*“ beschrieben. Nach NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION 2007 (S. 3) wird Systems Engineering als ganzheitliche, integrierende Herangehensweise beschrieben, um disziplinübergreifend ein System zu entwickeln, welches den gesetzten Anforderungen unter Berücksichtigung sich beeinflussender Randbedingungen gerecht wird. HASKINS 2011 (S. 6) stellt die Bedeutung einer die unterschiedlichen Lebenszyklusphasen berücksichtigenden Herangehensweise heraus, d. h. Systems Engineering begleitet ein System von der Erhebung der Kundenanforderungen bis hin zur Entsorgung.

In der Vergangenheit haben sich unterschiedliche, zum Teil überlappende Forschungsschwerpunkte und einhergehende Ansätze zur Unterstützung des Systems Engineerings etabliert. Im Kontext der formalisierten Systemmodellierung ist beispielsweise die Entwicklung der Modellierungssprache SysML (Systems Modeling Language), welche auf UML (Unified Modeling Language) basiert, anzuführen (siehe z. B. WEILKIENS 2008, DURUGBO et al. 2010). Ein weit verbreiteter Ansatz zum Umgang mit Komplexität im Rahmen des Systems Engineerings stellt das Gebiet System Dynamics dar, welches die Simulation des Zusammenspiels sich zeitlich verändernder Systemelemente und in der Folge das Verhalten des gesamten betrachteten Systems adressiert (FORRESTER 1994, S. 247).

Ein weiteres Themenfeld im Bereich des Systems Engineerings adressiert das **strukturelle Komplexitätsmanagement** (MAURER 2007, LINDEMANN et al. 2008). In Anlehnung an die Bedeutung der aggregierten Komplexität nach MANSON 2001 zielt dieses auf das Verständnis und den Umgang mit der inneren Struktur sowie zwischen den Systemelementen bestehenden Relationen ab. Die **Struktur eines Systems** ergibt sich nach HABERFELLNER et al. 2012 (S. 35) dadurch, dass die Elemente und Beziehungen in einem System ein Gefüge bilden und in der Folge eine Ordnung aufweisen; hierbei können Elemente selbst wiederum als einzelne Systeme aufgefasst werden, wodurch sich Übersysteme und Untersysteme (Subsysteme) ergeben. LINDEMANN 2009 (S. 336) definiert den Begriff Struktur ähnlich wie HABERFELLNER et al. 2012 als „*gegliederter Aufbau eines Systems, dessen Teilsysteme und Elemente wechselseitig voneinander abhängen*“. Die Bedeutung des Verständnisses über die Systemstruktur umschreibt DAENZER et al. 1988 (S. 12) wie folgt: „*Erst die Kenntnis der Elemente und ihrer*

strukturellen Anordnung schafft die Voraussetzung für das Verstehen von Systemen und erläutert die Aussage, dass das Ganze mehr ist als die Summe der Teile“.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an, indem das strukturelle Komplexitätsmanagement sowie entsprechende Methoden zur Erhöhung des Systemverständnisses bezüglich der lebenszyklusgerechten Leistungsbündelplanung angewendet und weiterentwickelt werden. Hierbei bezieht sich das Systemverständnis insbesondere auf das in der lebenszyklusorientierten Planung befindliche, zukünftig zu erbringende und aus verschiedenen Perspektiven betrachtete Produkt bzw. Leistungsbündel. Zu berücksichtigende Systemelemente und -relationen sowie deren Interaktion mit dem Umfeld lassen sich dabei unter der Begrifflichkeit „**planungsrelevante Systemzusammenhänge**“ zusammenfassen.

Eine detaillierte Darstellung von Methoden des strukturellen Komplexitätsmanagements findet erst in Kapitel 2.5.2 statt. Dies soll es dem Leser ermöglichen, zunächst grundlegende Begrifflichkeiten und Aufgaben der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung nachzuvollziehen, bevor der in diesem Rahmen anwendbare und weiterzuentwickelnde Methodenrahmen des strukturellen Komplexitätsmanagements skizziert wird.

2.2 Strategische Produktplanung

Die Planung von Produkten und Dienstleistungen dient der Identifikation und Ausarbeitung erfolgversprechender Entwicklungsvorschläge und -aufträge (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1980; GAUSEMEIER et al. 2009). Die Produktplanung, welche vorgelagert zur Entwicklung und Konstruktion stattfindet, verfolgt zur nachhaltigen **Sicherung des Unternehmenserfolgs** die Zielsetzung, die Qualität von Produktideen zu steigern und in der Folge einem Scheitern der Produkte entlang des Lebenszyklus vorzubeugen (PAHL et al. 2007, S. 103). Dabei stellt neben der inhaltlichen **Definition des Produktportfolios** auch die zeitliche **Koordination des Markteintritts neuer Produkte** eine wesentliche Aufgabe der Produktplanung dar (ULRICH & EPPINGER 2004). Der Sonderforschungsbereich 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen“ (LINDEMANN 2007b), in dessen Rahmen die vorliegende Arbeit zur lebenszyklusgerechten Leistungsbündelplanung eingebettet ist, knüpft auch an der zeitlichen und inhaltlichen Koordination zukünftig zu erbringender Sach- und Dienstleistungen an.

Zunächst findet eine inhaltliche und begriffliche Einordnung der strategischen Planung bezüglich des Managements von Innovationsprozessen in Kapitel 2.2.1 statt. Daran anschließend erfolgt die Darstellung von Vorgehensmodellen und des Aufgabenbereichs der strategischen Produktplanung in Kapitel 2.2.2, bevor spezifische Methoden der strategischen Produktplanung in Kapitel 2.2.3 näher dargelegt werden.

2.2.1 Strategische Produktplanung als Teil von Innovationsprozessen

Die Fähigkeit, fortwährend Innovationen zu schaffen, stellt für produzierende Unternehmen einen entscheidenden Stellhebel dar, um die eigene Position im globalen Wettbewerb nachhaltig zu stärken und somit langfristig am Markt zu bestehen (STERN & JABERG 2010, S. 3; TIDD et al. 2005, S. 5). Der Begriff der **Innovation** kann aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden. In diesem Kontext stellt HAUSCHILDT 2004 (S. 7) verschiedenste diskutier-

te Beschreibungen des Begriffs „Innovation“ vor, um diesen darauf aufbauend selbst wie folgt zu definieren: demnach handelt es sich um „...*qualitativ neuartige Produkte oder Verfahren, die sich gegenüber dem vorangegangenen Zustand merklich – wie auch immer das zu bestimmen ist – unterscheiden.*“ Eine erfolgreiche Einführung und Nutzung des neuartigen Produkts bzw. Verfahrens differenziert die Innovation von der reinen Invention. OECD & EUROSTAT 2005 (S. 16) und RATH 2008 (S. 17) differenzieren in diesem Kontext neben den bereits angedeuteten Produktinnovationen und Prozess- bzw. Verfahrensinnovationen auch Marktinnovationen sowie Sozial- bzw. Organisationsinnovationen. Auch KINKEL et al. 2004 verweisen darauf, dass neben den technischen Produktinnovationen zur Beschreibung möglicher Innovationsstrategien ein weiterer Innovationsbegriff vonnöten ist und unterscheiden daher **Prozess- und Produktinnovationen** sowie **technisch und nicht-technische Innovationen** (siehe Bild 2-1). An KINKEL et al. 2004 (S. 11) anknüpfend nennen GAUSEMEIER et al. 2009 (S. 197) für den Bereich der innovativen Prozesstechnik das Beispiel der Fertigungsautomatisierung, für die innovative Organisation neue Ansätze zum Simultaneous Engineering sowie für innovative Produkt-Dienstleistungskombinationen Finanzierungsangebote.

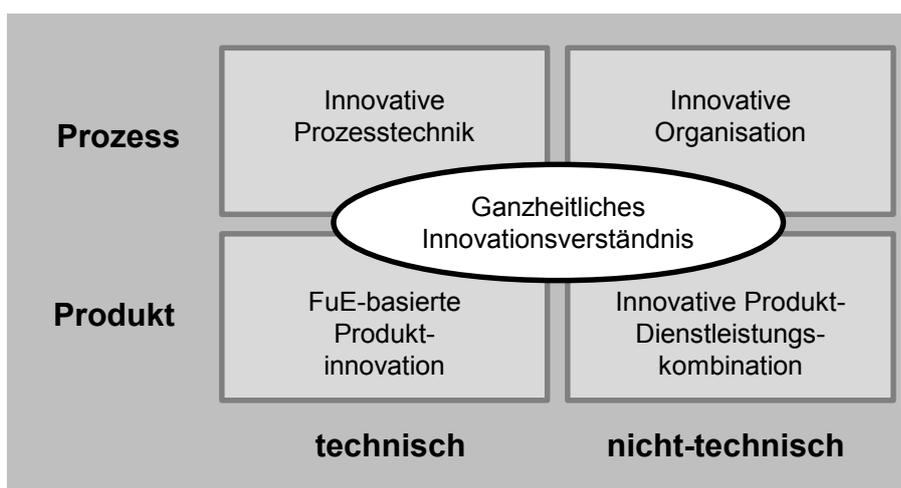


Bild 2-1: Matrix zum ganzheitlichen Innovationsverständnis (KINKEL et al. 2004, S. 11)

Eine weitere in der Literatur diskutierte Differenzierung von Innovationen stellt der **Neuheits- bzw. Innovationsgrad** dar. Nach RATH 2008 (S. 22) und HAUSCHILDT 2004 (S. 15) wird häufig zwischen Innovationen mit hohem Neuheitsgrad (z. B. auch diskontinuierliche, revolutionäre, radikale Innovation genannt) und niedrigem Neuheitsgrad (z. B. auch kontinuierliche, evolutionäre, inkrementelle Innovation genannt) unterschieden. HAUSCHILDT 2004 (S. 15-21) diskutiert im Folgenden Möglichkeiten zur feingliedrigeren Beschreibung des Neuheitsgrades und schlägt vor, basierend auf unternehmensspezifisch angepassten Checklisten zu einer differenzierten und situationsspezifischen Einschätzung des Innovationsgrads zu gelangen.

Um nicht lediglich eine gute Idee bzw. Invention darzustellen, grenzt sich die Innovation durch die Nützlichkeit und Anwendbarkeit und in der Folge **erfolgreiche Markteinführung** ab (HAUSCHILDT 2004, STERN & JABERG 2010, DISSELKAMP 2005). TROTT 2008 (S. 15) beschreibt Innovation als einen Management-Prozess, welcher die Aktivitäten zur Ideengenerierung, Entwicklung, Umsetzung und Einführung eines neuen (bzw. verbesserten) Produkts

bzw. Fertigungsprozesses koordiniert. Neben diesem **Modell des Innovationsprozesses** haben sich für verschiedene Betrachtungsschwerpunkte unterschiedliche Modelle herausgebildet. GROBKLAUS 2008 wiederum betont die Bedeutung der erfolgreichen Markteinführung. In seinem Modell des Innovationsprozesses skizziert er neben den Stufen der Durchführung, welche zur Entscheidungsfindung notwendig sind, auch den Bereich der unternehmensinternen Rahmenbedingungen zur Generierung und Umsetzung der Innovation sowie den Zugriff auf externe Nutzungsmöglichkeiten, welche vom innovierenden Unternehmen entlang des Innovationsprozesses herangezogen werden können. RATH 2008 adressiert im vorgeschlagenen Modell des Innovationsprozesses ebenfalls verschiedenste Phasen vom Anstoß einer Innovation bis zur Markteinführung, wobei in diesem Modell unterschiedliche Bewertungs- und Entscheidungsschritte im Sinne eines Stage-Gate-Prozesses (COOPER 2002, KLEINSCHMIDT et al. 1996) hinterlegt sind. RATH 2008 (S. 30) verweist darauf, dass in der Praxis das idealtypisch dargestellte Prozessmodell nicht zwingend komplett durchlaufen werden muss und einzelne Phasen auch **parallel und iterativ** durchlaufen werden können. GAUSEMEIER et al. 2001 greifen diesen Gedanken in einem Modell des Produktinnovations- bzw. Produktentstehungsprozesses, welches sich aus drei aufeinander aufbauenden Zyklen definiert, auf (siehe Bild 2-2).

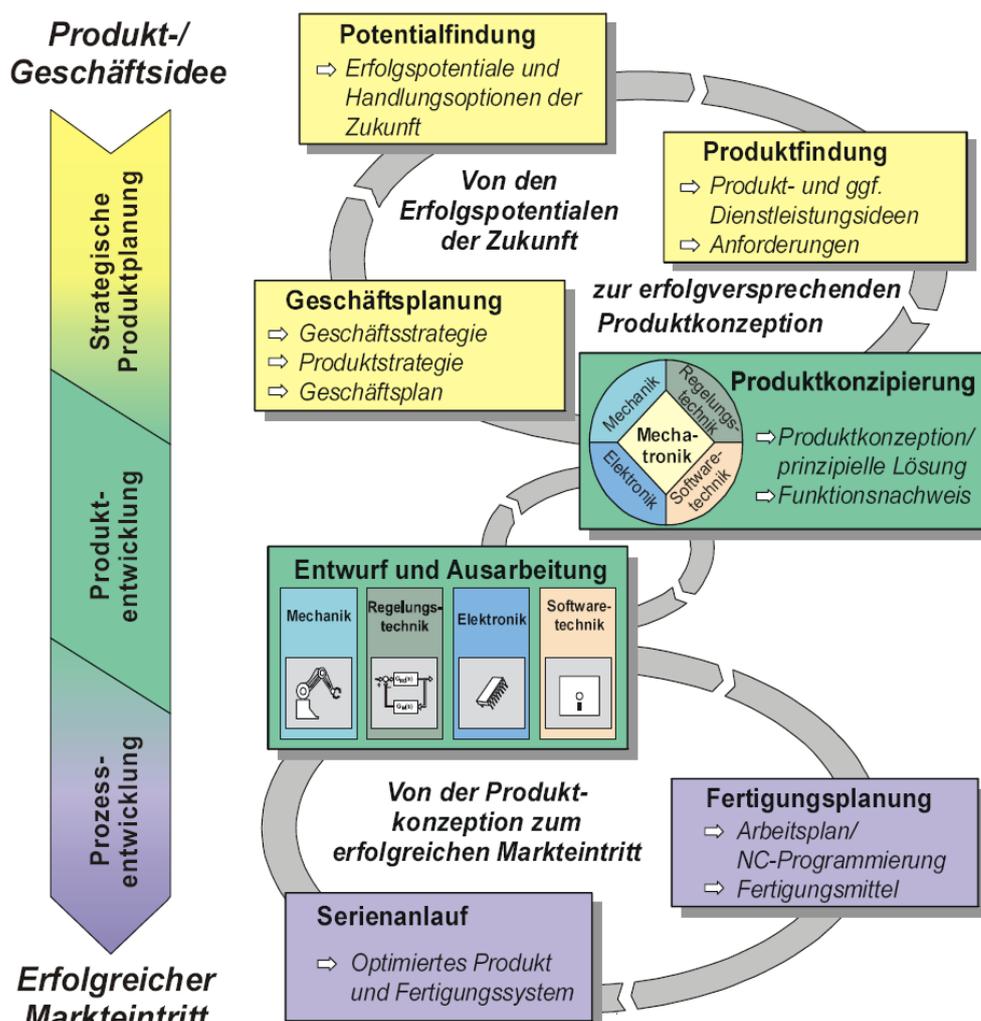


Bild 2-2: Produktinnovations- bzw. Produktentstehungsprozess (GAUSEMEIER et al. 2001, S. 44)

Das im Projekt „SFB 768 – Zyklusmanagement von Innovationsprozessen“ (LINDEMANN 2007b) definierte Modell des Innovationsprozesses adressiert ebenfalls mögliche Iterationen entlang des Innovationsprozesses. Diese werden durch ein Bussystem entlang der Phasen des sequenziell dargestellten Prozesses visualisiert (siehe Bild 1-1). In Ergänzung zu vielen der existierenden Modelle von Innovationsprozessen stellt jenes des SFB 768 auch die Bedeutung der integrativen Betrachtung von kombinierten Sach- und Dienstleistungsinnovationen im Rahmen von Leistungsbündeln heraus.

Der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung ordnet sich hierbei in die frühen Phasen des Innovationsprozesses ein. Im Modell nach GAUSEMEIER et al. 2001 sei hierbei auf die Phase der **strategischen Produktplanung** verwiesen, im Modell des Innovationsprozesses im SFB 768 werden insbesondere die Phasen der **Bedarfsklärung, Problemanalyse und Ideenfindung** adressiert. Nach dieser ersten Einordnung der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung in Innovationsprozesse wird im Folgenden näher auf den spezifischen Aufgabenbereich der strategischen Produktplanung eingegangen.

2.2.2 Aufgabenbereich der strategischen Produktplanung

Die strategische Produktplanung kann zur Darstellung des Aufgabenbereichs und des Vorgehens durch die Einordnung in das übergeordnete **strategische Management** (nach KRAUT 2002 (S. 22) gleichbedeutend mit strategischer Unternehmensführung und strategischer Führung) charakterisiert werden. Das Ziel des strategischen Managements nach HUNGENBERG 2011 (S. 19) ist es demnach, „... *die Marktposition eines Unternehmens und die Ausgestaltung seiner Ressourcenbasis so zu bestimmen, dass das Unternehmen Vorteile im Wettbewerb aufbauen und langfristig erfolgreich bestehen kann*“. Basierend auf ersten Ansätzen zur Langfristplanung entwickelte sich das strategische Management zu einer eigenständigen Disziplin (vgl. BRAUN 2005, HUNGENBERG 2011, GERST 2002). Dabei weisen BEA & HAAS 2009 (S. 16 FF.) insbesondere auf die Bedeutung einer **integrativ-systemischen Sichtweise** hin und artikulieren den Gedanken eines System-Umwelt-Fits, welcher die Abstimmung zwischen dem System Unternehmung sowie seiner Umwelt herausstellt.

Der Begriff der **Strategie** im Kontext des strategischen Managements wird in der Literatur unterschiedlich diskutiert. Eine oft zitierte und im Kontext dieser Arbeit zutreffende Definition stellt die nach WELGE & AL-LAHAM 2008 (S. 22) dar, nach welcher eine Strategie „... *als die grundsätzliche, langfristige Verhaltensweise (Maßnahmenkombination) der Unternehmung und relevanter Teilbereiche gegenüber ihrer Umwelt zur Verwirklichung der langfristigen Ziele*“ definiert wird. Die Vielschichtigkeit strategischen Managements zeichnet sich dadurch aus, dass Ziele auf unterschiedlichen Ebenen definiert werden können. So unterscheidet CAMPHAUSEN 2007 in der von ihm vorgeschlagenen **Zielhierarchie** zwischen Vision, Unternehmensleitbild, Unternehmensziele, Geschäftsbereichsziele und Funktionsbereichsziele. HUNGENBERG 2011 verweist ebenfalls auf unterschiedliche Ebenen des strategischen Managements, konzentriert sich in seinen Ausführungen aber speziell auf das strategische Management auf Unternehmens- und auf Geschäftsfeldebene.

Ein wesentlicher Bestandteil des strategischen Managements stellt nach BEA & HAAS 2009 die **strategische Planung** dar. Diese wird demnach als „*informationsverarbeitender Prozess zur Abstimmung von Anforderungen der Umwelt mit den Potenzialen des Unternehmens in der Absicht, mit Hilfe von Strategien den langfristigen Erfolg eines Unternehmens zu sichern*“ definiert (BEA & HAAS 2009, S. 54). Der Prozess der strategischen Planung umfasst verschiedene Schritte von der Zielbildung bis hin zur Strategieimplementierung (siehe Bild 2-3), wobei der Abgleich der unterschiedlichen Phasen durch die Rück- und Vorkopplungspfeile angedeutet ist.

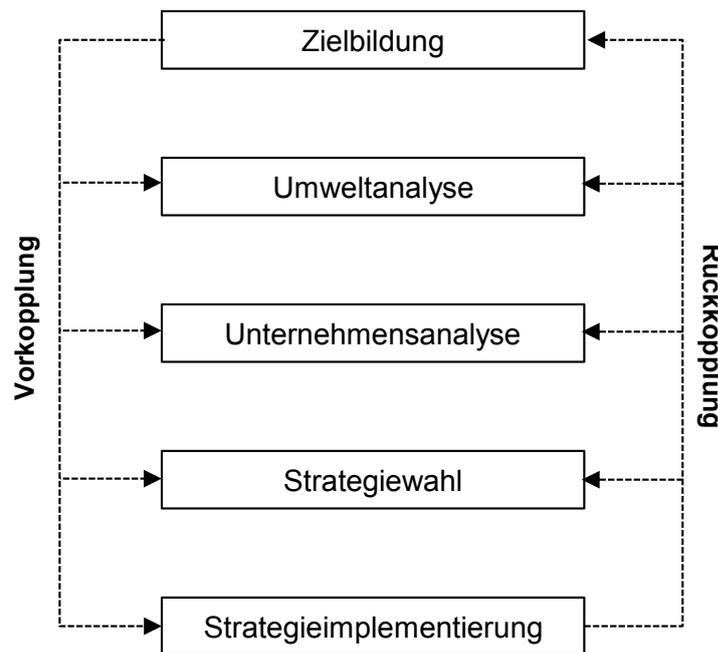


Bild 2-3: Komponenten des strategischen Planungsprozesses (BEA & HAAS 2009, S. 58)

Die im wirtschaftswissenschaftlichen Bereich allgemein diskutierten Ansätze des strategischen Managements und speziell der strategischen Planung werden im Forschungsfeld der integrierten Produktentwicklung auch auf Ebene der **strategischen Produktplanung**, in welcher die Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel anzusiedeln ist, konkretisiert. Einige der in diesem Rahmen erarbeiteten **Vorgehensmodelle** zur strategischen Produktplanung werden im Folgenden vorgestellt.

Ein grundsätzliches Vorgehen in der strategischen Produktplanung kann – wie bereits in Bild 2-2 dargestellt – anhand des ersten Zyklus des Produktinnovationsprozesses nach GAUSEMEIER et al. 2001 beschrieben werden. Eine wesentliche Aufgabe der Produktplanung besteht neben der **Identifikation von Erfolgspotenzialen** der Zukunft in der darauf aufbauenden Erschließung von Produkt- und Dienstleistungsideen im Rahmen der **Produktfindung**. Die Schnittstelle zum zweiten Zyklus – der Produktentwicklung – findet im Bereich der Produktkonzipierung statt, wobei die im vorangegangenen Schritt abstrakt definierten Produktideen in konkretere Produktmodelle überführt werden. Planungsseitig ist die Produktkonzipierung eng mit der Geschäftsplanung verknüpft, welche die Ableitung der Geschäfts- und Produktstrate-

gie umfasst. In diesem Kontext betonen BERGER & VIENENKÖTTER 2004 (S. 9), dass die strategische Produktplanung bereits eine erste **Produktkonzipierung** beinhalten muss, damit ein fundierter Geschäftsplan – welcher den Nachweis über die Rentabilität einer Innovation darlegt – überhaupt abgeleitet werden kann. Zur Produktkonzipierung schlägt LENDERS 2009 (S. 109) eine freiheitsgradbasierte Lösungsfindung vor. Diese zielt darauf ab, bereits in den frühen Phasen der Lösungsraumdefinition Restriktionen und Freiheitsgrade umfangreich zu identifizieren und zu dokumentieren. Dies befähigt den Planer dazu, einerseits den Lösungsraum sinnvoll einzugrenzen und andererseits den Handlungsspielraum weiterhin sinnvoll offen zu halten.

Ein weiteres etabliertes Vorgehensmodell der strategischen Planung stellt jenes der VDI-Richtlinie 2220 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1980) dar (siehe Bild 2-4). Demnach umfasst die Produktplanung „auf der Grundlage der Unternehmensziele die systematische Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produktideen und deren weitere Verfolgung“ (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1980, S. 2). Die in der Produktplanung zusammengefassten **Tätigkeiten der Produktfindung**, der **Produktplanungsverfolgung** sowie der **Produktüberwachung** sind an die weiteren Schritte des Produktlebenszyklus – nämlich der Produktrealisierung (Entwicklung und Fertigung) sowie der Produktbetreuung (Markteinführung, Vertrieb, Produkttod) – über das Produktmanagement eng gekoppelt. Die Grenzen der zu bewältigenden Aufgaben der Produktplanung werden dabei von der Unternehmensplanung gezogen.

Als wesentliche Eingangsgrößen in den Planungsprozess sind einerseits „**Informationen aus Markt und Umfeld**“ sowie „**Informationen aus dem Unternehmen**“ zu sehen. Darauf basierend werden sowohl zukunftsweisende Suchfelder als auch Unternehmenspotenziale abgeleitet. Die abgeleiteten Suchfelder (für Produktfindung vorzuziehende Aktionsbereiche) und Unternehmenspotenziale (Informations-, Sachmittel-, Personal- und Finanzpotenziale) werden in den folgenden Schritten zur Generierung von Produktideen herangezogen. Zudem werden diese im Rahmen der Selektion identifizierter Produktideen reflektiert, um ein weiter zu verfolgendes Produkt zu definieren und einen entsprechenden Entwicklungsvorschlag – welcher nach positiver Entscheidung durch die Geschäftsleitung in einen Entwicklungsauftrag mündet – zu artikulieren.

Die VDI-Richtlinie 2220 stellt den der Produktrealisierung vorausgehenden Schritten unterschiedlichste **Methoden und Werkzeuge** zur Verfügung. Zur Ableitung der Suchfelder und Unternehmenspotenziale dienen beispielsweise verschiedene Checklisten. Zur Ideensuche wird weiterhin eine Auswahlmatrix vorgeschlagen, welche eine zielgerichtete Auswahl etablierter Methoden zur Lösungssuche – wie Brainstorming, 635 Methode, Synektik, etc. – bezüglich unterschiedlicher Charakteristika der Lösungssuche – wie „Bekanntheitsgrad des Problems“, „gewünschte Lösungsmenge“ oder auch „zur Verfügung stehende Zeit bis zur Entscheidung“ – erlaubt. Auch die Ideenselektion wird unterstützt, wobei hier ein dreistufiges Vorgehen vorgeschlagen wird, welches auf einer Grobbewertung (z. B. durch eine einfache Punktbewertung) aufbauend eine qualitative Feinbewertung (z. B. durch Nutzwertanalyse) sowie eine qualitativ-quantitative Bewertung (durch Kennzahlenermittlung) vorsieht.

Die Begleitung der weiteren Lebenszyklusphasen durch die Produktplanung im Rahmen der Produktplanungsverfolgung sowie der Produktüberwachung wird ebenfalls methodenseitig unterstützt. Die **Produktplanungsverfolgung** adressiert den periodischen Abgleich des Ist-

Standes mit den im Entwicklungsauftrag hinterlegten Sollwerten entlang der Produktrealisierung, um Abweichungen rechtzeitig zu identifizieren und entsprechende Anpassungsmaßnahmen abzuleiten. Daran anschließend erfüllt die mit Beginn der Markteinführung startende **Produktüberwachung** die Aufgabe, durch die Interpretation von Kennzahlen und der Bewertung der Erfolgsaussichten das Kosten- und Erfolgsverhalten der am Markt befindlichen Produkte zu kontrollieren und Maßnahmen zur weiteren **Steuerung des Produktportfolios** abzuleiten.

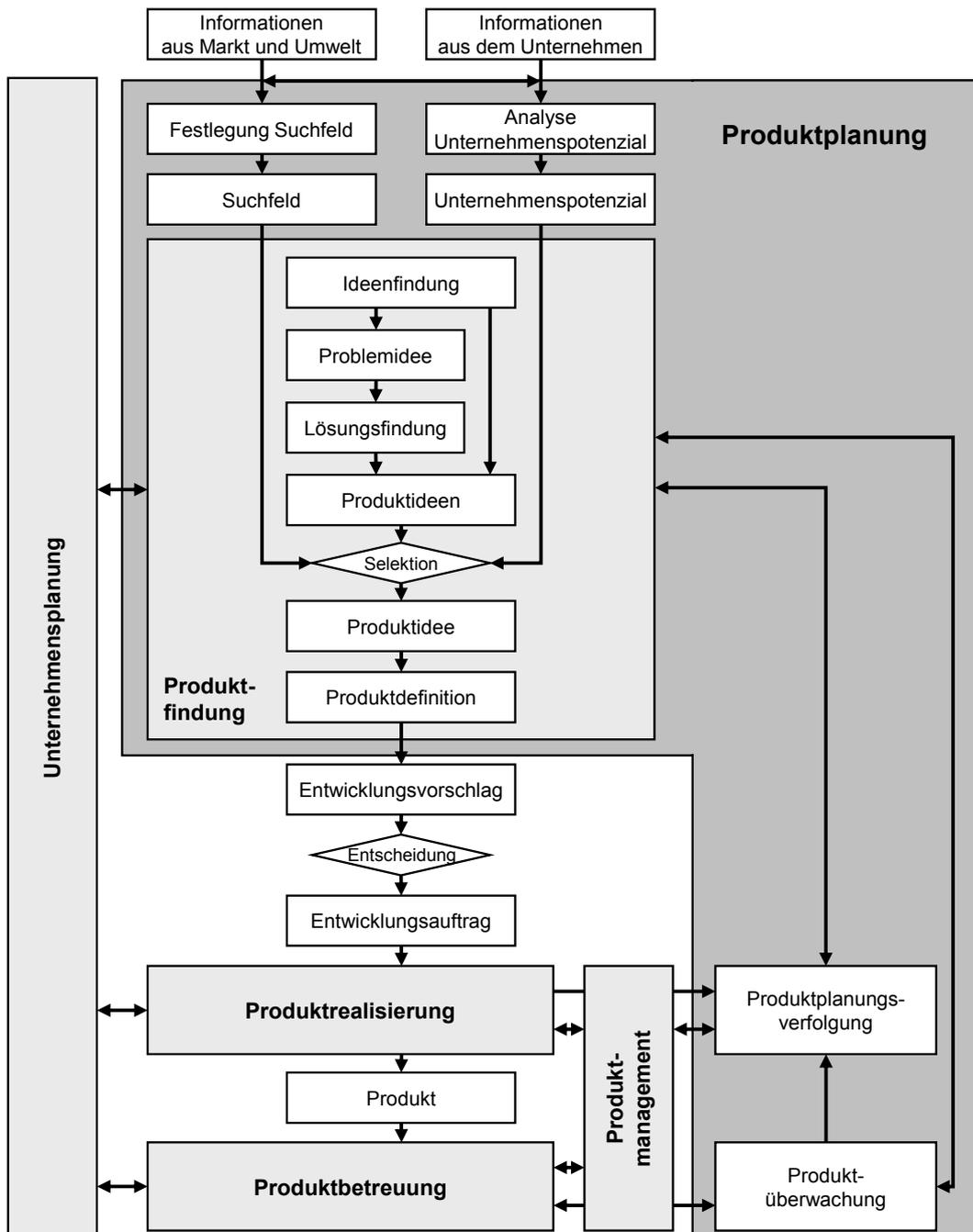


Bild 2-4: Vorgehen in der Produktplanung nach VDI-Richtlinie 2220 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1980, S. 3) sowie BRAUN 2005 (S. 55)

Zusammenfassend stellt die VDI-Richtlinie 2220 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1980, S. 13) in der Diskussion um die Organisation der Aufgaben in der Produktplanung nochmals heraus, dass

- „... das Koordinieren der produktbezogenen Aktivitäten aller betroffenen Unternehmensbereiche,
- das Lösen von Zielkonflikten, die aufgrund unterschiedlicher Interessen der einzelnen Bereiche im Hinblick auf die Produkte des Unternehmens bestehen und
- das Systematisieren aller Aktivitäten, die auf die Produkte des Unternehmens ausgerichtet sind...“

als **drei wesentliche disziplinübergreifende Handlungsfelder** zu sehen sind. An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an, indem ein systematischer Ansatz zur Identifikation und Analyse von möglichen lebenszyklusphasenübergreifenden Konflikten bezüglich der Konfiguration zukünftig zu erbringender Produkte und einhergehender Dienstleistungen adressiert wird. Insbesondere die in VDI-Richtlinie 2220 hinterlegte Phase der Selektion, in welcher Produktideen mit Suchfeldern und Unternehmenspotenzialen abgeglichen werden, gilt es im Rahmen dieser Arbeit zu unterstützen.

Auch im Bereich der **integrierten Produktentwicklung** gibt es zahlreiche Ansätze, welche sich spezifisch mit der früh im Produktentstehungsprozess anzusiedelnden Phase der Produktplanung auseinandersetzen. In diesem Zusammenhang liefern PAHL et al. 2007 ein sequenzielles Vorgehensmodell, dessen einzelne Schritte vergleichbar mit denen der VDI-Richtlinie 2220 sind (siehe Bild 2-5). Darüber hinaus hebt das Vorgehensmodell hervor, dass es durch Rücksprünge zwischen den einzelnen Schritten zu Iterationen im Produktplanungsprozess kommen kann. Zudem zeigt das Vorgehensmodell nach PAHL et al. 2007, dass im Planungsprozess sowohl kurzfristig am Markt zu platzierende Produkte, als auch mittel- und langfristige Entwicklungsziele berücksichtigt werden müssen.

ULRICH & EPPINGER 2004 gehen ebenfalls detailliert auf die Phase der Produktplanung ein. Als **Motivation für eine systematische Produktplanung** adressieren diese zunächst zahlreiche Aspekte, welche bei einer nicht entsprechend sorgfältigen Planung des zukünftigen Produktportfolios eintreten können. So kann es neben der ungenügenden Abdeckung von Zielmärkten mit wettbewerbsfähigen Produkten auch zum falschen Markteintrittszeitpunkt dieser kommen. Auch die fehlende Einschätzung von produkterstellungsrelevanten Kapazitäten sowie die einhergehende mangelhafte Ressourcenallokation werden neben der fehlenden Fähigkeit, unprofitable Produkte zu identifizieren und vom Markt zu nehmen, als Folgen unzureichender Planungsaktivitäten angesprochen (ULRICH & EPPINGER 2004, S. 35). Zuletzt adressieren ULRICH & EPPINGER 2004 noch die mangelnde Durchgängigkeit bei der Richtungswahl des zukünftigen Projektportfolios.

Während beispielsweise die VDI-Richtlinie 2220 sowie PAHL et al. 2007 die einzelnen Schritte der Produktfindung ansprechen, gehen ULRICH & EPPINGER 2004 bei der Vorstellung des Planungsprozesses insbesondere auf die **Projektplanung zukünftig zu erbringender Produkte** ein. Demnach wird im Anschluss an die Identifikation von Produktmöglichkeiten die Evaluierung und Priorisierung einhergehender Projekte durchgeführt. Aufbauend auf dem daraus resultierenden Projektportfolio findet eine darauf abgestimmte Zeitplanung und Res-

sourcenallokation statt, welche wiederum in einen Produktplan mündet. Nach Finalisierung der vorläufigen Planung parallel anzugehender Projekte werden darauf basierend projektspezifische Zielstellungen von der Produktplanung an den Entwicklungsprozess übergeben.

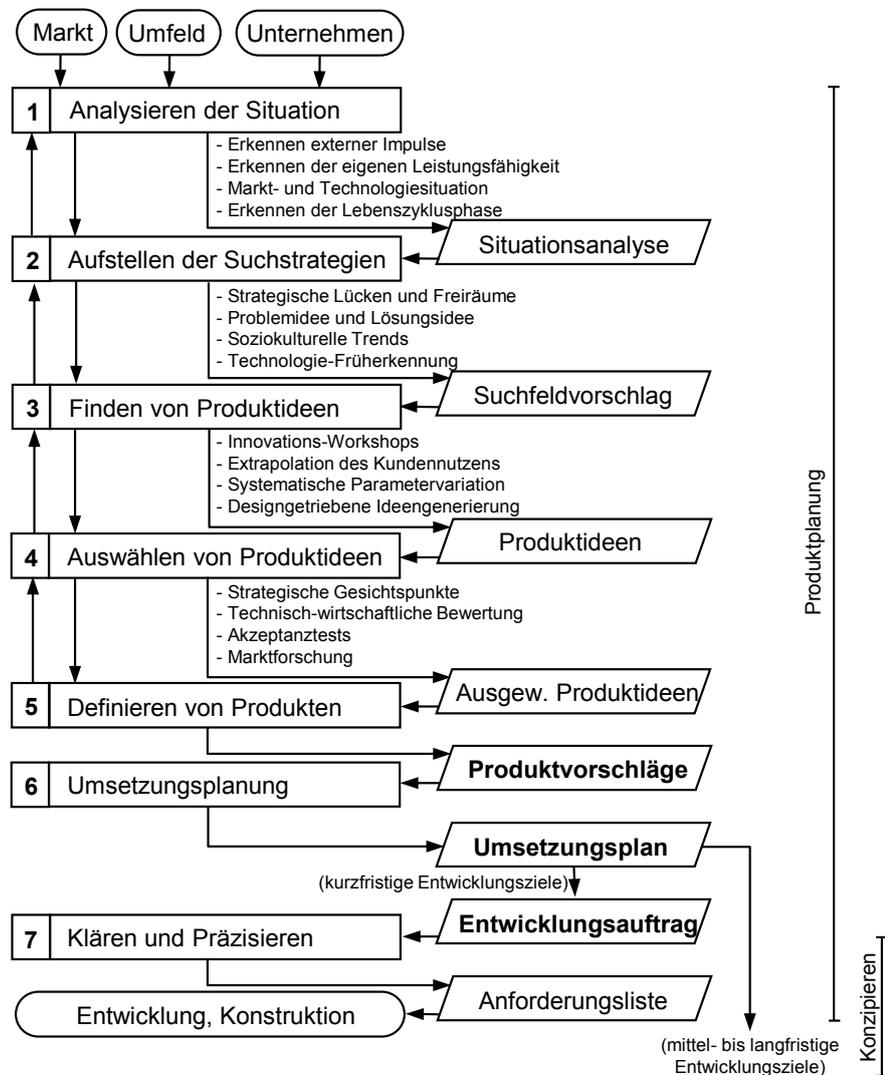


Bild 2-5: Vorgehen in der Produktplanung nach PAHL et al. 2007 (S. 105)

Im Bereich des **Innovationsmanagements** sind ebenfalls Vorgehensmodelle verankert, welche den Schwerpunkt auf planerische Aufgaben legen und somit als Vorgehensmodelle zur Produktplanung gesehen werden können. Diese Aufgaben sind z. B. im **W-Modell** (siehe Bild 2-6) nach BRANDENBURG 2002, welches wesentliche Phasen der Innovationsplanung darstellt und in die „InnovationRoadMap-Methodik“ nach EVERSHEIM 2003 eingebettet ist, hinterlegt. Die Methodik verfolgt „... den Zweck, durch die Zielbildung zu beschreiben, was erreicht werden soll, welche alternativen Wege hierzu beschritten werden können (Zukunftsanalyse, Ideenfindung, Ideenbewertung), diese Wegbeschreibung im Zeitablauf sukzessive zu konkretisieren (Ideendetaillierung, Konzeptbewertung) und an der eingangs formulierten Zielsetzung wider zu spiegeln (Umsetzungsplanung)“ (BRANDENBURG 2002, S. 50). Hierbei wird von

BRANDENBURG 2002 hervorgehoben, dass die Schritte 1, 2 und 7 aufgrund der Dynamik von unternehmens-, technologie- und marktbezogenen Einflussfaktoren periodisch zu wiederholen sind und die Schritte 3, 4, 5 und 6 als kontinuierliche Aktivitäten in die Produktplanung einzubetten sind.

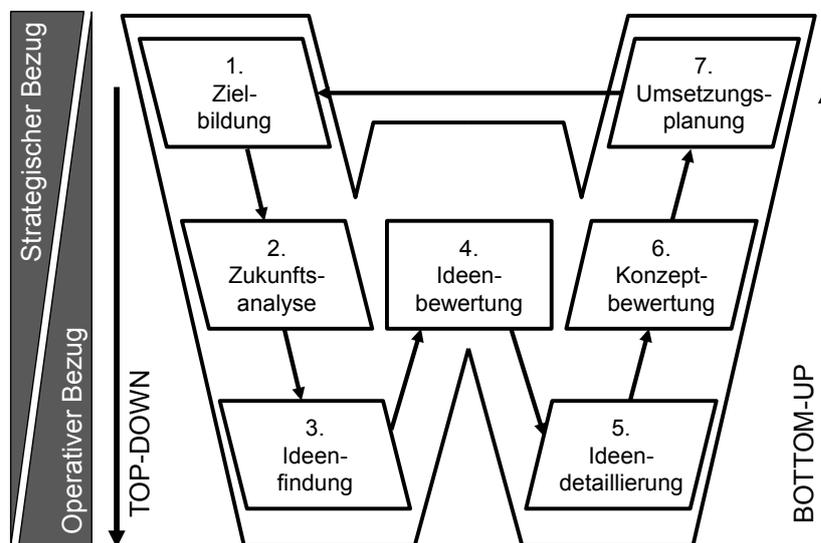


Bild 2-6: W-Modell zur Innovationsplanung nach BRANDENBURG 2002 (S. 51)

Auch im Forschungsfeld des **Anforderungsmanagements** gibt es zahlreiche Vorarbeiten, welche planungsassoziierte Aufgaben darstellen und sich zum Teil in entsprechenden Vorgehensmodellen widerspiegeln. Doch während die vorangegangenen Ansätze im Bereich des Innovationsmanagements oder auch der strategischen Produktplanung Produktideen und einhergehende Ausgestaltungen in den Mittelpunkt der Betrachtung stellen, fokussiert das Anforderungsmanagement insbesondere die systematische Ermittlung, Dokumentation, Abstimmung, Prüfung und Verwaltung von Anforderungen (POHL & RUPP 2010, S. 37). Im Kontext der Anforderungsermittlung wird der Begriff des Stakeholders hervorgehoben. Demnach ist „ein Stakeholder eines Systems eine Person oder Organisation, die (direkt oder indirekt) Einfluss auf die Anforderungen des betrachteten Systems hat“ (POHL & RUPP 2010, S. 12). Vor dem Hintergrund der geschilderten Aufgaben und Teilhaber am Anforderungsmanagement kann dieses als ein die Produktplanung, aber auch den weiteren Innovationsprozess begleitender Aufgabenbereich gesehen werden.

Die Verortung von Anforderungen an das neue Produkt im Innovationsprozess wird beispielsweise von AGOURIDAS et al. 2008 (S. 22) im Rahmen der Diskussion eines übergreifenden Prozesses zur **Anforderungsdefinition neuer Produkte** dargelegt (siehe Bild 2-7). In Anlehnung an CAGAN & VOGEL 2002 (S. 109-114), welche im Bereich der Produktplanung die vier Phasen des Identifizierens, des Verstehens, des Konzeptionierens sowie des Realisierens zur Strukturierung des „Fuzzy Front Ends“ adressieren, stellen die Anforderungen eine ganzheitliche Produktdefinition als Ergebnis der Phase des Verstehens dar. Dabei wird wiederum die Berücksichtigung unterschiedlicher Stakeholder entlang des Lebenszyklus hervorgehoben.

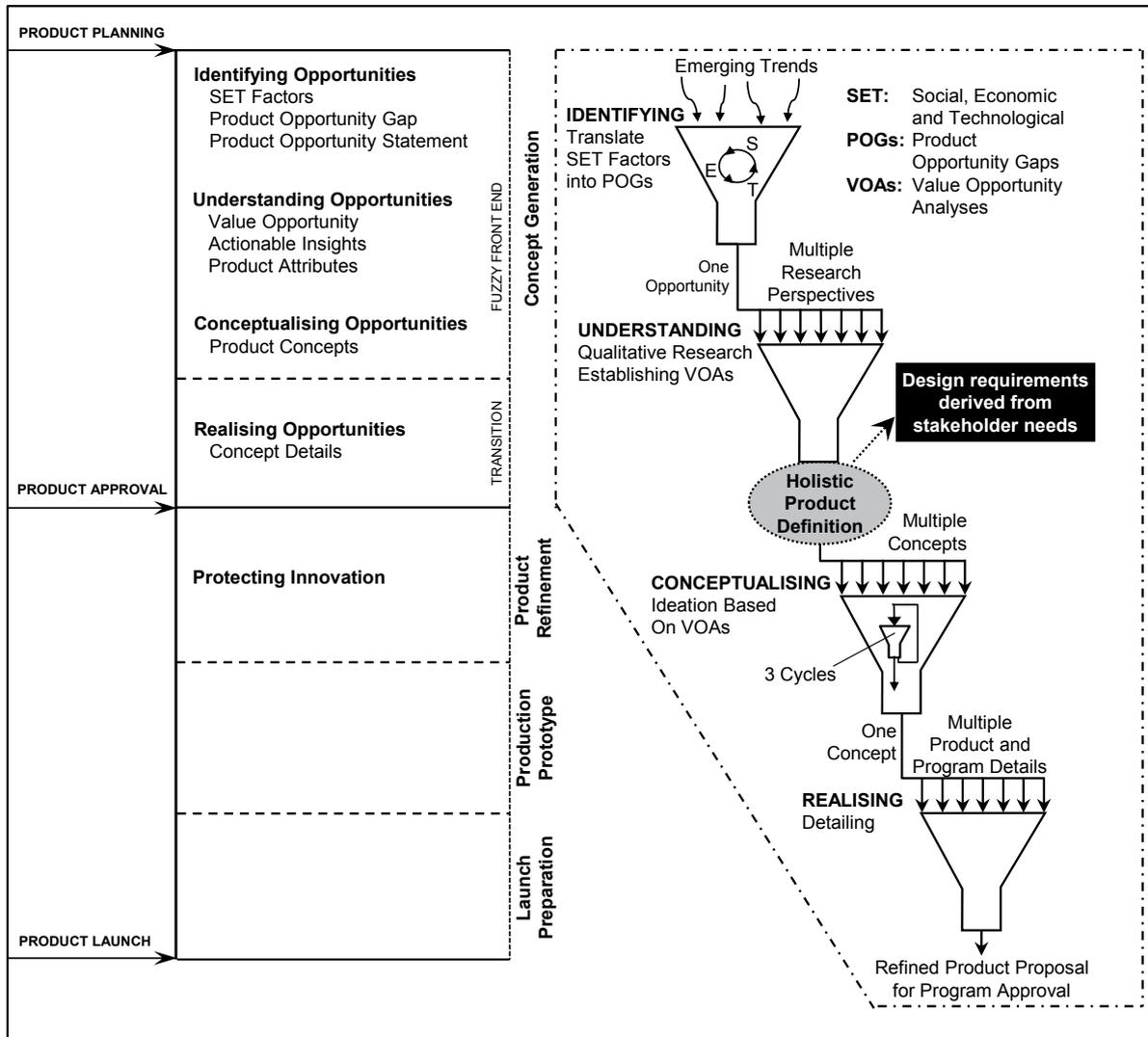


Bild 2-7: Einordnung von Produktanforderungen im Planungsprozess nach AGOURIDAS et al. 2008 (S. 22)

Neben der tätigkeitsbezogenen Perspektive zeigt das Vorgehensmodell zum Anforderungsmanagement nach HULL et al. 2005 (S. 7), welches an das im Software-Engineering weit verbreitete V-Modell angelehnt ist, **unterschiedliche Ebenen der Repräsentation von Anforderungen** (siehe Bild 2-8). In diesem Kontext heben HULL et al. 2005 (S. 10) auch die Bedeutung der Nachvollziehbarkeit (Traceability) zwischen den einzelnen dokumentierten Anforderungen der unterschiedlichen Ebenen hervor.

Nach HASKINS 2011 (S. 92) dient eine hinterlegte Nachvollziehbarkeit von Anforderungen folgenden Aspekten:

- Verbesserung der **Vollständigkeit und Genauigkeit** aller Anforderungen, von der Systemebene bis hin zur kleinsten Betrachtungseinheit,
- **Nachverfolgung** der Anforderungsentwicklung und Generierung sowie Zuordnung entsprechender Maßnahmen,

- Unterstützung einer **vereinfachten Wartung und Änderung** des Systems in der Zukunft.

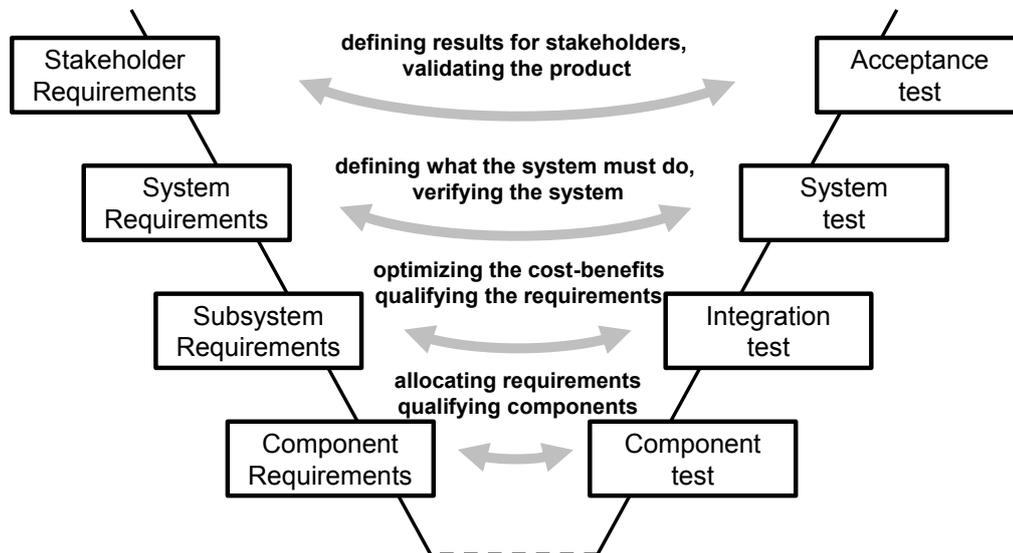


Bild 2-8: Anforderungsmanagement in Ebenen nach HULL et al. 2005 (S. 7) in Anlehnung an das V-Modell

Zusammenfassend lassen sich aus den verschiedenen Forschungsfeldern zur Produktplanung wesentliche Aufgabenbereiche der Produktplanung darstellen. So spielt die Akquisition und Gegenüberstellung von Potenzialen und Rahmenbedingungen bezüglich des zukünftigen Produkts bzw. Leistungsbündels eine wesentliche Rolle. In diesem Kontext sind unterschiedliche Stakeholder entlang des gesamten Lebenszyklus einzubinden. Um der Dynamik dabei zu berücksichtigender Einflussfaktoren gerecht zu werden, ist die Planung zukünftiger Leistungsbündel periodisch durchzuführen und die Nachvollziehbarkeit von Änderungen und Unterschieden zwischen verschiedenen Planungen zu gewährleisten.

2.2.3 Methodische Unterstützung der Produktplanung

Die im Rahmen von Kapitel 2.2.2 dargelegten Aufgabenbereiche zur strategischen Planung können durch verschiedenste **Planungstechniken** unterstützt werden. Nach BEA & HAAS 2009 (S. 60) stellen Planungstechniken „... *strukturierte und formalisierte Instrumente zur Erleichterung und Verbesserung von Wahrnehmungs- und Denkprozessen dar, die bei der Planung zu bewältigen sind*“. Dieses Kapitel gibt einen Ausschnitt der Planungstechniken bzw. methodischen Ansätze, welche insbesondere der Akquisition und Projektion planungsrelevanter Informationen sowie der Darstellung und Reflexion abgeleiteter Ergebnisse dienen.

Akquisition planungsrelevanter Informationen

Zur **Identifikation zukunftsrelevanter Rahmenbedingungen und Bedarfe** bietet sich der Einsatz von Methoden im Bereich der Anforderungsklä rung an. Einen Überblick über Suchgebiete zur Identifikation von Anforderungen stellen **Checklisten**, wie beispielsweise von

EHRENSPIEL 2009 (S. 385) bzw. PAHL et al. 2007 (S. 220) dar. Dabei werden Hauptmerkmale des zukünftigen Produkts (z. B. Geometrie, Sicherheit, etc.) auf ihren zukünftigen Sollzustand hin reflektiert. Insbesondere die Planung von Merkmalen bezüglich des zu durchlaufenden Lebenszyklus wird durch die Berücksichtigung von Hauptmerkmalen wie beispielsweise „Fertigung“, „Transport“ oder auch „Gebrauch“ adressiert. Zu jedem der Hauptmerkmale sind auch Beispiele zugeordnet, so dass die Person, welche die Anforderungsklä- rung bzw. Pro- duktplanung übernimmt, durch die Checkliste in Hinblick auf Anforderungen des geplanten Produkts inspiriert wird. Auch ROTH 2000 greift in seinen Maßnahmen zur Anforderungsklä- rung eine Checkliste auf, wobei er diese als **Suchmatrix** aufbaut. Während in den Zeilen die unterschiedlichen Lebenslaufphasen eingetragen sind, beziehen sich die Spalten auf Eigen- schaften und Bedingungen dieser Lebenslaufphasen (siehe Bild 2-9). Die Felder der Such- matrix werden durch eine detaillierte Beispielsammlung befüllt, wobei diese Beispiele auf verschiedenste Branchen und technische Produkte anwendbar sind.

Eigenschaften u. Bedingungen		a	Technisch-physikalische			
		b	Technologische u. funktionelle	Physikalische u. naturbezogene		
1	2	Nr.	1	Technisch-physikalische Eigenschaften und Bedingungen		
Her- stellung	Produkt- planung, Entwicklung, Konstruktion	1	1.1 Stand der Technik, Entwicklungs-Know-How	Lebenslauf- phasen	Technologische und funktionelle	
	Arbeitsvor- bereitung, Teile- fertigung	2	2.1 Verfügbare Fertigungs- u. Betriebsmittel, technologisches Know-how		Her- stellung	Stand der Technik , bekannte Pionierkonstruktionen, neu- artige Lösungsprinzipie, extreme Leistungen und Bau- größen, Miniaturisierung; im Betrieb verfügbare und son- stige beschaffbare Erfahrungen, vergleichbare Konkur- renzprodukte; verfügbare Laboreinrichtungen (Prüfstände, Meßgeräte u. ä.); EDV (Hardware, Software), Analogrech- ner, zeichentechnische Hilfsmittel; Nachbarprodukte, Bau- reihen
	Montage	3	3.1 Verfügbare Mon- tagewerkzeuge und Hilfsmittel		Arbeitsvor- bereitung, Teile- fertigung	Verfügbare Werkzeugmaschinen, Vorrichtungen und son- stige Betriebsmittel nach Art, Abmessungen und Leistun- gen (z. B. Drehbankspitzenlänge und -höhe, realisierbare Schnittgeschwindigkeit, Pressenkräfte, erzielbare Toleran- zen und Rauigkeiten); Automatisierungsgrad der Fer- tigung, verfügbare Steuerungs- und Regelungsmöglichkei- ten (NC-Maschinen); verfügbare Lagerteile, Halbzeuge und Materialien; Rücksicht auf Teilefamilien, Wiederholteile u. Gruppenfertigung, Stückzahlen, Losgrößen; Rücksicht auf technologische Bedingungen einzelner Fertigungsver- fahren (verarbeitbare Werkstoffe, Bedingungen hinsicht- lich Form und Gestaltung: z. B. Ausform- bzw. Ausheb- barkeit u. fließgerechte Gestaltung bei Guß- u. Schmiede- teilen, geeignete Werkzeuganschnitte für Bohren, Räumen, Fräsen usw., zulässige Biegeradien, Lage der Gesenk- oder Formteilung, Rücksicht auf Walztexturen u. ä.); Zerspan- volumen, Verschnitt, Zahl der Aufspannungen, Zahl der Arbeitsgänge pro Teil, Fertigungstiefe des Produkts; Qua- litätskontrolle, Meßeinrichtungen und -geräte, Prüfwerk- zeuge

Bild 2-9: Ausschnitt aus der Suchmatrix nach ROTH 2000 (S. 72) zur Anforderungsklä- rung (JUNG 2006, S. 44)

Zur Unterstützung des Prozesses der Anforderungsaquisition schlagen RÖDER et al. 2011 ähnlich zu den Hauptmerkmalen nach EHRENSPIEL 2009 oder auch den einzelnen Feldern in der Suchmatrix nach ROTH 2000 den Ansatz sogenannter **Anforderungscluster** vor. Diese sollen den Entwickler im Prozess der Anforderungsklä- rung durch die Standardisierung sowie

die Automatisierung spezifischer Prozessschritte unterstützen. Durch das Zurückgreifen auf Anforderungskcluster wird ein schneller Zugriff auf Anforderungen zu bestimmten Themen erlaubt. Ein Cluster wäre nach RÖDER et al. 2011 beispielsweise „Geometrische Ausmaße“. Unter diesem Cluster wären dann Anforderungen wie „Höhe“ oder auch „Länge“, welche das Themenfeld „Geometrische Ausmaße“ detaillieren, zusammengefasst.

Neben den Dimensionen des Lebenslaufs sowie damit einhergehender Eigenschaften und Bedingungen nehmen LANGER & LINDEMANN 2009 weitere Aspekte zur Klassifikation und Klärung **produktentwicklungsrelevanter Kontextfaktoren** auf. Das auf Basis bestehender Ansätze zur Beschreibung von entwicklungsrelevanten Kontextfaktoren abgeleitete Modell (siehe Bild 2-10) umfasst hierbei auch die Unterscheidung zwischen Kontextfaktoren – d. h. Potenzialen und Rahmenbedingungen – welche **Unternehmens-, Markt- und Umfeldbezug** haben. Zudem wird zwischen absatz- und beschaffungsbezogenen Kontextfaktoren unterschieden. Obschon der eigentliche Einsatzzweck des entwickelten Modells darin besteht, die Phase der Entwicklung zu unterstützen, kann das Modell auch im Rahmen der Produktplanungsphase im Sinne der frühzeitigen Konzeptentwicklung herangezogen werden.

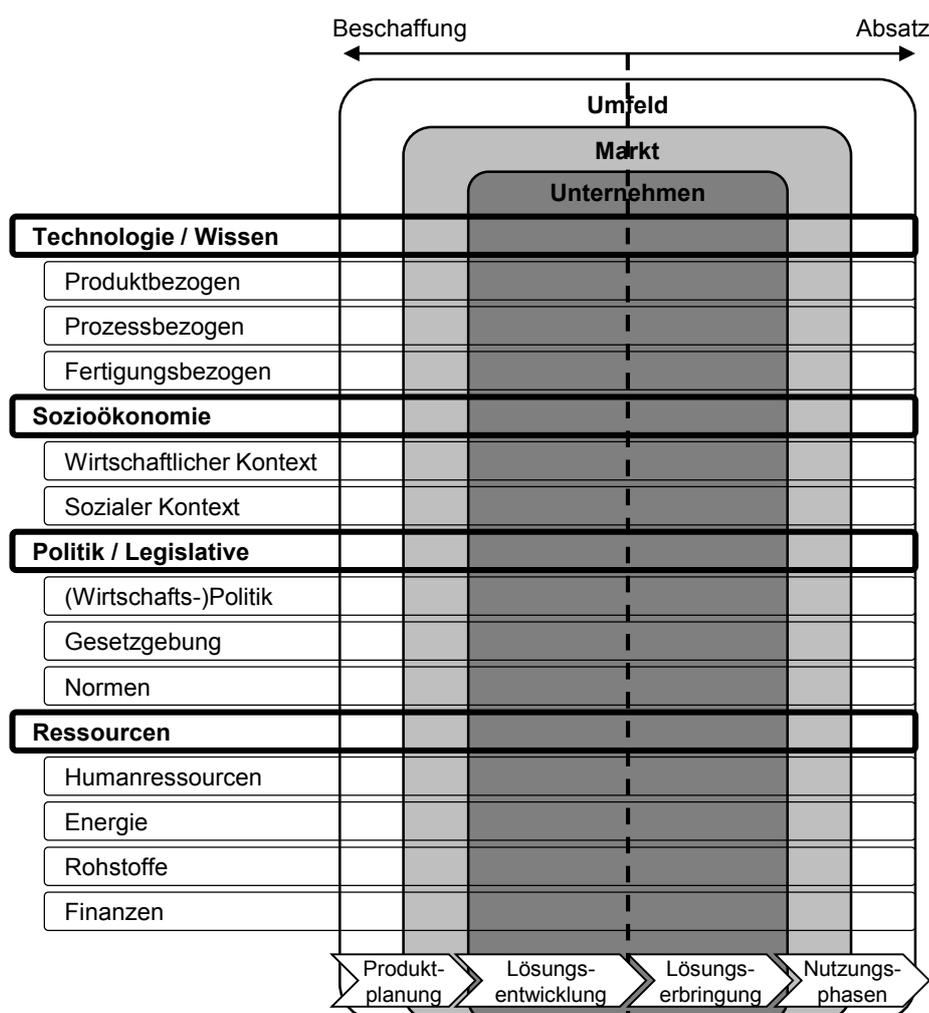


Bild 2-10: Modell zur Klassifizierung produktentwicklungsrelevanter Kontextfaktoren in Anlehnung an LANGER & LINDEMANN 2009

Wie bereits bei den von EHRENSPIEL 2009 und ROTH 2000 dargelegten Ansätzen zur Anforderungsakquisition nimmt auch das Modell nach LANGER & LINDEMANN 2009 eine lebenszyklusbezogene Perspektive ein, wobei dieses im Vergleich zu den anderen Ansätzen bereits eine erste abstrahierte Abfolge der Lebenslaufphasen von integrierten Sach- und Dienstleistungskombinationen beinhaltet. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit den Phasen des Lebenszyklus findet in den gezeigten Techniken jedoch nur rudimentär statt, weshalb die Bedeutung eines integrierten Lebenszyklusverständnisses bezüglich existierender Arbeiten in Kapitel 2.4 sowie im erarbeiteten Ansatz der vorliegenden Arbeit weiter diskutiert wird.

Im Bereich der Akquisition planungsrelevanter Informationen können zudem **einzelne Lebenszyklusphasen betreffende Checklisten und Techniken** herangezogen werden. So geht EBMANN 1994 auf die Identifikation von Unternehmenspotenzialen und dabei insbesondere auf entsprechende Produktionspotenziale ein. Neben Checklisten zur Informationsakquisition präsentiert er auch einen Ansatz, die identifizierten Potenziale an entsprechende Produktmerkmale zu koppeln, so dass im Endeffekt produktionspotenzialgerechte Produkte definiert werden können.

Bezüglich der **Produktnutzungsphase** bietet sich zur Reflexion von kundenrelevanten Rahmenbedingungen und Potenzialen an, auf sogenannte **Technologieakzeptanzmodelle** (TAM), wie sie im Bereich des Marketings durch empirische Studien erarbeitet werden, zurückzugreifen. Im Rahmen dieser Modelle werden kundenbezogene Faktoren aufgezeigt, welche einen Einfluss auf die Anschaffung und Nutzung neuer Technologien und Produkte haben. Beispielsweise adressieren VENKATESH & DAVIS 2000 neben der wahrgenommenen Nützlichkeit sowie Einfachheit der Anwendung neuer Technologien auch Einflussfaktoren auf das Nutzungsverhalten, welche durch die soziale Interaktion des Kunden mit seinem direkten Umfeld hervorgerufen werden. Technologieakzeptanzmodelle wurden in der Vergangenheit zusehends erweitert. Beispielsweise gehen KULVIWAT et al. 2007 zudem verstärkt auf psychologiebezogene Faktoren ein, wie beispielsweise „Freude“ oder auch „Neugierde“, welche durch eine Technologie hervorgerufen werden. Auch die Reflexion des Akzeptanzverhaltens technologiebezogener Dienstleistungen sowie die Unterscheidung von Konsumgütern (B2C) und Investitionsgütern (B2B) (siehe z. B. WÜNDERLICH & WANGENHEIM 2009) können Rückschlüsse auf die Definition des Sollzustands zukünftig zu erbringender Leistungen im Rahmen der Anforderungsklä rung zulassen.

Im Kontext der interdisziplinären Anforderungsklä rung präsentiert JUNG 2006 einen Ansatz, welcher weniger spezifische Checklisten bzw. Faktoren zur Identifikation von Anforderungen vorschlägt, sondern vielmehr ein generisches Konzept und Vorgehensmodell zur Anforderungsakquisition vorstellt. Dieses Konzept zur **relationalen iterativen Anforderungsklä rung** (RIA) baut auf dem Gedanken auf, „... dass Anforderungen nur dort existieren können, wo mindestens zwei Elemente miteinander in Beziehung stehen“ (JUNG 2006, S. 84). In der Folge werden insbesondere Zusammenhänge und Schnittstellen im betrachteten System bzw. Produkt fokussiert, um relevante Anforderungen zu definieren. Um zunächst relevante Relationen im System zu identifizieren, schlägt JUNG 2006 den Einsatz einer Einflussmatrix (wie z. B. bei LINDEMANN 2009 (S. 259) dargelegt) vor. Das Befüllen der Matrix kann hierbei wiederum durch Checklisten, wie sie z. B. bei PAHL et al. 2007 hinterlegt sind, unterstützt werden. Zur weiteren zielgerichteten Ableitung und Strukturierung von Anforderungen geht JUNG

2006 zudem auf die Klassifizierung der Relationen ein. Er unterscheidet hier zwischen der Art, der Stärke sowie der Richtung der Relation. Die Art der Relation lässt sich hierbei beispielsweise durch die Umsatzart zwischen zwei Systemelementen bzw. durch die Geometrie zwischen den Systemelementen beschreiben. JUNG 2006 (S. 107) verweist in diesem Zusammenhang darauf, dass eine vollständige Identifikation der Anforderungen – wie bei sämtlichen anderen Ansätzen zur Anforderungsklä rung – nicht garantiert werden kann. Dennoch unterstützt der Ansatz die Identifikation von Anforderungen, welche bei einer isolierten Betrachtung einzelner Systemelemente nicht aufgedeckt würden.

Zusammenfassend stellt die von JUNG 2006 erarbeitete relationale Anforderungsklä rung die **Bedeutung der Analyse von Systemzusammenhängen** bei der Planung zukünftiger Produkte heraus. Der Ansatz gerät jedoch an seine Grenzen, wenn es um die Weiterverarbeitung der Informationen hinsichtlich planungsrelevanter Systemzusammenhänge geht. Zwar können durch den Ansatz und die entsprechend zur Verfügung gestellte Softwareunterstützung systematisch Zielkonflikte bei Anforderungen hinsichtlich eines Merkmals aufgedeckt werden (z. B. Anforderungskompatibilität hinsichtlich der Geometrie zwischen zwei Bauteilen). Jedoch ist die **Identifikation von Zielkonflikten zwischen Anforderungen** unterschiedlicher Merkmale (z. B. zwischen Kraftstoffverbrauch und Höchstgeschwindigkeit bei Kraftfahrzeugen) nicht möglich, wird aber als Herausforderung für weitere Forschungsarbeiten artikuliert JUNG 2006 (S. 144). Weiterhin wird die Bedeutung des „Denkens in Alternativen“ (JUNG 2006, S. 99) angesprochen, die Möglichkeit einer simultanen Analyse von verschiedenen Systemkonfigurationen hinsichtlich ihrer Anforderungskompatibilität findet jedoch nicht statt. Die genannten Herausforderungen werden im Rahmen des in Kapitel 4 erläuterten Ansatzes adressiert, wobei eine stärkere Differenzierung zwischen Anforderungen bzw. Zielen an ein System und den Spezifikationen eingesetzter Subsysteme stattfindet.

Quality Function Deployment zur Analyse planungsrelevanter Informationen

Während JUNG 2006 die Relationen zwischen Subsystemen (wie z. B. Bauteilen) insbesondere zur Anforderungsakquisition und einer ersten vereinfachten Zielkonfliktanalyse verwendet, sind in der Vergangenheit weitere Ansätze und Techniken zur Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge entstanden. Ein weit verbreiteter Ansatz stellt das **Quality Function Deployment (QFD)** dar (AKAO 1990), welcher die systematische Überführung kundenseitig zu berücksichtigender Qualitätsmerkmale in die Unternehmensprozesse, wie beispielsweise Entwicklungs- und Fertigungsprozesse unterstützt. DANNER 1996 (S. 48) definiert QFD demnach als „... 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“. Aufgrund der hohen Relevanz **matrizenbasierter Methoden** im Kontext der vorliegenden Arbeit werden die im Bereich des QFD anzuesiedelnden Ansätze detailliert beleuchtet.

Der Ansatz nach AKAO 1990 spannt dabei ein QFD-System zur durchgängigen Anforderungsverknüpfung über verschiedene Ebenen der Konkretisierung im Produkterstellungsprozess auf. Die Durchführung des Quality Function Deployments erfolgt in bereichsübergreifenden Teams, wodurch **Forderungen aller Stakeholder** im Rahmen der Produktentwick-

lung berücksichtigt werden können, ein gemeinsames Situationsverständnis erarbeitet wird und in der Folge Zielkonflikte frühzeitig identifiziert und gelöst werden können (HOFFMANN 1997, S. 24). Das zu erstellende und zu analysierende, matrizenbasierte QFD-System besteht aus Spalten, welche neben der Qualitätsentwicklung, der Technologieentwicklung und der Kostenentwicklung auch die Zuverlässigkeitsentwicklung neuer Produkte beinhalten. Die Spalten werden mit den Zeilen der **Kundenanforderungen, Qualitätsmerkmale, Funktionen und Komponenten sowie einhergehenden Produktionsprozessschritten** verknüpft. AKAO 1990 unterstützt durch diese umfassende Herangehensweise ein durchgängiges Verständnis der Zusammenhänge von Kundenanforderungen bis hin zur Gestaltung des Produktionsprozesses. In der praktischen Anwendung ist das gewählte QFD-System auf die jeweilige Entwicklungsaufgabe anzupassen, da die Felder sowie das Durchlaufen des QFD-Systems nach AKAO 1990 lediglich einen Vorschlag darstellen. Zusammenfassend erlaubt die Dokumentation der planungsrelevanten Informationen in einem QFD-System nach AKAO 1990 kurzfristig die Aufgabenklärung, da einzelne Entscheidungen im Produktentstehungsprozess jederzeit nachvollzogen werden können; langfristig kann dann ein solches initial aufgestelltes Planungssystem durch dessen Wiederverwendbarkeit auch bei Anpassungs- und Variantenkonstruktionen unterstützend wirken (DANNER 1996, S. 77).

Durch Anpassung der **Matrizen zur Konzeptauswahl** nach PUGH 1990 (S. 77) erweitert KING 1994 den Ansatz nach AKAO 1990 um die Spalte „Neue Konzepte“. Dies ermöglicht die Bewertung neuer Konzepte auf Gesamtsystemebene, Baugruppenebene, etc. gegenüber weiteren Konzepten hinsichtlich der Anforderungserfüllung. Daneben ergänzt KING 1994 die Spalte „Hilfsmethoden“. Dadurch werden Methoden des Qualitätsmanagements – wie beispielsweise die Wertanalyse, die Fehlerbaum-Analyse sowie die FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) explizit in das matrizenbasierte QFD-System nach AKAO 1990 eingebunden (DANNER 1996, S. 80). Vor dem Hintergrund der zahlreichen Matrizen, welche der Ansatz bringt, wird das QFD-System nach KING 1994 auch „**Matrix der Matrizen**“ genannt.

Eine weitere – vom American Supplier Institute (ASI) – verbreitete Variation des QFD-Ansatzes stellt der hierarchisch aufgebaute **Vier-Phasen-Ansatz** dar (REFFLINGHAUS 2009, S. 17). Auch dieser Ansatz geht auf die durchgängige Analyse und Verarbeitung von Anforderungen entlang des gesamten Produktentstehungsprozesses ein. Die Fokussierung auf vier wesentliche Matrizen, die die sequentielle Verknüpfung von Kundenanforderungen, Qualitätsmerkmalen, Teilemerkmalen, Fertigungsprozessen und Produktionsmittel erlauben, stellt eine wesentliche Reduktion der zu betrachtenden Merkmale und Verknüpfungen im Vergleich zu den Ansätzen nach AKAO 1990 sowie KING 1994 dar (siehe Bild 2-11). DANNER 1996 merkt in seiner Diskussion des Ansatzes einerseits an, dass durch die Reduzierung der betrachteten Dimensionen die Kundenorientierung gegenüber dem umfassenden Ansatz nach AKAO 1990 sowie KING 1994, insbesondere was die Gewichtung von Entwicklungsressourcen und Zielkosten angeht, maßgeblich eingeschränkt wird. Andererseits verweist LESMEISTER 2001 (S. 17) darauf, dass selbst der Vier-Phasen-Ansatz aufgrund der hohen Komplexität in der Handhabung wenig Anklang in der industriellen Praxis findet.

Einen wesentlichen Betrachtungsgegenstand stellt dabei die Matrix M1 – das sogenannte **House of Quality (HoQ)** – als erste Phase des Vier-Phasen-Ansatzes dar. Hier werden die Kundenanforderungen mit technischen Merkmalen (Qualitätsmerkmalen) gekoppelt. Die Me-

chanismen des HoQ sind nach den Ausführungen von PONN & LINDEMANN 2011 in Bild 2-11 ebenfalls detailliert dargestellt. So erlaubt der Einsatz des HoQ den Stakeholdern in der Entwicklung, technische Parameter im Hinblick auf ihre Kundenrelevanz zu gewichten und entsprechend in die Priorisierung von Tätigkeiten einfließen zu lassen. Zudem wird das Dach des HoQ für die Identifikation und Beschreibung von Konfliktfeldern zwischen den technischen Merkmalen genutzt. LESMEISTER 2001 (S. 17) adressiert in diesem Kontext jedoch das Problem, dass nicht gezeigt wird, wie die Korrelationen, welche im Dach des HoQ dargelegt sind, für weitere Analysen verwendet werden können, um Aussagen zum Umgang mit den Zielkonflikten geben zu können. Zudem spricht LESMEISTER 2001 an, dass das HoQ lediglich „ein selektives Bild“ des Gesamtproduktes darstellt, was dazu führen kann, dass weitere wichtige Anforderungen an das Produkt neben den Kundenanforderungen keine Betrachtung finden.

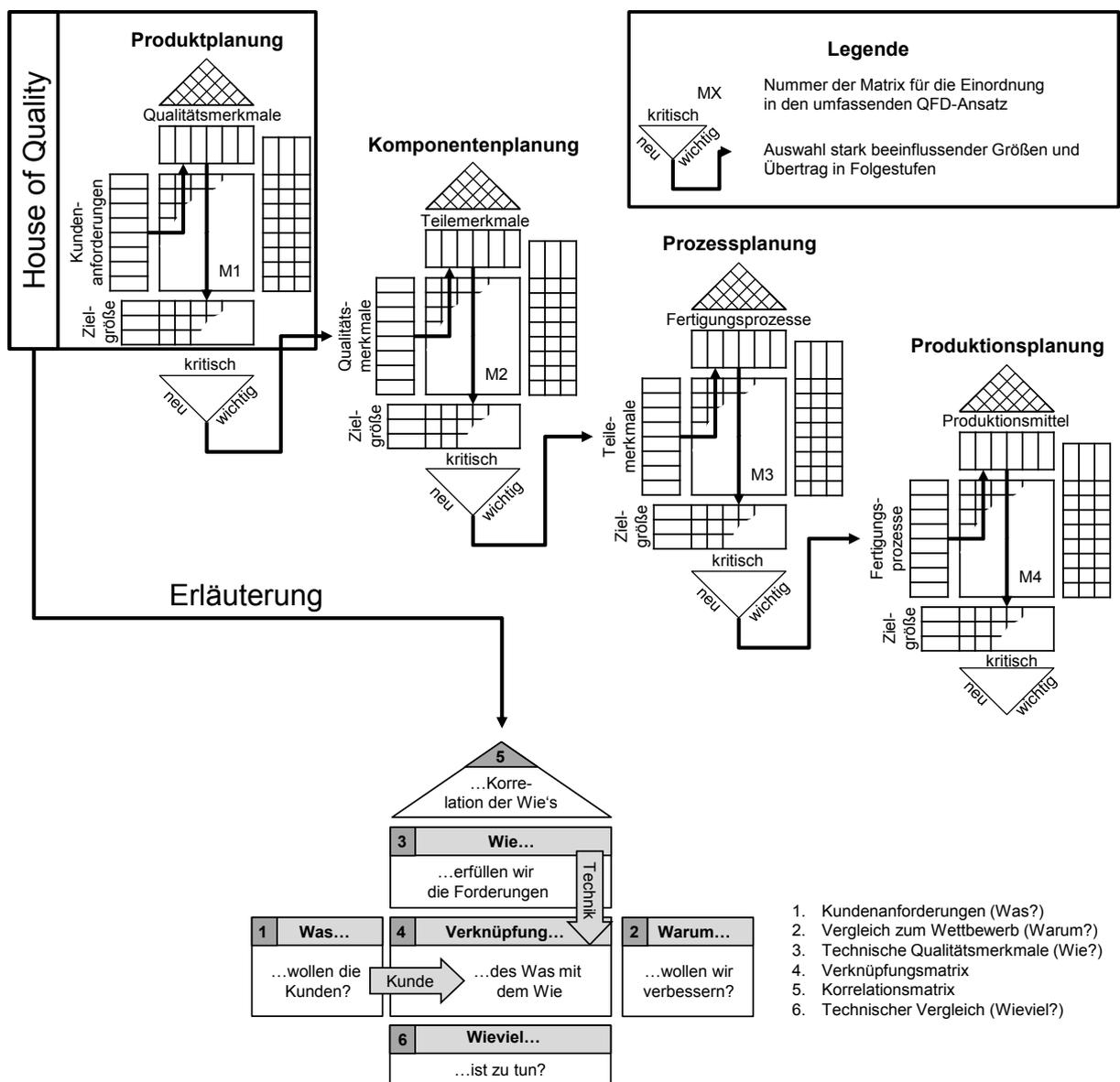


Bild 2-11: Erläuterung des Vier-Phasen-QFD-Systems nach Makabe und des House of Quality in Anlehnung an DANNER 1996 (S. 58), REINHART et al. 1996 (S. 59) sowie PONN & LINDEMANN 2011 (S. 51)

Die verschiedenen grundlegenden Ansätze nach AKAO 1990 und KING 1994 sowie der Vier-Phasen-Ansatz werden durch **zahlreiche spezifische Anwendungsbeispiele** sowie methodische Erweiterungen behandelt. So diskutieren CHAHADI et al. 2007 das Quality Function Deployment im Bereich der integralen Blechverarbeitung im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 666. Der Einsatz des QFD dient hierbei der Überführung von Kundenanforderungen in externe Produktmerkmale, welche in einem zweiten Schritt mit internen, d. h. direkt vom Entwickler beeinflussbaren Produktmerkmalen (wie z. B. die Blechdicke oder das Material), verknüpft werden.

Den Einsatz von QFD zur Unterstützung der Produktplanung für kleine und mittlere Unternehmen diskutiert HOFFMANN 1997. Der Vier-Phasen-Ansatz des American Supplier Institutes wurde hinsichtlich des Projektmanagements durch eine „strategische Zielplanung“, in welcher Entwicklungsziele und Entwicklungsaufgaben gegenübergestellt werden, sowie durch ein „aufgabenspezifisches Selektionsverfahren“, bei welchem Entwicklungsaufgaben mit Arbeitsschritten verknüpft werden, erweitert (HOFFMANN 1997, S. 50). Weiterhin wird die **Generierung und Auswahl alternativer Lösungsmöglichkeiten** durch die Berücksichtigung einer analytischen Variantenbildung explizit aufgegriffen (HOFFMANN 1997, S. 80).

MAI 1998, der eine Effizienzbetrachtung der **Entscheidungsprozesse** einer QFD-gestützten Produktplanung durchführt, bindet in seinen Ausführungen insbesondere das HoQ als wesentliches QFD-Teilkonzept ein. Der von ihm entwickelte Ansatz umfasst ein interaktionsorientiertes Effizienzmodell, welches Kriterien zur Reflexion und Optimierung der Wirtschaftlichkeit sowie des Zielerreichungsgrads der einzelnen Schritte im produktplanerischen Entscheidungsprozess aufzeigt. Zudem wird dargelegt, welche Mechanismen zwischen Entscheidungsträgern und den verantwortlichen QFD-Anwendern bei der Festlegung und Anwendung der Effizienzkriterien sowie einhergehenden Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zu betrachten sind.

DANNER 1996 adressiert QFD als Ansatz zur Unterstützung eines **ganzheitlichen Anforderungsmanagements für marktorientierte Entwicklungsprozesse**. Dabei setzt er QFD in Beziehung zu verschiedenen Perspektiven der integrierten Produktentwicklung. So zeigt er beispielsweise auf, an welchen Stellen und wie QFD entlang der Phasen des Produktlebenszyklus für die Schritte der Aufgabenklärung, Synthese sowie Lösungsauswahl herangezogen werden kann (DANNER 1996, S. 110 ff.). Und auch die Adaption bestehender QFD-Ansätze zur situationsspezifischen Anwendung, beispielsweise hinsichtlich der Berücksichtigung von Verbindungselementen zwischen Bauteilen (DANNER 1996, S. 127) oder hinsichtlich der Berücksichtigung von Umweltaspekten (DANNER 1996, S. 130) wird intensiv diskutiert. Auch die prototypische Umsetzung der Software „HyperQFD“ zur Dokumentation und Analyse eines individuell erstellten QFD-Systems wird von DANNER 1996 (S. 153) präsentiert.

Während die bislang genannten Ansätze überwiegend spezifische Anwendungsfälle und QFD-Variationen bezüglich situativ gewählter Dimensionen sowie den einhergehenden Einsatz relevanter Entwicklungsmethoden darstellen, gehen andere Arbeiten auf grundsätzliche Herangehensweisen zum **automatisierten Einsatz des QFD** ein. So stellen KARSAK et al. 2002 unterschiedliche Berechnungsverfahren zur Priorisierung von technischen Merkmalen gegenüber. Andere Ansätze gehen wiederum auf den Umgang mit identifizierten Zusammenhängen ein. So behandelt EILETZ 1999 das **Zielkonfliktmanagement** bei der Entwicklung

komplexer Produkte. Hierbei werden die zu verfolgenden Ziele (Zielsystem) mit möglichen Konzepten (Konzeptsystem) gekoppelt und in der Folge dargelegt, wie mit dabei identifizierten Zielkonflikten umgegangen werden kann. Der Schwerpunkt des Ansatzes besteht jedoch insbesondere in der Zielkonfliktbewältigung und weniger in der eigentlichen Identifikation der Zielkonflikte, für welche lediglich qualitative Handlungsempfehlungen gegeben werden (EILETZ 1999, S. 100).

Die dargestellten Quellen zum Themenkomplex QFD vermitteln einen ersten Eindruck der Vielfalt möglicher Einsatz- und Forschungsgebiete von QFD und stellen wesentliche Zusammenhänge des Einsatzes von QFD für die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse dar. Für einen umfangreichen, detaillierten Überblick über weitere spezifische QFD-Ansätze sei an dieser Stelle auf Veröffentlichungen wie beispielsweise durch CHAN & WU 2002, welche über 650 Arbeiten im Bereich QFD vorstellen, verwiesen. Somit stellt die Diskussion von QFD eine bedeutende Grundlage für diese Arbeit dar, nämlich die matrixbasierte Verknüpfung unterschiedlicher Perspektiven auf ein Produkt und deren Konkretisierungsstufen. Dennoch bleiben viele **Potenziale eines matrixbasierten Vorgehens** im Rahmen eines QFD-Systems **unerschlossen**, insbesondere was die perspektivenübergreifende Analyse der Einzelmatrizen angeht – beispielsweise hinsichtlich der Verfolgung von Änderungen oder auch hinsichtlich verschiedener zu berücksichtigender Zukunftsprojektionen, wie sie im folgenden Abschnitt dargelegt werden.

Projektion und Einordnung planungsrelevanter Informationen

Zur Planung erfolgreicher Produkte ist es von Bedeutung, mögliche Entwicklungen der planungsrelevanten Kontextfaktoren frühzeitig zu antizipieren und einhergehende Zukunftsbilder abzuleiten. Da sich zukünftige Entwicklungen jedoch aufgrund der **Dynamik im Produktumfeld** und damit einhergehenden Unsicherheiten kaum exakt voraussagen lassen, ist von einer zu frühzeitigen Festlegung auf nur ein Zukunftsbild abzuraten (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 14). Demnach gilt es Planungstechniken zu berücksichtigen, welche unterschiedlich ausgeprägte Projektionen eines Betrachtungsgegenstands im Sinne einer **multiplen Zukunft** unter Berücksichtigung der Vernetzung der betrachteten Systemelemente im Sinne eines **vernetzten Denkens** zulassen (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 85; BISHOP et al. 2007, S. 5). In Anlehnung an VON REIBNITZ 1992 (S. 27) stellen GAUSEMEIER et al. 2001 (S. 82) schematisch im Szenario-Trichter dar, wie **sich unterschiedliche Projektionen** und damit einhergehende **Szenarios** für einen Zeithorizont aufgrund unterschiedlicher Entwicklungstendenzen ergeben (siehe Bild 2-12). Das Denken in unterschiedlichen Szenarios und Planungshorizonten stellt einen wesentlichen Anknüpfungspunkt zur vorliegenden Arbeit dar und wird daher anhand existierender Arbeiten im Bereich des Szenario-Managements detailliert erläutert.

Zur systematischen Herleitung zukunftsrelevanter Szenarios hat sich die **Szenario-Analyse** etabliert, welche „... *eine Planungstechnik, die ausgehend von der Gegenwart die zukünftigen Entwicklungen eines Gegenstandes bei alternativen Rahmenbedingungen beschreibt*“ (BEA & HAAS 2009, S. 311) darstellt. Hierbei gilt es zunächst zu klären, welche Art von Szenario erstellt werden soll, wobei **verschiedene Dimensionen** unterschieden werden müssen. So kann zwischen Situationsszenarios (auch Punkt- bzw. Zustandsszenarios) sowie Prozessszenarios (auch Pfadszenarios) unterschieden werden (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 109).

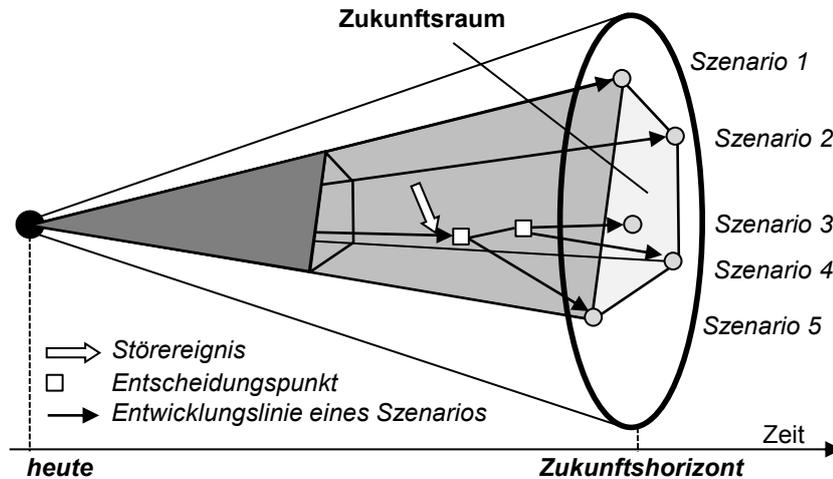


Bild 2-12: Szenario-Trichter (GAUSEMEIER et al. 2001, S. 82)

Während sich Situationsszenarios auf einen festen Zeitpunkt in der Zukunft beziehen, gehen Prozessszenarios auf mögliche Entwicklungslinien (vgl. Bild 2-12) des Betrachtungsgegenstands ein (MEYER-SCHÖNHERR 1992, S. 15). Weiterhin kann zwischen antizipativen und explorativen Szenarios unterschieden werden. Während bei der Erstellung explorativer Szenarios von einem Ist-Zustand der Gegenwart ausgegangen wird und verschiedene davon ausgehende Zukunftsbilder vorwärtsgerichtet abgeleitet werden, wird bei antizipativen Szenarios ein Zukunftsbild fokussiert und für dieses rückwärtsgerichtet eruiert, welche Entwicklungen zu diesem Zukunftsbild führen können (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 111; MEYER-SCHÖNHERR 1992, S. 15; ANGERMEYER-NAUMANN 1984, S. 126).

Eine wesentliche Dimension, welche bei der Szenarioerstellung berücksichtigt werden muss, ist der mit den entwickelten Zukunftsbildern zu verbindende **Zeithorizont**. Hierbei kann nach GAUSEMEIER et al. 1995 (S. 115) zwischen folgenden Fristigkeiten unterschieden werden:

- kurzfristige Planung: Zeithorizont 1-2 Jahre;
- mittelfristige Planung: Zeithorizont 2-5 Jahre;
- langfristige Planung: Zeithorizont über 5 Jahre.

LEEMHUIS 1985 (S. 31) dagegen unterscheidet zwischen folgenden Arten und Fristigkeiten von Szenarios, wobei insbesondere das mittlere („archetype scenario“) für entscheidungsorientierte Zwecke herangezogen werden sollte:

- „business cycle scenarios“: Zeithorizont bis zu 5 Jahren;
- „archetype scenarios“: Zeithorizont 5-15 Jahre;
- „exploratory scenarios“: Zeithorizont über 15 Jahre.

Die verschiedenen genannten Zeithorizonte stellen lediglich einen ersten groben Anhaltspunkt dar, da sich die jeweiligen für eine spezifische Branche relevanten Fristigkeiten stark unterscheiden können (BEA & HAAS 2009, S. 302). Nichtsdestotrotz ist vor dem Hintergrund des

jeweiligen Einsatzkontexts der Szenarioanalyse die Festlegung eines spezifischen Zeithorizonts wichtig.

Bezüglich der „multiplen Zukunft“, d. h. der Erstellung unterschiedlicher Szenarios, ist auch die Unterscheidung von **Extrem- und Trendszenarios** von Bedeutung. Trendszenarios werden dabei mit hohen Eintrittswahrscheinlichkeiten verbunden, während Extremszenarios (auch „periphere Szenarios“) auf Basis extremer, d. h. möglicher, aber nicht zwingend erwarteter Projektionen erstellt werden (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 114; ANGERMEYER-NAUMANN 1984, S. 126). WELGE & AL-LAHAM 2008 (S. 423) unterscheiden positive und negative Extremszenarios, wobei die unterschiedlichen Ausprägungen nicht näher definiert werden. Wie viele Szenarios zu erstellen sind, ist wiederum vom jeweiligen Einsatzkontext der Szenarioanalyse abhängig, wobei zur besseren Handhabung der unterschiedlichen Szenarios die Anzahl gering gehalten werden sollte (MIBLER-BEHR 1993, S. 3).

Neben den dargestellten Dimensionen werden in der Literatur weitere Kategorisierungen von Szenarios vorgenommen, welche im Zusammenhang mit dieser Arbeit jedoch nicht weiter erläutert werden. Einen detaillierten Überblick über die entsprechende Literatur geben beispielsweise ULBRICH ZÜRNI 2004 (S. 115) sowie BISHOP et al. 2007. Dort werden auch verschiedene Ansätze dargelegt, welche Schritte es bei der Szenario-Herleitung zu beachten gilt. Um einen Überblick über die Art und Weise der Herleitung planungsrelevanter Informationen im Rahmen dieser Arbeit zu erlangen, wird exemplarisch das Vorgehen des **Szenario-Managements** nach GAUSEMEIER et al. 1995 (S. 101) gezeigt, welches sich aus den folgenden Phasen zusammensetzt:

- Szenario-Vorbereitung,
- Szenariofeld-Analyse,
- Szenario-Prognostik,
- Szenario-Bildung,
- Szenario-Transfer.

Auf Basis der Zielsetzung des durchzuführenden Szenario-Projekts gilt es, die verschiedenen, oben genannten Dimensionen der Szenarios sowie deren Erstellung in der **Szenario-Vorbereitung** festzulegen und den Ist-Stand zu erfassen. In diesem Kontext sind die im Rahmen der Szenarios zu berücksichtigenden Betrachtungsgegenstände zu definieren. So findet eine Festlegung der Gestaltungsfelder statt, welche beispielsweise das Unternehmen, die zukünftig zu entwickelnden Produkte oder auch Technologien betreffen können. Zudem ist von Interesse, ob lediglich das Umfeld des Gestaltungsfelds, das Gestaltungsfeld selbst oder eine Kombination im Rahmen einer systemischen Herangehensweise betrachtet werden. Als Beispiel für die szenariogestützte Technologieplanung sei an dieser Stelle auf die Arbeiten nach GAUSEMEIER et al. 2006b verwiesen.

Sind die wesentlichen Eckpunkte des Szenario-Projekts definiert, so werden im nächsten Schritt der **Szenariofeld-Analyse** spezifische Einflussfaktoren des Szenariofelds identifiziert. Im Rahmen von Technologieszenarios, welche insbesondere das Umfeld zukünftiger Antriebstechnologien adressieren, stellen beispielsweise die Infrastruktur, die Gesetzgebung sowie das Markt- und Wettbewerbsumfeld wesentliche Einflussbereiche dar (siehe PRODUKT-ENTWICKLUNG 2009b). Diese werden in einzelne Einflussfaktoren heruntergebrochen. Zur

Identifikation von Einflussbereichen und -faktoren können neben den zu Beginn des Kapitels 2.2.3 dargestellten checklistenbasierten auch literaturgestützte Ansätze sowie Kreativitätstechniken eingesetzt werden (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 185). Mithilfe einer Einflussmatrix können die Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten reflektiert werden. Die daraus errechenbaren Aktiv- und Passivsummen der einzelnen Einflussfaktoren werden in einem System-Grid grafisch dargestellt, wodurch eine zielgerichtete Ermittlung von **Schlüsselfaktoren** für die weitere Ausarbeitung der Szenarios ermöglicht wird (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 199). Zur Errechnung der Aktiv- und Passivsummen hat sich neben der direkten Nutzung der ausgefüllten Matrix zudem die Errechnung indirekter Abhängigkeiten im Rahmen einer sogenannten MICMAC-Methode bewährt (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 197). Je nach Betrachtungsgegenstand und Zeithorizont der zu entwickelnden Szenarios können unterschiedliche Bereiche des System-Grids als Schlüsselfaktoren relevant erachtet werden (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 208). Eine Mindest- oder Maximalzahl an Schlüsselfaktoren wird an dieser Stelle nicht genannt, wobei zur weiteren Szenarioerstellung die Anzahl hinsichtlich der Handhabbarkeit nicht zu groß und hinsichtlich der Aussagekraft nicht zu klein gewählt werden darf (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 212).

Die ermittelten Schlüsselfaktoren gilt es im nächsten Schritt der **Szenario-Prognostik** in die Zukunft zu projizieren, wobei für die Ableitung alternativer Szenarios sowohl Trend- als auch Extremprojektionen zu berücksichtigen sind. Zur Projektion können in Abhängigkeit vom Prognosehorizont und der jeweiligen Zielsetzung verschiedene Techniken herangezogen werden (REGER 2001, S. 268). Ein weit verbreiteter Ansatz stellt die Trendextrapolation dar, bei welcher die in der Vergangenheit beobachtete Entwicklung eines Schlüsselfaktors in die Zukunft fortgeschrieben wird (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 232). Dabei bietet es sich zur Herleitung von Extremszenarios an, Projektionen zu überzeichnen oder auch Entwicklungen bewusst zu beschleunigen. Zur Berechnung der Trends können statistische Verfahren herangezogen werden, wie sie z. B. bei RAU 2004 (S. 37) näher dargestellt sind. Auch die Nutzung von standardisierten Kurvenverläufen oder Abstufungen, wie sie beispielsweise zur Bestimmung des Reifegrads einer Technologie anhand von S-Kurven herangezogen werden (BEA & HAAS 2009, S. 581), kann sich als hilfreich erweisen. Aufgrund der jeweiligen situationsspezifischen Rahmenbedingungen und damit verbundenen Unsicherheiten ist der Einsatz solcher standardisierter Verläufe mit der großen Gefahr fehlerhafter Projektionen verbunden.

Neben diesen mathematisch hergeleiteten, quantifizierten Projektionen können auch qualitative **Projektionsverfahren** – wie beispielsweise Expertenbefragungen – zur Projektion der Schlüsselfaktoren genutzt werden. Eine besondere Form der Expertenbefragung stellt die Delphi-Methode dar (HÄDER 2010, S. 353). Dabei werden verschiedene Experten zunächst bezüglich zuvor artikulierter zukunftsbezogener Thesen isoliert voneinander befragt. Im Anschluss werden die Antworten hinsichtlich ihrer Übereinstimmungen und Abweichungen analysiert. Mit diesen anonymisierten Ergebnissen werden die Experten in einer zweiten Befragungsrunde konfrontiert und ihnen wird die Möglichkeit gegeben, ihre Standpunkte nochmals anzupassen, so dass im Endeffekt ein expertengestützter Konsens bezüglich der Zukunftsentwicklungen einzelner Thesen erzielt werden kann. In diesem Kontext gehen KINKEL et al. 2006 speziell auf die Verknüpfung der Ansätze des Szenario-Managements sowie der Delphi-Methode ein.

Die abgeleiteten Projektionen der Schlüsselfaktoren werden im Anschluss mithilfe einer Konsistenzmatrix im Schritt der **Szenario-Bildung**, in welcher die einzelnen Zukunftsprojektionen zueinander reflektiert werden, zu konsistenten Projektionsbündeln zusammengefasst (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 258). Nachdem diese auf ihre Plausibilität hin überprüft sind, werden durch das Clustern ähnlicher Projektionsbündel Rohszenarios gebildet und mit Kennziffern hinterlegt, so dass diese anhand verschiedener Grafiken gegenübergestellt werden können (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 291). Über weitere Schritte werden die Rohszenarios in aussagekräftige, in Form von Prosa geschriebene Szenarios überführt.

Durch den **Szenario-Transfer** werden die erstellten Szenarios hinsichtlich des anfangs artikulierten Gestaltungsfelds analysiert. Hierbei kommen zum einen sogenannte Auswirkungenanalysen zum Einsatz, bei welchen Chancen und Risiken für das Gestaltungsfeld im Falle des Eintritts der jeweiligen Szenarios diskutiert werden (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 323). Zudem werden präventive und reaktive Maßnahmen für den Umgang mit den zuvor ermittelten Chancen und Risiken in sogenannten Eventualplänen zusammengestellt (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 341), wobei die Maßnahmen im Rahmen einer Robustplanung zu szenarioübergreifend sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengefasst werden (GAUSEMEIER et al. 1995, S. 350).

Um eine Strategiewahl zum Umgang mit den projizierten Szenarios zu treffen (BEA & HAAS 2009, S. 146) und damit weitere unternehmerische Schritte zu priorisieren, haben sich **portfoliobasierte Ansätze** etabliert. Dabei wird der jeweilige Betrachtungsgegenstand (z. B. eine Technologie, ein Produkt) zumeist hinsichtlich zweier Dimensionen eingeordnet und in einem daraus resultierenden zweidimensionalen Portfolio eingeordnet. GAUSEMEIER et al. 1995 (S. 346) schlägt dafür ein multiples Portfolio vor, in welchem neben dem Ist-Stand auch verschiedene Projektionen (Szenarios) des Betrachtungsgegenstands bezüglich der zwei Dimensionen „Marktattraktivität“ und „relative Wettbewerbsstärke“ einsortiert werden. Dieses multiple Portfolio stellt somit eine Erweiterung des von der Unternehmensberatung *McKinsey* entwickelten Marktattraktivität-Wettbewerbsvorteil-Portfolios (BEA & HAAS 2009, S. 161) dar. Ein weiteres bekanntes absatzorientiertes Portfolio stellt die *BCG-Matrix* der *Boston Consulting Group* dar, in welcher die Dimensionen „Marktwachstum“ und „Marktanteil“ zur Ableitung weiterer Schritte betrachtet werden (BEA & HAAS 2009, S. 149). Daneben finden auch weitere technologie- und innovationsorientierte Portfolios Einsatz. So stellt MICHEL 1990 (S. 198) ein Innovationspotenzialportfolio vor, in welchem Technologien bezüglich ihrer „Innovationsattraktivität“ sowie hinsichtlich der jeweiligen „relativen Innovationsstärke“ eingeordnet werden. Einen Überblick über zahlreiche weitere Portfolioansätze, welche in der Vergangenheit im Kontext der Produktplanung entwickelt wurden, geben beispielsweise STEVEN 2008 oder auch BEA & HAAS 2009. Um neben den in der Portfoliotechnik betrachteten zwei Dimensionen weitere Bewertungskriterien zu berücksichtigen, bietet es sich zur Auswahl von Technologien auch an, auf **umfassendere etablierte Bewertungsmethoden** zurückzugreifen. In diesem Zusammenhang sind nach PONN & LINDEMANN 2011 (S. 127) sowie BEA & HAAS 2009 (S. 205) beispielsweise der Vorteil-Nachteil-Vergleich, der paarweise Vergleich, die (gewichtete) Punktbewertung, die Nutzwertanalyse sowie die ökonomisch orientierte Kapitalwertmethode anzuführen.

Neben den genannten Portfolio- und Bewertungstechniken zur Priorisierung von Technologien und Produkten bietet es sich zur Gewichtung von Kundenanforderungen an, auf weitere Kategorisierungsschemata, wie im Kano-Modell (KANO 1995, S. 67) beschrieben, zurückzugreifen. Dort wird zwischen folgenden Kategorien unterschieden (LINDEMANN 2009, S. 106):

- Grundmerkmale: werden vom Kunden vorausgesetzt – Nichterfüllung führt zu starker Unzufriedenheit beim Kunden;
- Qualitäts- und Leistungsmerkmale: Kundenzufriedenheit steigt proportional mit Erfüllungsgrad von Leistungsmerkmalen;
- Begeisterungsmerkmale: werden vom Kunden nicht erwartet – Erfüllung kann ausschlaggebendes Kaufkriterium darstellen.

Zwar dient diese Kategorisierung nicht direkt der Priorisierung, da jeweils der richtige Mix an verschiedenen Merkmalsarten gegeben sein muss, dennoch kann die Reflexion der jeweiligen zu betrachtenden Merkmalsart einer Gewichtung der Kundenanforderungen beitragen. Im Kontext der Planung von Kundenanforderungen über verschiedene Planungshorizonte ist hervorzuheben, dass die Merkmale einer zeitlichen Entwicklung unterliegen: so werden anfänglich als Begeisterungsmerkmale kategorisierte Anforderungen mit der Zeit zu Qualitäts- und Leistungsmerkmalen und dann zu Grundmerkmalen (LINDEMANN 2009, S. 107).

Neben der Gewichtung der Projektionen spielt deren übersichtliche Aufbereitung über verschiedene Planungshorizonte hinweg eine wichtige Rolle. Hierbei hat sich der Ansatz des **Roadmappings** etabliert. Nach PHAAL et al. 2001 (S. 3) stellt eine generische Roadmap eine zeitbasierte Aufstellung von sowohl wirtschaftlichen als auch technischen Betrachtungsgegenständen (z. B. Märkte, Produkte, Technologien) und ihrer Verknüpfungen dar. So gibt beispielsweise eine Technologie-Roadmap nach MÖHRLE & ISENMANN 2008 (S. 3) „eine grafische Repräsentation von Technologien und ihren Verknüpfungen über der Zeit“ wieder. Das Prinzip einer Technologie-Roadmap ist in Bild 2-13 nach PHAAL et al. 2004 (S. 6) skizziert, wobei hier angedeutet wird, wie spezifische Technologien in Entwicklungsprozessen Eingang finden, so dass der entsprechend anvisierte Markteintrittszeitpunkt erfüllt werden kann. Eine Roadmap kann hierbei durch ihre Form der Repräsentation (Flussdiagramm, Balken, Tabelle, etc.) sowie ihren Einsatzzweck (Kapazitätsplanung, Produktplanung, Prozessplanung, etc.) charakterisiert werden (PHAAL et al. 2001, S. 10; PHAAL et al. 2004, S. 11).

SPECHT & BEHRENS 2008 (S. 156) sprechen – basierend auf dem von ihnen entwickelten **Bedarf-Objekt-Potenzial-Modell** (BOP-Modell) – die Bedeutung des zeitlichen Abgleichs von Produkten und Technologien an. Dabei werden die im Rahmen einer Technologie-Roadmap hinterlegten Technologien über Produktfunktionen den im Rahmen der Produkt-Roadmap hinterlegten Produkten sowie den entsprechend verfolgten Anwendungen zugeordnet.

Bezüglich der Erstellung der Roadmaps beschreibt MACHATE 2006 in seiner Arbeit zur „Zukunftsgestaltung durch Roadmapping“ die Kopplung von Roadmaps mit weiteren in diesem Kapitel behandelten Ansätzen zur Projektion und Gegenüberstellung planungsrelevanter Informationen – wie beispielsweise zum Delphi-Verfahren oder zum Quality Function Deployment. Abhängig vom Betrachtungsgegenstand und von der Zielsetzung des Roadmap-Einsatzes verweist MACHATE 2006 (S. 112) zudem auf den **Umgang mit unterschiedlichen Zeithorizonten** im Rahmen der Roadmap-Erstellung. GARCIA & BRAY 1997 (S. 20) sowie

GESCHKA & HAHNENWALD 2009 (S. 701) stellen weiterhin die Berücksichtigung alternativer Zukunftsbilder im Sinne des Szenario-Managements heraus, wobei eine kontinuierliche Aktualisierung der Roadmaps notwendig ist, um mit der Zeit ausschließbare Szenarios nicht unnötig weiterzutragen.

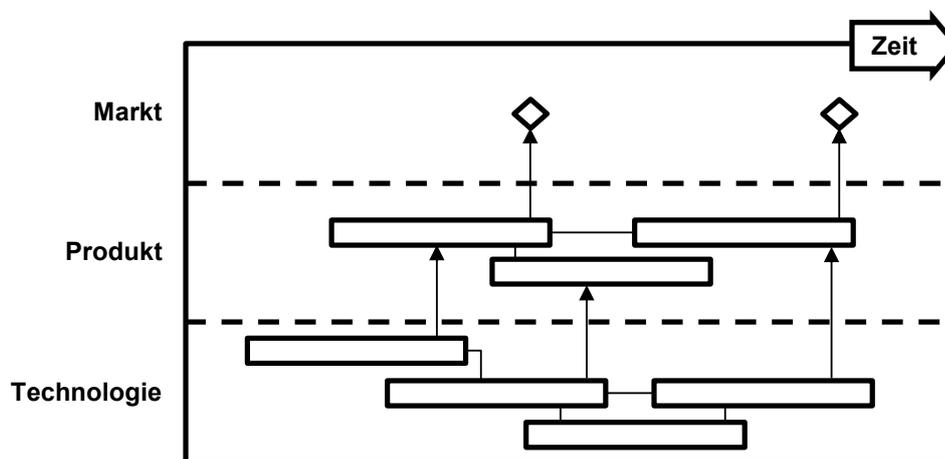


Bild 2-13: Schematische Darstellung einer Markt-Produkt-Technologie-Roadmap nach PHAAL et al. 2004 (S. 6)

Die dargestellten Ansätze zur Projektion planungsrelevanter Informationen adressieren bereits wichtige Aspekte wie die Generierung von Zukunftsbildern, die Berücksichtigung alternativer Zukunftsbilder sowie die Vernetzung der projizierten Informationen. Zudem erlauben die Ansätze und hierbei insbesondere das Szenario-Management eine Überprüfung der Auswirkungen der erstellten Zukunftsbilder. Eine systematische Auseinandersetzung der Kompatibilität für Szenarios verschiedener Betrachtungsgegenstände ist jedoch nur ansatzweise gewährleistet. Vor diesem Hintergrund werden in dieser Arbeit einerseits Ansätze zur Gegenüberstellung verschiedener projizierter Informationen bezüglich des gesamten Produktlebenszyklus sowie andererseits Ansätze zur Gegenüberstellung der Szenarios verschiedener Zeithorizonte erarbeitet.

Umfassende Ansätze zur strategischen Produktplanung

Die bislang gezeigten Ansätze zur strategischen Planung zeigen bereits das **starke Ineinandergreifen einzelner Methoden** zur strategischen Produktplanung. So kann eine Roadmap nur erstellt werden, wenn zuvor entsprechende Projektionen der planungsrelevanten Informationen erhoben wurden. Die Herleitung von Zukunftsbildern kann wiederum nur stattfinden, wenn zuvor Bereiche planungsrelevanter Informationen identifiziert wurden. Diese Vernetzung sowie Integration der Techniken und Vorgehensschritte in der Planung wird folgend anhand einiger exemplarischer Arbeiten dargelegt.

So stellt BRAUN 2005 ein Vorgehensmodell für mittelständische Unternehmen zur **situations-spezifischen Identifikation und Anpassung von Planungsmethoden** bereit. In Abhängigkeit der Erfahrung des Produktplanenden sowie der strategischen Stoßrichtung werden verschiedene generische und vorkonfigurierte Leitfäden zur Verfügung gestellt, deren Schritte mit einzelnen Planungsmethoden hinterlegt sind (BRAUN 2005, S. 153). Bezüglich der Erfah-

rung des Anwenders wird zwischen Methodenanfängern, Methodenfortgeschrittenen sowie Methodenexperten unterschieden. Hinsichtlich der strategischen Stoßrichtung wird zwischen Kombinationen aus Markt-, Produkt- und Technologieinnovationen differenziert. In diesem Kontext sei auch auf die Arbeit von ORLIK 2005, der sich diesbezüglicher Stoßrichtungen mit der Geschäftsfeldplanung auseinandersetzt, verwiesen. Auch GERST 2002 setzt sich mit strategischen Produktentscheidungen in kleinen und mittelständischen Unternehmen mit der Schwerpunktsetzung auf die Zulieferindustrie auseinander. Dabei schafft er ein Instrumentarium, welches unter Nutzung bestehender Ansätze in der Produktplanung – wie beispielsweise QFD und Szenario-Management – die Ableitung neuer situationsspezifischer Methoden zulässt. So zeigt er als Beispiel, wie sich eine Methode zur Ermittlung des Produktpotenzials – welches sich in diesem Fall durch konsistente, vom Unternehmen erstellbare Merkmalsprofile definiert – unter Berücksichtigung der Elemente des Szenario-Managements flexibel herleiten lässt (GERST 2002, S. 102).

SEIDEL 2005 (S. 56) entwickelt eine **feingliedrige Planungsmethodik**, welche aus fünf (siehe (1) bis (5)) übergeordneten Phasen besteht. Aufbauend auf der (1) Analyse von Kundenwünschen erfolgt im nächsten Schritt ein (2) Benchmark relevanter Produkte. Daran anschließend wird die (3) Konzepterstellung vorbereitet, indem Handlungsbedarfe identifiziert und priorisiert werden. Im darauf folgenden Schritt werden (4) Produktkonzepte erstellt. Abschließend wird die (5) Entscheidung über weiter zu verfolgende Produktkonzepte vorbereitet und getroffen. SEIDEL 2005 legt bei seiner Methodik Wert auf deren flexible Einsetzbarkeit hinsichtlich radikaler und inkrementeller Innovationen. Zudem stellt SEIDEL 2005 den Bezug der Produktplanungsmethodik zu weiteren planerischen Prozessen (z. B. Forschung und Vorentwicklung, Produktstrategie- und Unternehmensstrategieplanung), aber auch zu den der Produktplanung anschließenden Prozessen (z. B. Entwicklung, Produktion) durch Darstellung der Informationsflüsse her. Der Planungsmethodik werden von SEIDEL 2005 zudem einzelne, teils selbst entwickelte Methoden hinterlegt. So stellt er beispielsweise zur Erstellung von Produktkonzepten die „Innovationsplanungs-Matrix“ (SEIDEL 2005, S. 89) vor, welche eine an seine Planungsmethodik adaptierte, auf dem House of Quality aus dem QFD stammende Methode darstellt.

ZERNIAL 2007 baut im Rahmen des von ihm vorgeschlagenen **Technology Roadmap Deployment** (TRD – siehe Bild 2-14) ebenfalls auf bestehenden Ansätzen des QFD auf und kombiniert diese mit den zuvor dargelegten Roadmapping-Techniken. In einem hierarchischen Planungssystem werden über verschiedene Objektebenen inhaltliche und temporale planungsrelevante Zusammenhänge strukturiert (ZERNIAL 2007, S. 144). Zum einen erfolgt eine **vertikale Kopplung der Objektebenen**, wobei eine durchgängige Abbildung planungsrelevanter Informationen von der Marktebene bis hin zur Ressourcenebene gewährleistet wird. Durch diese durchgängige Kopplung wird sowohl eine „Außen-Innen-Planung“, welche sich durch eine starke Marktorientierung auszeichnet, als auch eine „Innen-Außen-Planung“, welche durch eine Ressourcen- und Technologierorientierung geprägt ist, ermöglicht. Zum anderen erfolgt eine **horizontale Kopplung der Ebenen über verschiedene Planungshorizonte** hinweg. Die Informationen werden analog zur Strukturierung beim QFD in einzelnen Planungsmatrizen systematisiert, wobei jeweils zwei Objektebenen miteinander verknüpft werden. So wird z. B. die Kopplung der Produktebene und der Komponentenebene in einer Komponenten-Matrix repräsentiert.

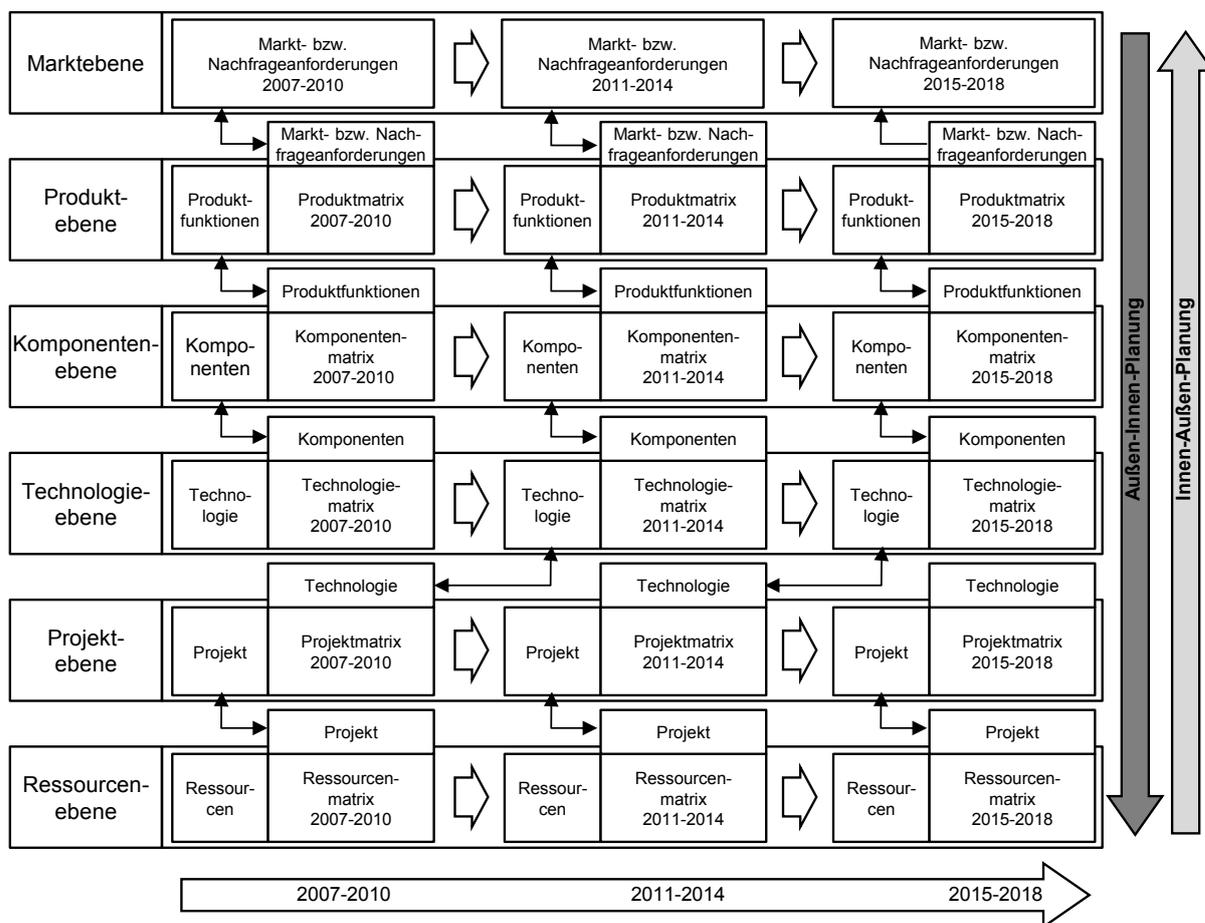


Bild 2-14: Technology Roadmap Deployment (ZERNIAL 2007, S.144)

Der Ansatz von ZERNIAL 2007 erweist sich als sehr mächtiges Planungsinstrument, insbesondere aufgrund des hohen Detaillierungsgrades, was die Akquisition und Selektion der planungsrelevanten Informationen entlang der einzelnen Objektebenen angeht. Zudem werden Zusammenhänge hinsichtlich der Konsistenz und Kompatibilität der akquirierten Informationen angesprochen. Wie Zusammenhänge entlang der verschiedenen Dimensionen im Detail analysiert werden können, wird bei ZERNIAL 2007 jedoch nicht ausreichend adressiert. So wird beispielsweise angesprochen, dass die **Kompatibilität der einzelnen Objektkombinationen** innerhalb einer Objektebene (z. B. Kompatibilität von Komponenten) überprüft werden sollte (ZERNIAL 2007, S. 158), entsprechend detaillierte Analysemethoden werden jedoch nicht aufgezeigt. Zudem wird angesprochen, dass durch die horizontale Vorkopplung innerhalb einer Objektebene Veränderungen über der Zeit identifiziert werden können (ZERNIAL 2007, S. 149), entsprechende methodische Ansätze werden jedoch nicht aufgezeigt. Auch die Berücksichtigung verschiedener alternativer Zukunftsbilder und entsprechender Entwicklungspfade wird als wichtig erachtet (ZERNIAL 2007, S. 328), wird jedoch nicht vertieft. Zusammenfassend stellt die Arbeit von ZERNIAL 2007 einen wertvollen Beitrag zur Darstellung und Strukturierung planungsrelevanter Zusammenhänge dar. Dennoch werden Potenziale zur Analyse dieser Zusammenhänge und damit einhergehend die Betrachtung von systemischen

Implikationen über verschiedene Objektebenen und Planungshorizonte hinweg trotz der dafür vorliegenden matrizenbasierten Dokumentation nicht ausgenutzt.

Die rechnerbasierte Zusammenführung unterschiedlicher Planungsperspektiven gelingt BRINK & IHMELS 2007 im Rahmen einer **Innovationsdatenbank**. Die aktuell und zukünftig verfügbaren Technologien werden mit einer jeweiligen Charakterisierung (z. B. hinsichtlich Quellenangabe, Anwendungsbeispiele, kennzeichnende Parameter, Reifegrad) in der Datenbank hinterlegt und dabei Produktideen zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt über Produktfunktionen, wobei die Technologien die Funktionen erfüllen und die Funktionen eine lösungsneutrale Repräsentation der Produktidee darstellen. Anhand eines morphologischen Kastens wird – unter Berücksichtigung der für eine Produktfunktion alternativ zur Verfügung stehenden Technologien – die Generierung von Gesamtkonzepten ermöglicht, welche im Anschluss anhand einer umfassenden Technologie-Roadmap visualisiert werden können. Zudem erlaubt die Innovationsdatenbank die Zuordnung von Produktideen zu Marktsegmenten, welche durch die Erstellung von Markt- und Umfeldszenarios ermittelt werden. Die Innovationsdatenbank ermöglicht somit eine durchgängige Verknüpfung planungsrelevanter Informationen vom Markt bis hin zu den Technologien und lässt sowohl technologie- (**Technology-Push**) als auch marktgetriebene (**Market-Pull**) Innovationen zu. Damit stellt die Innovationsdatenbank ein integrierendes Instrumentarium dar, welches Wissen über Produktideen und Technologien zentral erfasst, systematisiert und im Rahmen der Produktplanung zielgruppengerecht zur Verfügung stellen kann (BRINK et al. 2008, S. 21). In der Folge repräsentiert die Innovationsdatenbank ein durchdachtes Werkzeug zum Wissensmanagement. Die Nutzung der vielen hinterlegten Informationen für weitere Analysen hinsichtlich der Identifikation konsistenter Produktkonzepte und -strategien wird jedoch nicht ermöglicht.

MATEIKA 2005 kombiniert in seiner Arbeit im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus verschiedene Ansätze zur Berücksichtigung des gesamten Produktlebenszyklus mit den Schritten der Produktplanung. Die Lebenszyklusorientierung findet sich in allen Schritten der Zielfindung und Situationsanalyse über die Zukunftsprognose und Ideengenerierung/-bewertung bis hin zur Umsetzungsplanung wieder. Dabei nimmt die Berücksichtigung von Lebenszykluskosten sowie möglichen Erlösen eine zentrale Stellung ein – sei es sowohl bei der Situationsanalyse durch Berücksichtigung einer lebenszyklusbezogenen Kapitalwertmethode als auch bei der Erarbeitung alternativer Kosten- und Erlösszenarios im Rahmen der Zukunftsprognose. Zwar geht MATEIKA 2005 (S. 112) im Rahmen der Situationsanalyse auch auf die Identifikation qualitativ geprägter, lebenszyklusorientierter Unternehmens- und Umfeldfaktoren ein, übersetzt diese jedoch im Rahmen der Zukunftsprognose wieder umgehend in entsprechende **wirtschaftliche Kenngrößen**. Diese ausgeprägte Orientierung an wirtschaftlichen Kenngrößen hat den Vorteil, Kosten und Erlöse sowohl für den Kunden als auch für das Unternehmen stets reflektieren zu können. Der große Nachteil der Herangehensweise besteht jedoch darin, dass häufig eine intransparente Übersetzung qualitativer Kenngrößen in wirtschaftliche Kenngrößen vorgenommen werden muss, ohne die hinter den wirtschaftlichen Kenngrößen stehenden Zusammenhänge tatsächlich durchdrungen zu haben. Diese unzureichende Berücksichtigung der Abhängigkeiten nicht wirtschaftlich artikulierter Randbedingungen und Potenziale kann zur Folge haben, dass falsche Annahmen zur Entscheidung über Produktkonzepte herangezogen werden. Weiterhin können durch die ausgeprägte Orientierung an wirtschaftlichen Kenngrößen keine weiteren Analysen zur inhaltlichen Konsistenz der Produktkonzepte

und seiner Elemente über verschiedene Planungshorizonte hinweg vorgenommen werden. Zudem unterstützen die im Rahmen des Ansatzes erarbeiteten Ergebnisse mit all den genannten Einschränkungen lediglich die kostenorientierte Entscheidung, die Unterstützung weiterer planungsrelevanter Aufgaben wie die inhaltliche Detaillierung des Entwicklungsvorschlags wird nur ansatzweise unterstützt. Zusammenfassend adressiert MATEIKA 2005 durch die durchgängige Orientierung am Lebenszyklus einen wichtigen Aspekt im Rahmen der Produktplanung, reflektiert dabei aber bedeutende Systemzusammenhänge der planungsrelevanten Informationen nur unzureichend.

Fazit zur methodischen Unterstützung der Produktplanung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über existierende Ansätze zur systematischen Produktplanung, welche eine Grundlage für die vorliegende Arbeit darstellen. Neben den Ansätzen zur **Akquisition planungsrelevanter Informationen** sind auch Ansätze zu deren **Gegenüberstellung, Priorisierung und Dokumentation** dargestellt, wobei diese nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind. Neben der Berücksichtigung sowohl unternehmens- als auch umfeldrelevanter Faktoren in der Produktplanung spielen eine Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus, das Denken in verschiedenen Planungshorizonten und alternativen Zukunftsbildern sowie die durchgängige Kopplung unterschiedlicher Betrachtungsebenen bezüglich der zu planenden Produkte eine bedeutende Rolle. Während die methodischen Ansätze zur Akquisition und Projektion produktbezogener, planungsrelevanter Informationen sehr detailliert beschrieben sind, wird auf die Analyse von einhergehenden Systemzusammenhängen über die verschiedenen Betrachtungsebenen vom zu bedienenden Markt bis hin zur einzusetzenden Technologie nur zum Teil eingegangen.

Die beispielsweise im Rahmen des QFD erstellten Matrizen sowie die bei der Szenarioerstellung eingesetzte Konsistenzanalyse erlauben die Überprüfung spezifischer planungsrelevanter Zusammenhänge. Das Potenzial einer transparenteren Entscheidungsfindung in der Produktplanung durch die lebenszyklusphasen-übergreifende Analyse von Systemzusammenhängen unter Berücksichtigung verschiedener Szenarios und Planungshorizonte bleibt jedoch weitestgehend ungenutzt. Dies sei auch nochmals durch die Arbeiten von ROHRBECK & GEMÜNDEN 2006 (S. 169) hinsichtlich bestehender Ansätze der strategischen Frühaufklärung unterstrichen. Diese ziehen das Fazit, dass ein **Mangel an systematischen Konzepten** besteht, „*die unterschiedlichen Akteure und Aktivitäten zu integrieren, so dass Redundanzen vermieden werden, Informationen trianguliert werden und durch Verknüpfung von technischen und marktbezogenen Informationen ganzheitlich basierte Strategien und Entscheidungen besser fundiert werden.*“

2.3 Leistungsbündel

Der Wechsel hin zu einem Anbieter integrierter **Sach- und Dienstleistungskombinationen** stellt für viele produzierende Unternehmen eine Möglichkeit dar, sich im Wettbewerb von der Konkurrenz durch die Schaffung von Differenzierungs- und Alleinstellungsmerkmalen abzuheben (DIETZ et al. 2009, S. 1). Dieser Perspektivenwechsel findet in unterschiedlichen wissenschaftlichen Forschungsdisziplinen Eingang und ist auch Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit. Vor diesem Hintergrund setzt sich Kapitel 2.3.1 zunächst mit Begrifflich-

keiten bezüglich der Integration von Sach- und Dienstleistungen im Rahmen von **Leistungsbündeln** auseinander. Weiterhin wird näher auf die Motivation zur Erbringung von Leistungsbündeln eingegangen. Nach der Skizzierung der Vielfalt von Betrachtungsgegenständen bei der Beforschung von Leistungsbündeln werden in Kapitel 2.3.2 spezifische Ansätze der methodisch-systematischen Entwicklung und Planung von Leistungsbündeln betrachtet. In diesem Rahmen wird auch dargelegt, wie das Themenfeld der Leistungsbündel in dieser Arbeit Berücksichtigung findet.

2.3.1 Integrierte Betrachtung von Sach- und Dienstleistungsanteilen

GOEDKOOP et al. 1999 (S. 18) definieren ein Leistungsbündel als ein **marktfähiges Bündel an Produkten (Sachleistungen) und Dienstleistungen**, welches in der Lage ist, Kundenanforderungen zu erfüllen. Im Kontext dieser Definition haben sich in der Vergangenheit zahlreiche weitere Begriffe neben „Leistungsbündel“ etabliert, nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass die Auseinandersetzung mit integrierten Sach- und Dienstleistungskombinationen in diversen Forschungsfeldern Einzug gehalten hat. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Leistungsbündel“ aufgrund der Einbettung der Arbeit in den Sonderforschungsbereich 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen – verzahnte Entwicklung von Leistungsbündeln auf Basis technischer Produkte“ verwendet. KNACKSTEDT et al. 2008 (S. 237) geben über entsprechende Begriffe mit einer inhaltlichen Verwandtschaft zur Bedeutung von Leistungsbündeln einen detaillierten Überblick und adressieren zudem verschiedene existierende Beispiele zu Leistungsbündeln. Folgend sind einige **wesentliche Begriffe**, die im Kontext der Auseinandersetzung mit Leistungsbündeln ebenfalls Verwendung finden, beispielhaft genannt:

- hybrides Leistungsbündel (HLB), hybride Wertschöpfung;
- hybrides Produkt, kovalentes Produkt;
- Lösung, komplexe Lösung, Solution;
- PSS: Produkt-Service System, Product-Service-System, Product/Service-System;
- IPS²: Industrial Product-Service-System.

Zur weiteren Detaillierung und Beschreibung von Leistungsbündeln stellen GOEDKOOP et al. 1999 (S. 18) folgende Aspekte heraus:

- Ein **Produkt** (Sachleistung ohne Berücksichtigung einer Dienstleistung) ist ein materielles Erzeugnis, welches produziert wird, um verkauft zu werden und Kundenanforderungen zu erfüllen.
- Eine **Dienstleistung** stellt eine Handlung (bzw. Aktivität) dar, welche für andere (z. B. Personen, Unternehmen) mit einem wirtschaftlichen Mehrwert erbracht wird und oftmals auf einer geschäftlichen Basis beruht. Eine Dienstleistung kann sowohl von Menschen als auch von automatisierten Systemen erbracht werden.
- Ein Leistungsbündel kann eine bzw. mehrere Sachleistungen und eine bzw. mehrere Dienstleistungen beinhalten, wobei die Sach- und Dienstleistungsanteile eine **gleich bedeutende Rolle für die Funktionserfüllung** spielen können.

- Ein Leistungsbündel kann sowohl von einem einzigen Unternehmen als auch von einer **Unternehmensallianz** erbracht werden.

BAINES et al. 2007 (S. 1545) geben einen literaturbasierten Überblick über weitere diskutierte Definitionen und Charakterisierungen von Leistungsbündeln. Dabei sprechen sie an, dass mit einem Perspektivenwechsel von einer reinen Sachleistungsorientierung hin zu einer Leistungsbündelorientierung die Möglichkeit geschaffen wird, die oftmals wahrgenommene Kopplung der Menge an eingesetzten materiellen Gütern und dem daraus generierten Kundenmehrwert zu durchbrechen. In der Konsequenz wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Kunden nicht nach spezifischen Produkten oder Dienstleistungen an sich suchen, sondern nach **Lösungen ihrer Probleme** (LINZ & MÜLLER-STEWENS 2012, S. 1).

Auch der Sonderforschungsbereich/Transregio 29 (SFB/TR 29) setzt sich mit dem „Engineering hybrider Leistungsbündel“ auseinander, wobei insbesondere **industrielle Sach- und Dienstleistungskombinationen** betrachtet werden. Die im SFB/TR 29 verwendete Beschreibung hybrider Leistungsbündel schließt weitere Dimensionen ein und lautet nach MEIER & UHLMANN 2012 (S. 6) wie folgt:

„Ein hybrides Leistungsbündel ist gekennzeichnet durch die integrierte, sich gegenseitig determinierende Planung, Entwicklung, Implementierung, Erbringung und Nutzung von Sach- und Dienstleistungsanteilen einschließlich ihrer immanenten Softwarekomponenten in industriellen Anwendungen und repräsentiert ein wissensintensives soziotechnisches System.“

Hervorzuheben an dieser Definition ist neben der expliziten Nennung von Softwarekomponenten die übergreifende Berücksichtigung der einzelnen Lebenszyklusphasen eines Leistungsbündels. MEIER & UHLMANN 2012 (S. 4) sowie SPATH & DEMUB 2006 (S. 465) diskutieren zudem den **Unterschied** von Leistungsbündeln zu bereits im heutigen Umfeld etablierten **produktbegleitenden Dienstleistungen**. Dabei stellen produktbegleitende Dienstleistungen lediglich eine Ergänzung zu bereits existierenden, vermarktbareren Sachleistungen dar. Hybride Leistungsbündel gilt es dagegen integriert zu planen und zu entwickeln (TUKKER & TISCHNER 2006, S. 1552), so dass kundenorientierte, individualisierte Lösungen entlang des gesamten Lebenszyklus erbracht werden können. Im Sinne einer **integrierten Planung** spricht MONT 2000 (S. 36) die Möglichkeit der Substituierung von Produkt- durch Dienstleistungskomponenten als Ergebnis einer ganzheitlichen Betrachtung der Wertschöpfungskette an. Zudem verweist sie auf die daraus resultierende Verringerung des negativen Einflusses auf die Umwelt durch die integrierte Betrachtung von Sach- und Dienstleistungskombinationen.

Auch MEIER & UHLMANN 2012 (S. 5) adressieren die Möglichkeit einer **verbesserten Ressourcennutzung** durch Leistungsbündel, beispielsweise aufgrund der Wiederverwendung von Leistungsbündelkomponenten durch geänderte Eigentumsverhältnisse bei Betreibermodellen. In diesem Zusammenhang wird das Thema Leistungsbündel in der Literatur zum Teil bzw. ausschließlich mit dem Themengebiet der **Nachhaltigkeit** assoziiert. So gehen MCALOONE & ANDREASEN 2002 (S. 52) darauf ein, dass sich durch die Änderung des Geschäftsmodells vom Verkauf des Produkts hin zum Betreibermodell die Verantwortlichkeiten entlang des gesamten Lebenszyklus verändern. Dadurch ergeben sich Änderungen bei der Planung und Entwicklung, so dass Lösungen mit einem **Bewusstsein für den gesamten Lebenszyklus** entstehen, was oftmals einen verantwortlicheren und nachhaltigeren Umgang mit Materialien und

Ressourcen zum Betrieb des Produkts zur Folge hat (MCALOONE & ANDREASEN 2004, S. 3). Auch GOEDKOOP et al. 1999 (S. 22) sowie MONT 2002 (S. 239) gehen insbesondere auf den Aspekt der Nachhaltigkeit ein, stellen aber die für viele Unternehmen vorrangigeren ökonomischen Treiber zur Erbringung von Leistungsbündeln heraus. Dabei gehen die Autoren auf Unterschiede zwischen der Motivation von primär produzierenden und primär dienstleistungserbringenden Unternehmen ein, Leistungsbündel anzubieten. Zusammenfassend spiegeln die unterschiedlichen Veröffentlichungen im Bereich der Erforschung von Leistungsbündeln ähnliche **Motivatoren** wider, Leistungsbündel zu erbringen:

- Erschließung neuer Absatzmärkte und stärkere Marktdurchdringung,
- erhöhte Wettbewerbsfähigkeit durch Möglichkeiten der Differenzierung,
- einfachere Erbringung kundenindividueller Lösungen,
- stärkere Kundenbindung bzw. langfristige Kunden-Unternehmen-Beziehung,
- Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle,
- Erfassbarkeit und Verringerung der Lebenszykluskosten.

MONT 2002 (S. 239) spricht aber zudem an, dass es für Unternehmen nicht unbedingt sinnvoll ist, Leistungsbündel zu forcieren. Hierbei nennt sie als mögliche Gründe, dass der Markt des Unternehmens nicht bereit ist, Leistungsbündel zu akzeptieren bzw. das Unternehmen aufgrund seiner primären Technologiekompetenz und einhergehenden Organisation nicht umgehend in der Lage ist, sich zum Anbieter von Leistungsbündeln zu wandeln.

Zur weiteren Beschreibung der Grundlagen integrierter Sach- und Dienstleistungskombinationen gehen BURIANEK et al. 2007 sowie LEIMEISTER & GLAUNER 2008 auf die **Typologisierung von Leistungsbündeln** ein. LEIMEISTER & GLAUNER 2008 (S. 249) leiten aus der Literatur ab, dass die Abgrenzung unterschiedlicher Leistungsbündel insbesondere anhand der zwei Dimensionen „Interaktion mit dem Kunden während des Erstellungsprozesses“ sowie „Grad der Immaterialität des Leistungsergebnisses“ erfolgt. BURIANEK et al. 2007 (S. 11) detaillieren unterschiedliche Dimensionen zur Typologisierung von Leistungsbündeln, wobei sie auch einen aussagekräftigen Überblick über die möglichen Ausprägungen der verschiedenen Dimensionen von Leistungsbündeln geben (siehe Bild 2-15). Dabei stellen BURIANEK et al. 2007 auch schematisch dar, welche Ausprägung der jeweiligen Dimensionen einen Beitrag zur **Erhöhung der Komplexität** im Umgang mit Leistungsbündeln leistet. Auch die öffentlich verfügbare Spezifikation PAS 1094 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009b) geht auf die Komplexität im Umgang mit Leistungsbündeln ein. Dabei wird insbesondere der Zusammenhang zwischen der Komplexität im Umgang mit Leistungsbündeln und der Heterogenität von Leistungsbündeln, welche sich aus der Anzahl und Vielfalt der berücksichtigten Sach- und Dienstleistungsanteile definiert, adressiert.

TUKKER 2004 (S. 248) schlägt acht verschiedene Typen von Leistungsbündeln vor, wobei sich diese an den Kategorien „produktorientiert“, „nutzenorientiert“, und „ergebnisorientiert“ ausrichten. Eine ähnliche Einteilung in funktionsorientierte, verfügbarkeitsorientierte und leistungsorientierte Leistungsbündel nehmen auch MEIER & UHLMANN 2012 vor.

Bei den **produktorientierten Leistungsbündeln** nach TUKKER 2004 wird das Produkt (die Sachleistung) an sich verkauft, wobei es zusätzlich zu erwerbende, darauf spezifisch abge-

stimmte Dienstleistungen gibt. Ein Beispiel in diesem Zusammenhang wäre, dass ein Nutzfahrzeug (LKW) zwar verkauft wird, aber ein Wartungsvertrag für den LKW als Dienstleistung zusätzlich erwerbbar ist. Als Beispiel für ein **nutzenorientiertes Leistungsbündel** stellt dagegen ein LKW dar, der im Eigentum des Herstellers bleibt und an den Nutzer für einen bestimmten Betrag vermietet wird. Ein **ergebnisorientiertes Leistungsbündel** dagegen geht noch einen Schritt weiter in Richtung einer ausgeprägten Lösungsorientierung. Als Beispiel würde ein LKW-Nutzer nicht mehr den LKW als solchen anmieten, sondern der Nutzer zahlt nur mehr für die letztendlich erbrachte Leistung, welche sich in der Zahl der gefahrenen Kilometer ausdrückt. AZARENKO et al. 2009 spielen die drei von TUKKER 2004 vorgeschlagenen Kategorien für eine Werkzeugmaschine durch. Dabei betonen AZARENKO et al. 2009 (S. 720), dass je nach strategischer Ausrichtung die zielgerichtete Wahl der Art des einzusetzenden Leistungsbündels getroffen werden muss. So stellen sie beispielsweise heraus, dass ein ergebnisorientiertes Leistungsbündel dann sinnvollerweise eingesetzt werden kann, wenn der Kunde die entsprechende Leistung nur für kurze Zeit benötigt und diese nicht sein Hauptgeschäft darstellt.

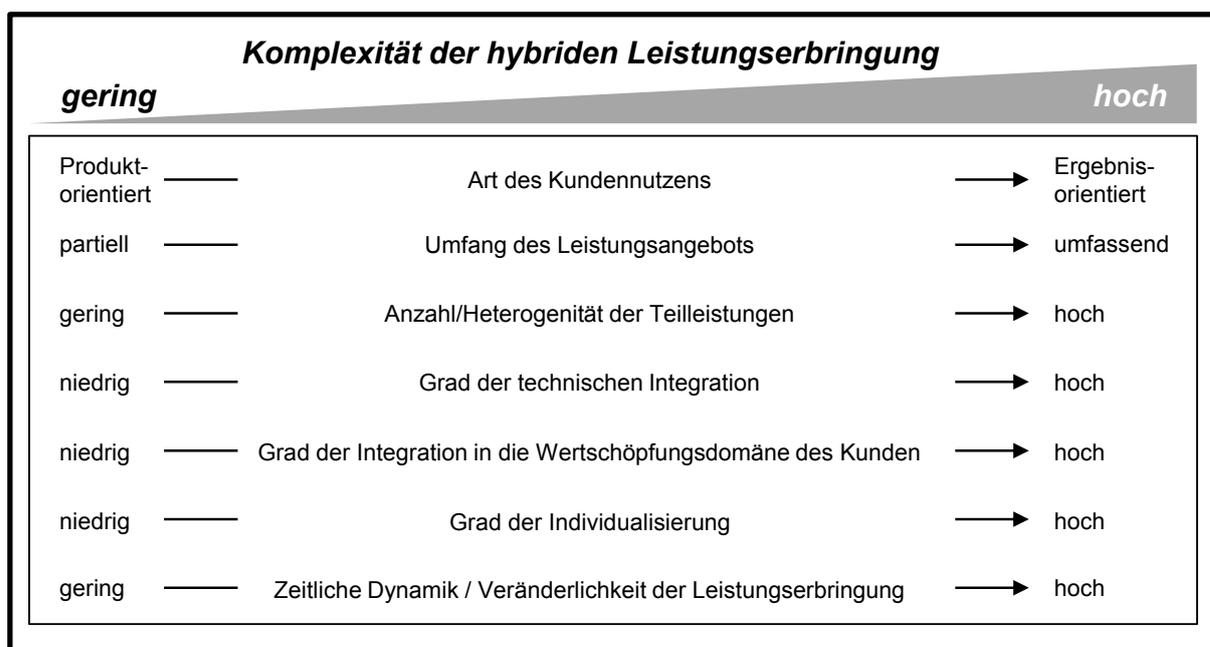


Bild 2-15: Typologisierung von Leistungsbündeln (BURIANEK et al. 2007, S. 11)

Einen weiteren Ansatz zur Detaillierung des Umgangs mit Leistungsbündeln stellen BECKER et al. 2009 in dem von ihnen entwickelten **Ordnungsrahmen** dar (siehe Bild 2-16). Hierbei werden insgesamt 14 Support-, Kern- und Koordinationsprozesse aufgezeigt, welche notwendig sind, um Leistungsbündel erfolgreich umzusetzen. Zudem wird dargelegt, durch welche Stakeholder sich die Beschaffungs- und Absatzseite auszeichnen. Basierend auf einem DIN-Workshop sowie auf Basis einer Delphi-Studie gehen BECKER et al. 2009 zudem darauf ein, welche Artefakte – z. B. Modelle, Methoden und Anwendungssysteme – im Rahmen der einzelnen Prozesse sinnvollerweise entstehen bzw. auf welche Artefakte zugegriffen wird.

Die vorliegende Arbeit setzt an verschiedenen dargestellten Prozessen im Ordnungsrahmen nach BECKER et al. 2009 an. So wird durch die lebenszyklusorientierte Planung von Leistungsbündeln die **Strategiebildung** als Koordinationsprozess sowie das **Technologiemanagement** als Supportprozess unter Berücksichtigung der Kernprozesse unterstützt. In diesem Kontext wird dies durch die Entwicklung eines Modells des Leistungsbündel-Lebenszyklus gewährleistet. Zudem wird die integrierte Planung und Entwicklung von kundenorientierten Sach- und Dienstleistungskombinationen durch die Verwendung des Lebenszyklus-Modells zur Akquisition planungsrelevanter Informationen unterstützt. Vor diesem Hintergrund werden im folgenden Kapitel Ansätze im Sinne einer methodisch-systematischen Planung und Entwicklung von Leistungsbündeln aufgezeigt. Die nachfolgend erläuterten Methoden und Herangehensweisen dienen als Grundlagen der in der vorliegenden Arbeit dargestellten Ergebnisse, wobei diese sowohl der Darstellung von Anknüpfungspunkten als auch der Abgrenzung beitragen. Weiterhin werden im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung weitere systematische Ansätze zum Umgang mit Leistungsbündeln in Kapitel 2.4.2 berücksichtigt.

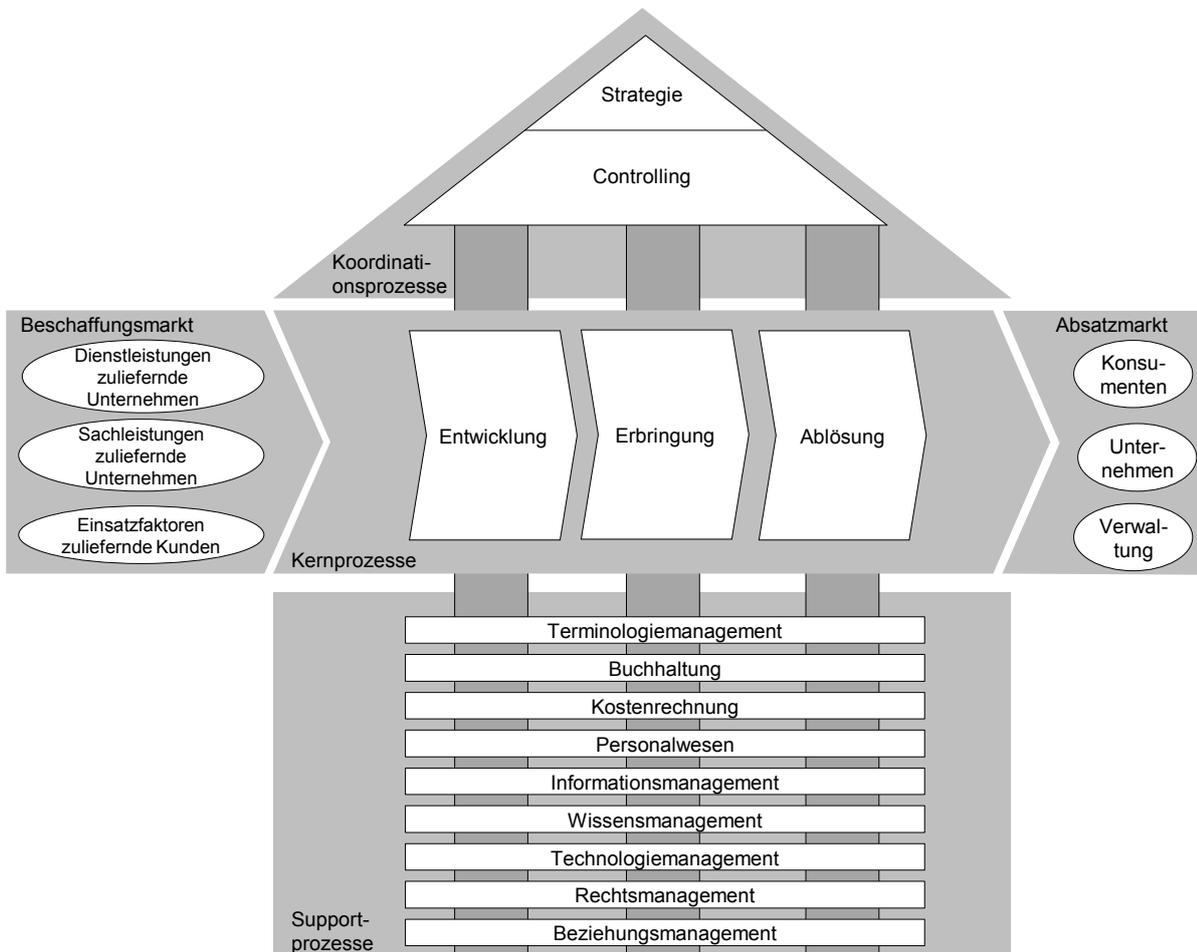


Bild 2-16: Ordnungsrahmen für hybride Wertschöpfung nach BECKER et al. 2009 (S. 116)

2.3.2 Ansätze zur Planung und Entwicklung von Leistungsbündeln

LINDAHL et al. 2009 beschreiben anhand von fünf industriellen Fallstudien Implikationen für die Planung und Entwicklung bezüglich des Wechsels vom Produktanbieter hin zum Anbieter integrierter Sach- und Dienstleistungskombinationen. Ein Beispiel, welches den Umstieg vom Verkauf hin zum Betreiber von Leuchten adressiert, sei an dieser Stelle angesprochen. Dabei zeigen LINDAHL et al. 2009 (S. 73) auf, dass der Hersteller und Betreiber aufgrund der geänderten vertraglichen Pflichten den gesamten Lebenszyklus der Lampe und seiner einzelnen Bestandteile stärker antizipieren und in den Konstruktionen im Sinne des „Design for lifecycle“ berücksichtigen muss. Zudem sprechen sie die Bedeutung des Umgangs mit Unsicherheit im Planungsprozess an, insbesondere was die zukünftige Verwendung neuer Technologien im laufenden Lebenszyklus angeht. Nach der Darstellung aller fünf Fallstudien leiten LINDAHL et al. 2009 (S. 79) Schlussfolgerungen für die Entwicklung von Leistungsbündeln ab. Die Herangehensweise, einzelne Fallstudien aufzuzeigen, erweist sich in dem verhältnismäßig jungen Forschungsfeld zur integrierten Betrachtung von Sach- und Dienstleistungskombinationen als wichtig, um **Best Practices und Lessons Learned** für ähnliche Projekte nutzen zu können. Eine darauf basierende Ableitung einer systematisch-methodischen Herangehensweise zur Entwicklung von Leistungsbündeln findet jedoch nicht statt.

SCHWEITZER et al. 2010 stellen in ihrer Arbeit einen Ansatz zur **Entwicklungsprozessplanung und -koordination** von Leistungsbündeln dar. Dafür diskutieren SCHWEITZER et al. 2010 (S. 32) zunächst die Systematisierung der jeweiligen Sach- und Dienstleistungsentwicklungsprozesse, um diese aufeinander abstimmen zu können. Hierbei werden die in den jeweiligen Disziplinen zur Prozessplanung notwendigen Informationen (z. B. über verwendete und zu entwickelnde Modelle, Methoden, Ressourcen) vorgestellt und diskutiert. Aufbauend auf dieser Systematisierung schlagen SCHWEITZER et al. 2010 ein dreistufiges Vorgehen zur Prozessplanung vor, welches folgende Schritte umfasst:

- „Vorbereitung“ durch Definition und Planung des Leistungsbündelprojekts,
- „Durchführung“ durch Integration der Sach- und Dienstleistungsentwicklung,
- „Nachbereitung“ durch Sicherung der gewonnenen Erkenntnisse.

Die Vorbereitung beinhaltet zum einen die Ausarbeitung eines Leistungsbündel-Lastenhefts, in welchem die im Rahmen der Entwicklung zu erzielenden Ausprägungen des Leistungsbündels dokumentiert werden (SCHWEITZER et al. 2010, S. 38). Zum anderen findet darauf basierend eine Grobplanung der Meilensteine anhand eines ersten Ablaufplans der Entwicklung der einzelnen Leistungsbündelbestandteile statt. Im Rahmen der „Durchführung“ wird die Modularisierung des Entwicklungsprozesses in einzelne detaillierte Teilprozesse realisiert, um diese anschließend im Rahmen der Feinplanung unter Berücksichtigung ihrer Abhängigkeiten aufeinander abzustimmen (SCHWEITZER et al. 2010, S. 41). Die „Nachbereitung“ im Anschluss an die Durchführung dient dazu, den durchgeführten Entwicklungsprozess zu reflektieren, um den Aufwand zur Abstimmung der Sach- und Dienstleistungsteilprozesse in zukünftigen Leistungsbündelprojekten zu reduzieren (SCHWEITZER et al. 2010, S. 43). Das von SCHWEITZER et al. 2010 vorgeschlagene Vorgehen unterscheidet sich in vielen Punkten nur wenig von bekannten Herangehensweisen in der integrierten Produktentwicklung. Nichts-

destotrotz gibt es wertvolle Impulse, welche Ansätze zur Abstimmung von Sach- und Dienstleistungsaspekten herangezogen werden können.

AURICH et al. 2005 stellen ebenfalls im Sinne der integrierten Prozessplanung vor, wie Teilprozesse der Sach- und Dienstleistungsentwicklung aufeinander abgestimmt werden können. Hierbei können verschiedene Strategien in Abhängigkeit der jeweiligen **Entwicklungssituationen** unterschieden werden (AURICH et al. 2005, S. 542):

- **Parallele Entwicklung:** Einsatz bei abteilungsorientierter Entwicklung an einem Ort. Teilprozesse von Sach- und Dienstleistungsentwicklung werden weitgehend unabhängig voneinander durchgeführt, nur falls eine Abstimmung notwendig ist, findet diese über den „kleinen Dienstweg“ statt.
- **Synchrone Entwicklung:** Einsatz im Rahmen interdisziplinärer Projektteams an einem Standort. Teilprozesse werden im Sinne des Simultaneous Engineerings in enger Abstimmung parallel durchgeführt.
- **Integrierte Entwicklung:** Einsatz im Rahmen interdisziplinärer Projektteams an mehreren Standorten. Teilprozesse werden anhand von sach- und dienstleistungsorientierten Prozessmodulen mit definierten Ein- und Ausgängen detailliert. Die Prozessplanung verknüpft die Prozessmodule zur abgestimmten Leistungsbündelentwicklung.

Neben diesen Strategien zur Durchführung der Entwicklung und Planung von Leistungsbündeln gehen AURICH et al. 2005 auch auf Unterschiede in der **zentralen, dezentralen und verteilten Prozessgestaltung** zur Entwicklung und Erbringung von Leistungsbündeln in Wertschöpfungsnetzwerken ein. Obschon die von AURICH et al. 2005 behandelten Themen insbesondere die Entwicklung von Leistungsbündeln angehen, stellen die dort aufgeführten Ergebnisse wichtige Aspekte für die vorliegende Arbeit heraus – insbesondere was die Auseinandersetzung mit dem Leistungsbündellebenszyklus betrifft.

Auch SPATH & DEMUB 2006 zeigen verschiedene **Integrationsstufen** bei der Entwicklung von Leistungsbündeln auf. Dabei ist hervorzuheben, dass die gezeigten Vorgehensweisen nach SPATH & DEMUB 2006 (S. 483) auf das sachleistungsorientierte Vorgehensmodell der VDI-Richtlinie 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993) zur Darstellung einer methodisch-systematischen Arbeitsweise zurückgreifen. Zur Kombination von Sach- und Dienstleistungen unterscheiden SPATH & DEMUB 2006 zwischen der „integrierten Produkt- und Dienstleistungsentwicklung für dienstleistende Unternehmen“ und „hybriden Produkten für produzierende Dienstleister“. Bei letzteren wird in der Entwicklung nicht mehr zwischen Sach- und Dienstleistungsdomäne unterschieden, sondern es gibt einen gemeinsamen Leistungserstellungsprozess. Bei ersteren gibt es nach wie vor die Sachleistungsdomäne getrennt von der Dienstleistungsdomäne, wobei diese über das Anforderungsmanagement eng miteinander verknüpft sind.

MÜLLER & BLESSING 2007 erweitern im Kontext des SFB/TR 29 den Betrachtungsbereich zur Reflexion in der Literatur existierender Vorgehensmodelle und adressieren jeweils spezifische Vorgehensmodelle einerseits zur Entwicklung von Sachleistungen und andererseits von Dienstleistungen. Diese Reflexion nutzen sie, um Rückschlüsse für die Ableitung neuer Ansätze zur integrierten Entwicklung von Leistungsbündeln zu ziehen. In der Folge ist eine **Entwicklungsmethodik** (STARK & MÜLLER 2012) entstanden, welche neben einem generi-

schen Vorgehensmodell zur Entwicklung von Leistungsbündeln auch verschiedene Methoden zur Anforderungsklä rung und Ideengenerierung von Leistungsbündeln umfasst. Das Vorgehensmodell, welches bereits in MÜLLER & STARK 2010 in den Kontext bestehender Modelle eingeordnet wird, lehnt sich im Layout und teilweise in den Schritten sowie Iterationen an das V-Modell zur Entwicklung mechatronischer Systeme gemäß der VDI-Richtlinie 2206 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2004, S. 29) an. Das Vorgehensmodell zur Entwicklung von Leistungsbündeln hebt insbesondere die Phasen der Planung und Projektanbahnung sowie den Übergang von der Entwicklung zur Erbringung des Leistungsbündels hervor (STARK & MÜLLER 2012, S. 47).

Neben den exemplarisch erläuterten Modellen sind in der Vergangenheit zahlreiche weitere Vorgehensmodelle entstanden, um die integrierte Entwicklung von Sach- und Dienstleistungskombinationen zu unterstützen. GRÄBLE et al. 2010 geben einen Überblick über elf repräsentative Vorgehensmodelle und stellen diese anhand eines **Vergleichsrahmens** gegenüber. Der Vergleichsrahmen umfasst dabei unterschiedlichste Merkmale und damit einhergehende Ausprägungen zur Charakterisierung der Modelle beispielsweise in Bezug auf die Zielsetzung der Entwicklung, die Durchführung des Prozesses sowie das erzielte Ergebnis, wobei sowohl leistungsbündelspezifische als auch -unspezifische Merkmale betrachtet werden (GRÄBLE et al. 2010, S. 124). Der hohe Detaillierungsgrad der berücksichtigten Merkmale im Vergleichsrahmen gibt einen feingliedrigen Überblick über Dimensionen, die es bei der Erstellung neuer Ansätze im Bereich der Planung und Entwicklung sowohl auf inhaltlicher als auch auf formaler Ebene zu berücksichtigen gilt. Zudem erlaubt die Gegenüberstellung existierender Vorgehensmodelle, Verbesserungspotenziale zu identifizieren.

Im Rahmen der für die Planung von Leistungsbündeln relevanten Anforderungsklä rung existieren ebenfalls verschiedene Arbeiten, welche folgend beispielhaft dargestellt werden. BERKOVICH et al. 2011 stellen ähnlich wie MÜLLER & BLESSING 2007 und GRÄBLE et al. 2010 verschiedene Ansätze aus der Produkt-, Dienstleistungs- und Leistungsbündelentwicklung gegenüber, um diese anhand relevanter Kriterien bezüglich des leistungsbündelbezogenen Anforderungsmanagements zu hinterfragen. Neben den genannten Disziplinen adressieren BERKOVICH et al. 2011 (S. 363) auch explizit Ansätze zur Entwicklung von Software als relevanten Bestandteil von Leistungsbündeln. Zur Ableitung der Kriterien bauen BERKOVICH et al. 2011 (S. 365) einen **literaturbasierten Ordnungsrahmen** auf, welcher die Zusammenhänge von Anforderungsmanagement, Kunde, Lebenszyklus sowie dem Leistungsbündel mit den verschiedenen zu betrachtenden Domänen berücksichtigt (siehe Bild 2-17). BERKOVICH et al. 2011 (S. 368) betonen, dass bislang bestehende Ansätze ein durchgängiges, integriertes Anforderungsmanagement von Leistungsbündeln noch nicht erlauben. Insbesondere der Umgang mit Änderungen von Anforderungen sowie deren Konkretisierung werden durch bestehende Ansätze nicht ausreichend unterstützt (BERKOVICH et al. 2011, S. 367).

MÜLLER et al. 2010 befassen sich ebenfalls mit dem Schritt der Anforderungsklä rung von Leistungsbündeln. In diesem Kontext stellen sie eine **checklistenbasierte Richtlinie** vor, welche über 100 Faktoren aufzeigt, um Anforderungen abzuleiten. Zur übersichtlicheren Darstellung sind die Faktoren in insgesamt elf Cluster (z. B. Vertragswesen, Kommunikation, Geschäftsmodell) unterteilt (MÜLLER et al. 2010, S. 114). Die von MÜLLER et al. 2010 darge-

stellte Checkliste unterstützt somit die Anforderungserhebung, eine Verarbeitung bzw. Analyse und Gegenüberstellung der Anforderungen wird durch diesen Ansatz jedoch nicht erlaubt.

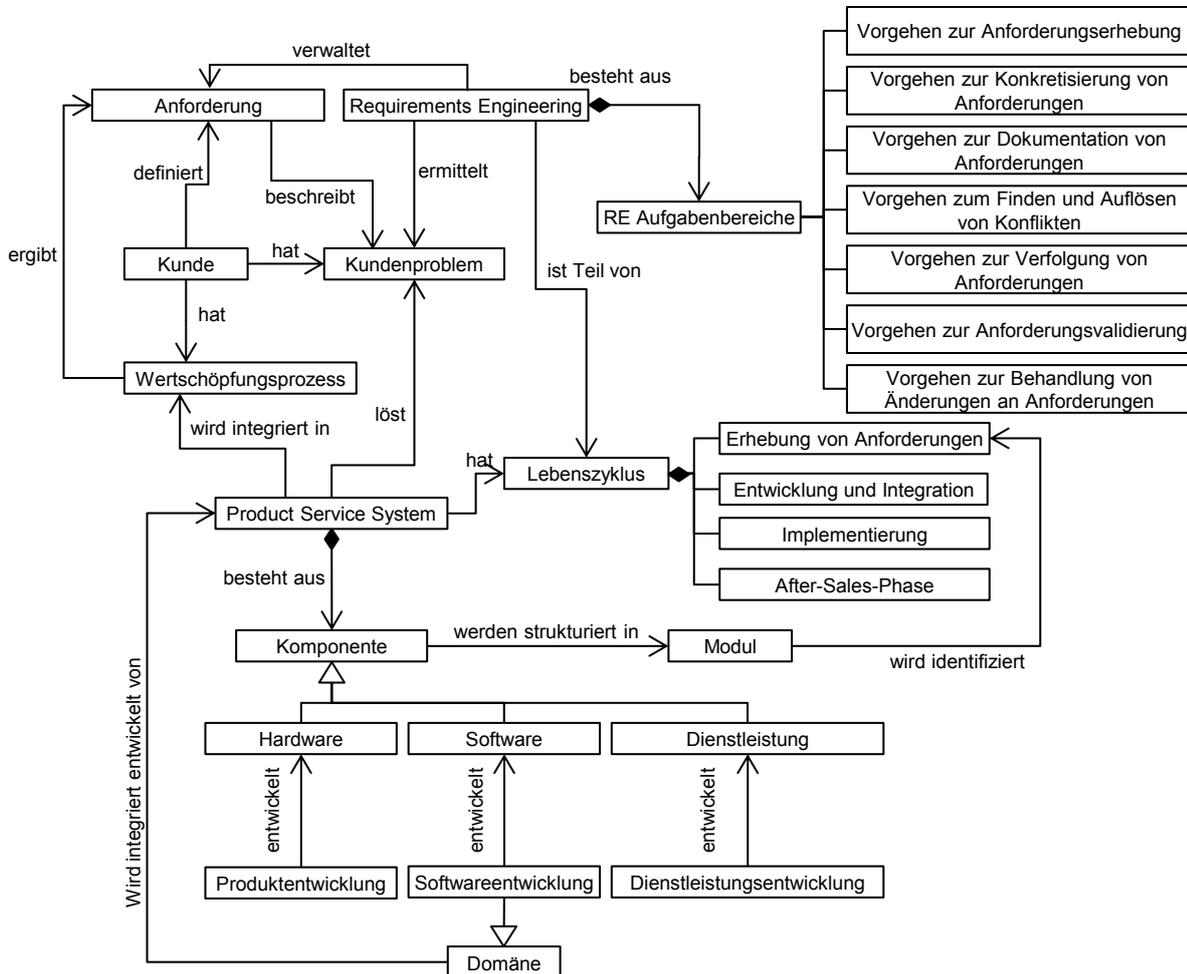


Bild 2-17: Ordnungsrahmen zum Anforderungsmanagement von Leistungsbündeln nach BERKOVICH et al. 2011 (S. 362)

UHLMANN et al. 2010 (S. 402) gehen ebenfalls auf die **Anforderungsakquisition** ein und beziehen neben den Kundenanforderungen auch Anforderungen, welche aus dem Unternehmen sowie dem Umfeld (z. B. Gesetzgebung, Forschung, Zulieferer) resultieren, ein. Hierbei unterscheiden sie **unterschiedliche Konkretisierungsstufen**, nämlich zum einen die weitgehend lösungsneutral formulierten Bedarfe und die bereits mit einem stärkeren Lösungsbezug formulierten Anforderungen, welche letztendlich in der Anforderungsliste zur Entwicklung der Sach- und Dienstleistungskombinationen hinterlegt werden. Um von den Bedarfen zu den Anforderungen zu gelangen, wird eine Software, welche einen wissensbasierten Prozess ausführt, zur Verfügung gestellt (UHLMANN et al. 2010, S. 403). Da für die entsprechende **Transformation** die grundsätzlichen Relationen zwischen möglichen Bedarfen und den bereits lösungsbezogenen Anforderungen hinterlegt sein müssen, ist das Werkzeug insbesondere für Anpassungen/Änderungen bzw. inkrementelle Innovationen geeignet. Eine Reflexion der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Bedarfen bzw. zwischen den einzelnen Anforderungen

findet nicht statt, wodurch Zielkonflikte bis in die späteren Phasen des Produktentstehungsprozesses unberücksichtigt bleiben können.

AURICH et al. 2009 präsentieren ein Vorgehen zur **Konfiguration von Leistungsbündeln**. Der Fokus im Vorgehen liegt darauf, wie basierend auf einem existierenden Set an Varianten der einzelnen Leistungsbündelelemente sinnvolle kundenindividuelle Leistungsbündel abgeleitet werden können. Hierbei werden zunächst getrennt voneinander sachleistungs- und dienstleistungsseitige Konfigurationen erstellt, um erst im Anschluss disziplinübergreifend reflektiert zu werden. Die Auswahl geeigneter Varianten erfolgt unter Berücksichtigung der kundenseitigen Anforderungen aus den verschiedenen Lebenszyklusphasen, welche das Produkt durchläuft. Die lebenszyklusorientierte Herangehensweise wird hierbei artikuliert, diese dient aber lediglich zur Einschränkung geeigneter Varianten und weniger, um tatsächliche unternehmensinterne und -externe Potenziale und Rahmenbedingungen ganzheitlich zu akquirieren und gegenüberzustellen. Bei AURICH et al. 2009 wird somit ein umfassender Rahmen zur baukastenorientierten Konfiguration von Leistungsbündeln gezeigt. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit der methodisch-systematischen Kompatibilität integrierter Sach- und Dienstleistungskombinationen bleibt jedoch aus.

Zur **Konzeptgenerierung von Leistungsbündeln** in den frühen Phasen des Innovationsprozesses schlagen KIM et al. 2010 dagegen eine auf standardisierten Anforderungen und Geschäftsmodellen aufbauende Methodik vor. Zunächst werden die tatsächlichen Anforderungen abstrahiert und anhand einer Tabelle in eine der 22 zur Verfügung stehenden, standardisierten Anforderungen übersetzt (KIM et al. 2010, S. 205). Auf der Lösungsseite stehen 26 verschiedene Geschäftsmodelle und Konzeptvorschläge zur Auswahl. In einer Matrix, deren Spalten durch die 26 Konzeptvorschläge und die Reihen durch die 22 generischen Anforderungen repräsentiert sind, werden 94 Fallstudien bzw. Beispiele eingeordnet. Der zielgerichtete Zugriff auf die spezifischen Fallbeispiele erlaubt das Aufgreifen der Prinzipien des Beispiels für die eigene Problemstellung. Die Methodik bietet einen schnellen Weg, Lösungen zu identifizieren. Durch die Abstraktion der Anforderungen geht jedoch die Individualität der Kundenanforderung verloren. Zudem wird in der Methodik das mögliche Auftreten von Zielkonflikten durch die Berücksichtigung mehrerer Anforderungen und damit einhergehend optional einzusetzender Lösungen nicht berücksichtigt. Daher ist die Methodik nur für sehr eingeschränkte Problemstellungen anwendbar.

MANNWEILER et al. 2010a (siehe auch FUCHS 2007) stellen eine **Methodik zur Planung von Leistungsbündeln** vor, geben dabei jedoch keine spezifischen Checklisten vor, sondern gehen auf in der Planung anwendbare und auf den jeweiligen Anwendungskontext anpassbare Methoden ein. Eine wesentliche Einschränkung zur Erbringung einer kundenorientierten Lösung stellt bei MANNWEILER et al. 2010a (S. 16) dar, dass die Sachleistung in den Mittelpunkt gerückt wird. Für die Ableitung der Dienstleistungen werden Ziele festgelegt, wobei diese sowohl in Bezug auf den Kunden (externe Ziele) als auch in Bezug auf das eigene Unternehmen (interne Ziele) erhoben werden. Zur systematischen Akquisition von Zielen berufen sich MANNWEILER et al. 2010a (S. 18) auf die Kategorien der Balanced Score Card nach KAPLAN & NORTON 1992, wobei die Finanzperspektive, die Prozessperspektive sowie die Potenzialperspektive adressiert werden. Sowohl bei der Zieldefinition als auch bei der darauf folgenden Suche nach Dienstleistungsideen spielt die Berücksichtigung aller Lebenszyklusphasen eine

wesentliche Rolle. So wird zur Identifikation geeigneter Dienstleistungsideen zunächst eine Planungsmorphologie aufgespannt, deren Achsen zum einen die Lebenszyklusphasen und zum anderen verschiedene Servicetypen umfassen (MANNWEILER et al. 2010a, S. 19). Servicetypen stellen beispielsweise technische Dienstleistungen wie Wartung und Inspektion, qualifizierende Dienstleistungen wie Produktschulungen oder auch logistische Dienstleistungen wie die Bereitstellung von zusätzlichen Sachleistungen dar. Weiterhin kommt ein sogenanntes „House of Service“ zur Verknüpfung der Dienstleistungen zum Einsatz. Eine spezifische Analyse der Kompatibilität von Sach- und Dienstleistungskombinationen wird jedoch nicht verfolgt. Zur Bewertung der Dienstleistungsideen erfolgt eine an die Nutzwertanalyse angelehnte Überprüfung der Zielkonformität. Hierbei werden die Dienstleistungsideen auf die zuvor erhobenen und gewichteten internen und externen Ziele hin überprüft (MANNWEILER et al. 2010a, S. 21). Die Methodik nach MANNWEILER et al. 2010a stellt somit ein ganzheitliches Planungsinstrument unter Berücksichtigung unterschiedlichster planungsrelevanter Dimensionen dar. Dennoch erlaubt das sequenzielle Vorgehen eine kundenorientierte Lösungserbringung nur teilweise, weil nach wie vor ein festgelegtes Sachprodukt im Vordergrund steht. Zudem bleiben mögliche Zielkonflikte unberücksichtigt, da die Kompatibilität der die Ziele erfüllenden Lösungsmöglichkeiten nicht analysiert wird.

Während vorangegangene Ansätze insbesondere spezifische Methoden zur Planung und Konzeptentwicklung von Leistungsbündeln aufzeigen, gehen STEVEN & RICHTER 2010 auf grundsätzliche Mechanismen zur Handhabung der Komplexität in der Leistungsbündelplanung ein. Diese lauten nach STEVEN & RICHTER 2010 (S. 154) wie folgt:

- **Dekomposition:** Um nicht das gesamte Leistungsbündel als ein Planungsproblem anzugehen, gilt es, dieses anhand einer Dekomposition in Teilprobleme zu zerlegen.
- **Hierarchie:** Für den jeweiligen Betrachtungsgegenstand gilt es festzulegen, auf welchem hierarchischen Level dieser zu planen ist. Hierbei kann zwischen der Planung des Nutzens des Leistungsbündels (high-level) oder der Ausgestaltung (basic-level) des Leistungsbündels zur Erbringung des Nutzens – unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der high-level-Betrachtung – unterschieden werden.
- **Aggregation:** Zur Vereinfachung der Planung ist es von Bedeutung, Betrachtungsgegenstände zu aggregieren, um sich nicht in Einzelheiten zu verlieren.
- **Zyklische Planung:** Während die Festlegung für kurzfristige Planungshorizonte frühzeitig erfolgt, kann zum Umgang mit der Unsicherheit die längerfristige Planung zunächst einen vorläufigen Charakter aufweisen. Die Festlegung der späteren Zeithorizonte erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

Die Prinzipien der **Aggregation** und der **zyklischen Planung** sind insofern von Bedeutung, dass bei Leistungsbündeln ein hoher Stellenwert auf einer ganzheitlichen Lebenszyklusbetrachtung liegt, dieser aber in seiner Gesamtheit nicht auf einem zu hohen Detaillierungsgrad antizipiert werden kann.

Die dargestellten methodisch-systematischen Herangehensweisen zur Entwicklung und Planung von Leistungsbündeln zeigen wesentliche Dimensionen zur Planung integrierter Sach- und Dienstleistungskombinationen auf. Es gibt noch zahlreiche weitere Ansätze im Umfeld der Planung von Leistungsbündeln, welche in den entsprechenden Forschungsgemeinschaften

(z. B. CIRP IPS²) diskutiert werden, wobei die Schwerpunktsetzung dieser Arbeiten nicht mit denen der vorliegenden Arbeit übereinstimmt und diese deshalb nicht näher erläutert werden. Als Beispiele seien an dieser Stelle die Fokussierung wirtschaftlicher Aspekte in der Leistungsbündelplanung (z. B. Antizipation von Gewinnverläufen nach DE COSTER 2011) sowie die Planung alternativer Geschäftsmodelle (z. B. SADEK & STEVEN 2010) angesprochen. Der Überblick über relevante Arbeiten im Bereich der Erforschung von Leistungsbündeln hat somit gezeigt, wie wichtig eine **frühzeitige Abstimmung von Sach- und Dienstleistungsanteilen** ist, um einen erhöhten Kundennutzen zu generieren und gleichzeitig Wertschöpfungspotenziale für Unternehmen zu erschließen. Hierbei gilt es unter Berücksichtigung der **unternehmensinternen und -externen Rahmenbedingungen**, bereits in der Planungsphase eine Abstimmung von möglichen Dienstleistungs- und Sachleistungsbestandteilen zur Erstellung abgestimmter Entwicklungsvorschläge durchzuführen. Zudem hat sich gezeigt, dass eine **konsequente Ausrichtung der Planung am gesamten Lebenszyklus** erfolgen muss. Vor diesem Hintergrund befasst sich das folgende Kapitel mit Ansätzen zum Verständnis des Lebenszyklus, wobei neben sach- und dienstleistungsbezogenen Lebenszyklusmodellen auch existierende Arbeiten zu integrierten, leistungsbündelbezogenen Modellen angeführt werden.

2.4 Lebenszyklusorientierung

Der Begriff **Lebenszyklus** wird im Kontext produzierender Unternehmen aus unterschiedlichen Perspektiven und bezüglich verschiedenster Betrachtungsgegenstände und Schwerpunktsetzungen diskutiert. Vor diesem Hintergrund geht Kapitel 2.4.1 zunächst auf die Bedeutung der Lebenszyklusorientierung in der vorliegenden Arbeit durch Abgrenzung von weiteren möglichen Schwerpunktsetzungen der lebenszyklusorientierten Forschung ein. Im Anschluss zeigt Kapitel 2.4.2 die – insbesondere für Kapitel 3 relevanten – Grundlagen zur modellbasierten Repräsentation des phasenorientierten Lebenszyklus von Leistungsbündeln auf.

2.4.1 Perspektiven der Lebenszyklusorientierung

Die lebenszyklusorientierte Betrachtung von Produkten und einhergehenden Dienstleistungen kann aus verschiedensten Perspektiven erfolgen. Demnach unterscheiden PAHL et al. 2007 (S. 97) folgende Arten des Lebenszyklus, welche sich allesamt auf die zeitliche Entwicklung des Betrachtungsgegenstands beziehen:

- betriebswirtschaftlicher Lebenszyklus,
- technologischer Lebenszyklus,
- intrinsischer Produktlebenszyklus.

Der **betriebswirtschaftliche Lebenszyklus** adressiert die Umsatz- und Gewinn-/Kostenkurven eines Produkts über die verschiedenen Phasen der Produktplanung, der Produktentwicklung, der Vorbereitung der Produkteinführung über die Einführungsphase, Wachstums- und Reifephase, Sättigungsphase bis hin zur Verfallphase (PAHL et al. 2007, S. 98). Nach BEA & HAAS 2009 (S. 137) lassen sich diese Phasen übergeordneten Zyklen – nämlich dem Entstehungszyklus, dem Marktzyklus sowie dem Auslaufzyklus – zuordnen. Während der Verfallphase wird zumeist eine Modifikation des bestehenden Produkts bzw. ein Nachfolgepro-

dukt angeboten, so dass das Unternehmen weiterhin wirtschaften kann. Der betriebswirtschaftliche Produktlebenszyklus findet schon seit Jahrzehnten Berücksichtigung in der Produktplanung (siehe z. B. MARTUS 1973, BISCHOF 1976). Durch Reflexion der tatsächlichen Umsatz- und Gewinnzahlen lassen sich zum einen Rückschlüsse ziehen, wann das neue Produkt auf den Markt gebracht werden soll. Zum anderen lassen sich auf Basis der Produktlebenszyklen bereits auf dem Markt befindlicher Produkte gegebenenfalls Schlussfolgerungen ableiten, wie lange ein Produkt in der gegebenen Branche unter den gegebenen Rahmenbedingungen unter Wirtschaftlichkeitsaspekten sinnvollerweise am Markt bleiben sollte. Werden neben Sachleistungen auch Dienstleistungen angeboten, so zeigt POTTS 1988, dass diese Dienstleistungen oftmals einen anderen Verlauf des Lebenszyklus aufweisen und sich die Verläufe gegebenenfalls sinnvoll ergänzen. BLINN et al. 2010 gehen explizit auf betriebswirtschaftliche Lebenszyklusmodelle von Leistungsbündeln ein und fokussieren u. a. die Antizipation von Umsatz- und Gewinnverläufen des After-Sales-Geschäfts. Die Betrachtung des betriebswirtschaftlichen Lebenszyklus spielt in der vorliegenden Arbeit eine untergeordnete Rolle. Dennoch können im Rahmen dieser Arbeit auch dahingehende Aspekte einbezogen werden, wenn es um die Abschätzung der jeweils relevanten Planungshorizonte sowie die Planung gegebenenfalls einzusetzender Produkt-Facelifts (SAUNDERS & JOBBER 1994) bzw. Updates/Upgrades zur wirtschaftlichen Verlängerung des Lebenszyklus geht.

Der **technologische Produktlebenszyklus** setzt sich mit dem zeitlichen Verlauf technologischer Weiterentwicklungen innerhalb einer Produktreihe auseinander. Hierbei wird betrachtet, ab wann bestimmte Technologien die nötige Leistungsfähigkeit erreicht haben, um im Rahmen neuer Produktgenerationen bzw. Facelifts eingesetzt zu werden (PAHL et al. 2007, S. 98). Hierbei finden oftmals Standardverläufe – wie z. B. die Technologie-S-Kurve (BEA & HAAS 2009, S. 581) – zur Darstellung der Leistungsfähigkeit von Technologien Berücksichtigung (siehe auch Kapitel 2.2.3). Diese können die Einschätzung, wie lange eine Technologie noch sinnvollerweise optimiert werden sollte bzw. ab wann diese durch eine Nachfolgtechnologie substituiert werden sollte, unterstützen.

Nach PAHL et al. 2007 (S. 99) stellt der **intrinsische Produktlebenszyklus** (in weiteren Quellen oftmals auch als Produktlebenslauf bezeichnet) die Abfolge von Situationen und Phasen dar, welche ein Produkt von der Entwicklung über die Fertigung bis hin zum Vertrieb und zur Nutzung sowie zur Entsorgung bzw. zum Recycling durchläuft. Diese spezifische Phasendarstellung erlaubt einen Überblick, welchen Rahmenbedingungen ein Leistungsbündel ausgesetzt ist und welche Wertschöpfungspotenziale für ein Unternehmen mit der Erbringung eines Leistungsbündels verbunden sind. Somit trägt der intrinsische Lebenszyklus zu einem **umfassenden Verständnis der Potenzial- und Bedarfsfelder entlang des Lebenszyklus zukünftig zu erbringender Leistungsbündel** bei, weshalb primär der intrinsische Lebenszyklus im Rahmen der Arbeit betrachtet wird. Aufgrund dieser Fokussierung wird in den folgenden Ausführungen der intrinsische Lebenszyklus vereinfacht als Lebenszyklus bezeichnet. Der intrinsische Produktlebenszyklus hat in der Vergangenheit Einzug in verschiedenste praxisrelevante Forschungsgebiete gehalten. Folgend wird ein kurzer Überblick über etablierte, methodisch-systematische Ansätze im Bereich der Auseinandersetzung mit dem intrinsischen Lebenszyklus gegeben und die Bedeutung der jeweiligen Ansätze für die vorliegende Arbeit reflektiert.

Ein wichtiges Forschungsfeld stellt der Themenkomplex des **Product Lifecycle Managements** (PLM) dar. STARK 2011 (S. 10) fasst den Betrachtungsbereich des PLM sehr weit und berücksichtigt verschiedenste Dimensionen zur Erarbeitung umfassender PLM-Lösungen. Demnach stellt PLM eine ganzheitliche Herangehensweise zur Koordination von Produkten, Prozessen, Infrastruktur, Menschen, Organisationsstrukturen, Methoden, Werkzeugen, Daten, Metriken sowie Anwendungen der Informationstechnik (IT) entlang des Lebenszyklus dar. ARNOLD et al. 2011 (S. 10) nehmen dagegen eine IT-orientierte Sichtweise ein und definieren PLM wie folgt: „*Das Product Lifecycle Management ist ein integrierendes Konzept zur IT-gestützten Organisation und Verwaltung aller Informationen über Produkte und deren Entstehungsprozesse über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg, sodass die richtige Information zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Form an der richtigen Stelle zur Verfügung steht.*“ In diesem Kontext sehen EIGNER & STELZER 2009 (S. 37) PLM als Erweiterung des Produktdatenmanagements (PDM) und sprechen die erweiterte Integrationstiefe von PLM-Lösungen entlang des gesamten Lebenszyklus an. Während klassische PLM-Ansätze speziell den Umgang mit Sachleistungen fokussieren, sind im Bereich der Erforschung integrierter Sach- und Dienstleistungskombinationen bereits erste Ergebnisse zum PLM von Leistungsbündeln zu finden (z. B. ABRAMOVICI & SCHULTE 2005, ABRAMOVICI et al. 2012, AURICH et al. 2007). Die vorliegende Arbeit grenzt sich von bestehenden PLM-Ansätzen ab, da weniger die IT-orientierte Unterstützung beim Durchlauf des Lebenszyklus als vielmehr die Antizipation planungsrelevanter Informationen bezüglich zukünftig zu durchlaufender Lebenszyklen im Vordergrund steht. Dennoch erlauben bestehende PLM-Ansätze zum Teil die vertiefte Betrachtung der Lebenszyklusphasen, weshalb entsprechende Ansätze im folgenden Kapitel aufgegriffen werden.

Ein weiterer Bereich, der sich mit dem intrinsischen Produktlebenszyklus beschäftigt, geht auf die Errechnung von **Lebenszykluskosten** ein (EHRENSPIEL et al. 2007, S. 128). In den Lebenszykluskosten findet der Gedanke Eingang, dass sich neben dem eigentlichen Anschaffungspreis weitere Kosten für den Kunden – beispielsweise durch den Betrieb sowie die Instandhaltung des Produkts – entlang des gesamten Lebenszyklus ergeben. Auch aus Unternehmenssicht ist die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung entlang des Lebenszyklus von Interesse, um die Profitabilität von Produkten unter Berücksichtigung verschiedener Kosten und Erlöse ganzheitlich zu hinterfragen. Vor diesem Hintergrund setzt sich STRATMANN 2000 mit der Bereitstellung von Informationen im Kontext eines lebenszyklusorientierten Controllings auseinander. Im Rahmen der Änderung von Produkthanbietern zu Lösungsanbietern sind diese lebenszyklusphasenübergreifenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von besonderem Interesse, da aufgrund eines Betreibermodells das Risiko hoher Lebenslaufkosten nicht mehr beim Kunden, sondern beim Betreiber liegen kann. Vor diesem Hintergrund setzen sich MANNWEILER et al. 2010b mit der Bewertung und Auswahl von Leistungsbündelvarianten unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten auseinander. Neben der Kostenbetrachtung kann bezüglich des Lebenszyklus auch eine ökologieorientierte Perspektive auf den Produktlebenszyklus eingenommen werden, wie z. B. im Rahmen der **Ökobilanzierung** bzw. des Lifecycle Assessments (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009a, GUINÉE 2004). In diesem Kontext stehen die Umweltauswirkungen von Sach- oder Dienstleistungen entlang des gesamten Lebenszyklus im Mittelpunkt der Betrachtung. Nach der Richtlinie DIN EN 14040 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009a, S. 7) erfolgt bei der Ökobilanzierung neben der Erfassung der

Interaktionen (Energie, Abgas, etc.) des Produkts mit seiner Umwelt im Rahmen einer Sachbilanz auch eine Wirkungsabschätzung, welche der „*Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient*“. Einen Überblick über verschiedene weitere Ansätze zur Messung und Beurteilung von Umweltauswirkungen durch Produkte geben z. B. LANG-KOETZ et al. 2010 (S. 9). Zur Verminderung der Umweltauswirkungen und umweltgerechten Planung und Entwicklung von Produkten wird zudem häufig der Begriff des Lifecycle Engineerings aufgegriffen (STEINHILPER & DUNKEL 2005, S. 455). Eine in den vergangenen Jahren häufig angegangene Schwerpunktsetzung im Rahmen der Ökobilanzierung ist die Auseinandersetzung mit dem **Carbon Footprint**, welcher die gesamte Emission von CO₂ sowie weiterer Treibhausgase entlang der Erstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten umfasst (EUROPEAN COMMISSION 2007, S. 1).

Sowohl die kosten- als auch die ökologieorientierten Betrachtungen stellen in der vorliegenden Arbeit keine Handlungsschwerpunkte dar. Der Fokus der genannten Themenfelder liegt auf dem Umgang mit spezifischen produktseitigen Auswirkungen entlang des Lebenszyklus. In der vorliegenden Arbeit werden dagegen das grundsätzliche Verständnis des Leistungsbündellebenszyklus und seiner Phasen sowie im Rahmen der Planung zu berücksichtigender Abhängigkeiten zwischen den antizipierten Bedarfen und Potenzialen entlang der einzelnen Lebenszyklusphasen adressiert. Dennoch können solche Aspekte im Bereich der Akquisition von Bedarfen und Potenzialen zur Planung zukünftig zu erbringender Leistungsbündel sowie im Bereich der Bewertung alternativer Leistungsbündelkonzepte Berücksichtigung finden.

Als Fazit dieses Kapitels bleibt festzuhalten, dass in der vorliegenden Arbeit der Fokus auf der Erarbeitung eines detaillierten Verständnisses des leistungsbündelorientierten, intrinsischen Lebenszyklus und seiner Phasen zur Unterstützung der Produktplanung liegt. Vor diesem Hintergrund zeigt Kapitel 2.4.2 grundlegende Lebenszyklusmodelle auf Sach- und Dienstleistungsseite sowie erste Erkenntnisse zu integrierten Leistungsbündellebenszyklen.

2.4.2 Intrinsische Lebenszyklusmodelle

Ganzheitliche, alle Phasen des intrinsischen **Produktlebenszyklus** berücksichtigende **Modelle** sind insbesondere in den Forschungsbereichen der integrierten, systematisch-methodischen Produktentwicklung sowie des Product Lifecycle Managements zu finden. Diese geben zu meist einen Überblick über die Lebensphasen von der Planung über die Entwicklung, Produktion, Nutzung bis hin zur Entsorgung bzw. zum Recycling. Da diese Modelle oftmals darauf abzielen, einen groben Überblick über den Lebenszyklus zu erhalten, ist der **Detaillierungsgrad sehr gering**, dafür sind entsprechende Modelle generisch auf verschiedenste Branchen und Produkte anwendbar. Ein Beispiel stellt das Lebenszyklusmodell nach der VDI-Richtlinie 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993, S. 8 – siehe Bild 2-18) dar. Einige im Bereich der **methodisch-systematischen Produktentwicklung** existierenden Lebenszyklusmodelle sprechen dagegen spezifische Aspekte an. So nimmt EHRENSPIEL 2009 (S. 50) im Vergleich zu dem sehr sachleistungsorientierten Lebenszyklusmodell nach der VDI-Richtlinie 2221 eine systemische Perspektive ein und stellt in abstrahierter Weise den Systemlebenszyklus dar. ULLMAN 2003 (S. 12) sowie NIEMANN et al. 2009 (S. 5) gehen dagegen beispielsweise in ihren Modellen des Produktlebenszyklus speziell auf die Berücksichtigung unterschiedlicher

Nutzungsphasen ein. BISCHOF 1976 (S. 42) wiederum adressiert zeitliche Dimensionen der einzelnen Phasen im Lebenszyklus, beschränkt sich in seinen Ausführungen jedoch auf repräsentative Aussagen in der Erbringung von Werkzeugmaschinen.

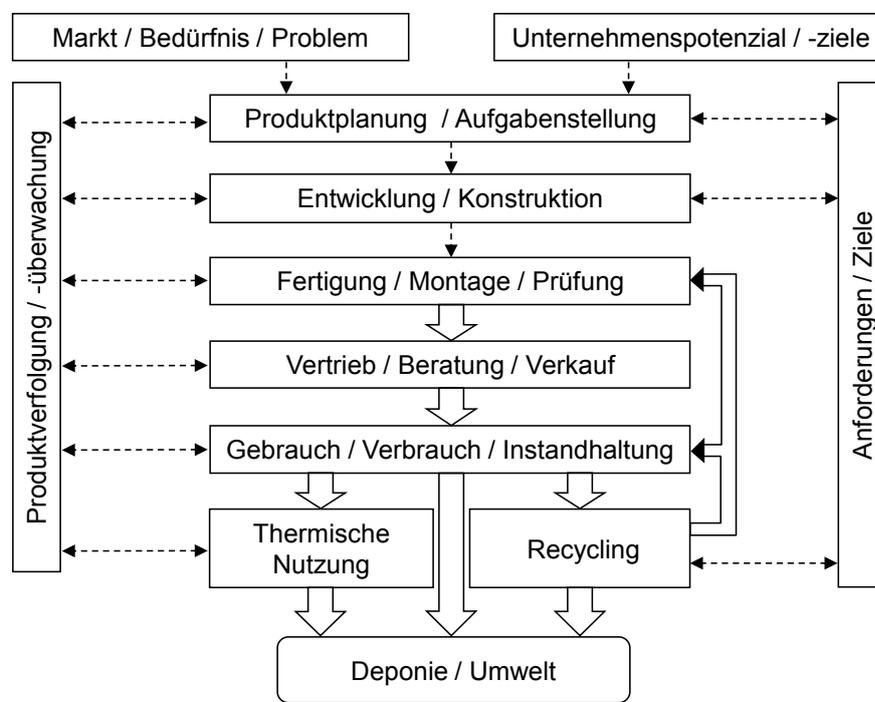


Bild 2-18: Lebenszyklus nach der VDI-Richtlinie 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993, S. 8)

Im Themenbereich **Product Lifecycle Management** unterteilen SAAKSUORI & IMMONEN 2008 den Lebenszyklus in die parallel laufenden Prozesse „Produktprozess“ sowie „Auftrag-Liefer-Prozess“. Der Produktprozess beinhaltet die Phasen der Entwicklung sowie die unternehmensseitigen Prozesse zur Produktvermarktung und -instandhaltung. Der kundenorientierte Auftrag-Liefer-Prozess umfasst die Phasen Vertrieb/Verkauf, Einkauf/Beschaffung, Produktion, Lieferung sowie Service/Instandhaltung. ARNOLD et al. 2011 gehen ebenfalls detailliert auf die unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus ein, wobei Sie neben dem Durchlauf von der Produktplanung/Projektierung bis hin zum Recycling auch die Phasen des „Enterprise-Resource-Planning“ berücksichtigen (siehe Bild 2-19).

Die in der Literatur existierenden Lebenszyklusmodelle geben somit einen ersten groben Überblick, erlauben jedoch keinen erweiterten Einblick in viele der Phasen. Beispielsweise sind die Phasen der Entwicklung, der Instandhaltung sowie des Recyclings nur sehr schematisch dargestellt. Um einen tieferen Einblick in die Phasen zu erlangen, bleibt meist nur der Weg sich mit weiterführender Literatur zu den **einzelnen Phasen** auseinanderzusetzen.

So wird die **Phase der Entwicklung** durch Vorgehensmodelle wie in der VDI-Richtlinie 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993, S. 9) bzw. wie nach PONN & LINDEMANN 2011 (S. 28) zur systematischen Produktkonkretisierung detailliert. Die Phasen der **Produktion** lassen sich dagegen durch die berücksichtigten Produktionsschritte des Drei-Zyklen-Modells nach GAUSEMEIER et al. 2006a (S. 31) bzw. durch Ausführungen zur digitalen Fabrik im

Rahmen der VDI-Richtlinie 4499 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2008) aufgliedern. **Nutzungsspezifische Detaillierungen** lassen sich durch Ansätze im Bereich des Upgradings (z. B. MÖRTL 2002) bzw. hinsichtlich der **Instandhaltung und Modernisierung** (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2003b) erreichen. Und alternative Möglichkeiten und Phasen des **Recyclings bzw. der Entsorgung** lassen sich durch entsprechende Literatur, wie z. B. anhand der VDI-Richtlinie 2243 zur recyclingorientierten Produktentwicklung (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2002), verfeinern.

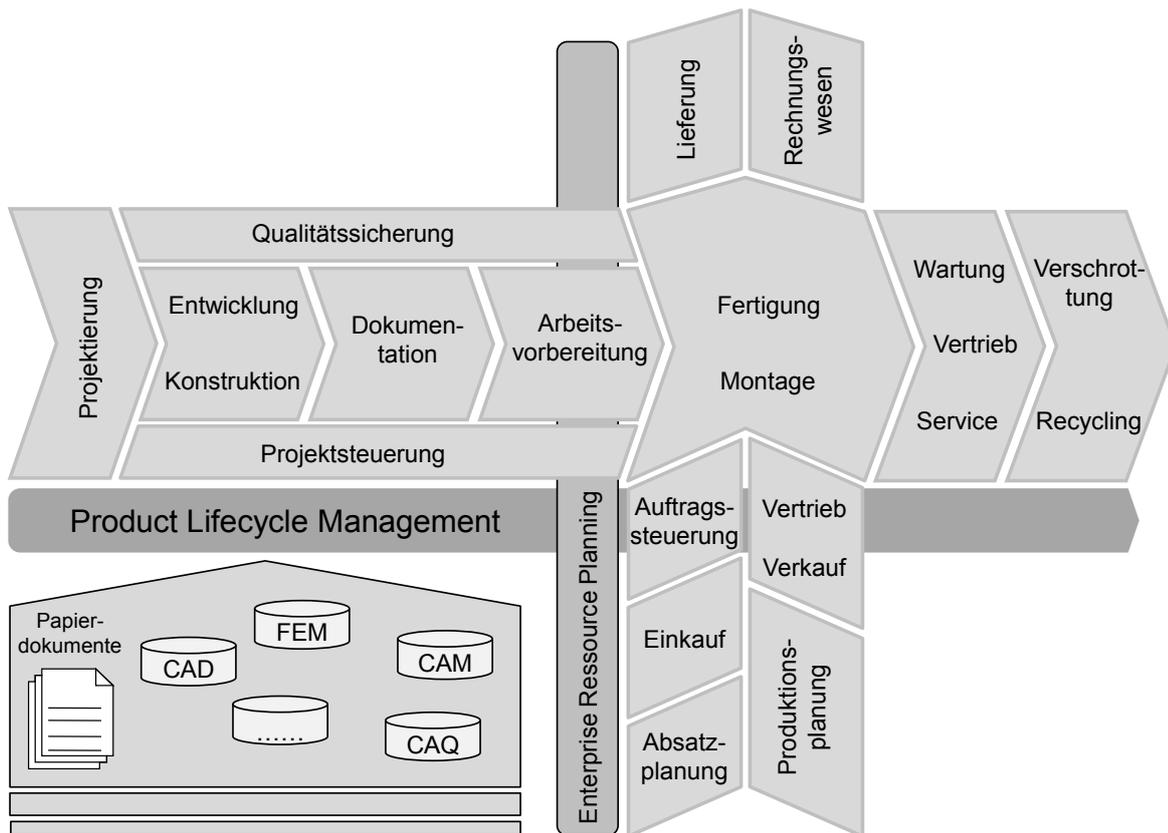


Bild 2-19: Lebenszyklusverständnis nach ARNOLD et al. 2011 (S. 10)

Auch wenn SAAKSUORI & IMMONEN 2008 unter dem Begriff Produkt sowohl Sach- als auch Dienstleistungen und Software zusammenfassen, sind die bislang gezeigten Lebenszyklusmodelle überwiegend sachleistungsorientiert. Daher gehen die folgenden Arbeiten zunächst auf die **Dienstleistungsdomäne** ein. RAMASWAMY 1996 (S. 27) erlaubt in seinem Modell einen zyklischen Überblick über acht Phasen, welche eine Dienstleistung durchläuft. Hierbei unterscheidet er zwischen den übergeordneten Bereichen der Dienstleistungsentwicklung sowie des -managements (siehe Bild 2-20). Ähnlich wie in diesem Modell adressieren CERNAVIN et al. 2007 die miteinander zusammenhängenden Bereiche der Entwicklung sowie der Umsetzung. Hierbei fügen CERNAVIN et al. 2007 (S. 20) eine zusätzliche Phase zwischen diesen beiden Bereichen ein, welche die Umsetzungsplanung der Dienstleistung beschreibt. In diesem Rahmen gilt es, Hilfsmittel zur Erbringung der Dienstleistung vorzubereiten und das dienstleistungserbringende Personal zu schulen.

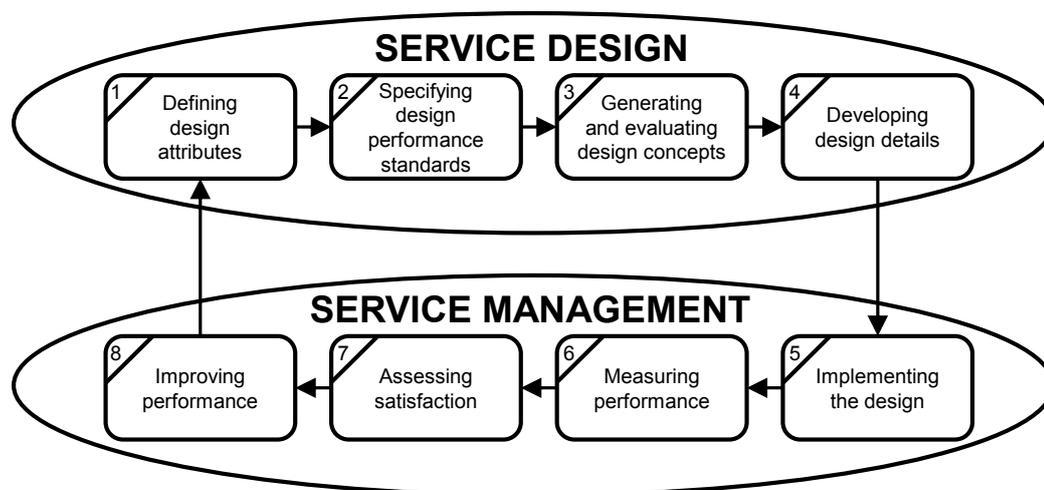


Bild 2-20: Dienstleistungslebenszyklus nach RAMASWAMY 1996 (S. 27)

Eine weitere vereinfachte Repräsentation des **Dienstleistungslebenszyklus** stellt das im DIN Fachbericht 75 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1998, S. 34) dargestellte lineare Phasenmodell dar. Dieses umfasst neben der Ideengenerierung und -bewertung die Anforderungsakquisition, die Entwicklung (bzw. auch Design genannt), die Implementierung und Einführung, die Erbringung, Evaluierung sowie die Ablösung der Dienstleistung. Das Modell des Phasendurchlaufs von Dienstleistungen ist bei KRALLMANN & HOFFRICHTER 1998 (S. 239) anhand sechs übergeordneter Schritte noch vereinfachter dargestellt. Diese werden jedoch anhand spezifischer Einzelmodelle zu den jeweils übergeordneten Schritten detailliert. Daher erlauben die Arbeiten von KRALLMANN & HOFFRICHTER 1998 – wenn auch unter Berücksichtigung verschiedener Modelle – einen vertieften Einblick in den Dienstleistungslebenszyklus.

BULLINGER & SCHREINER 2006 diskutieren in dem literaturbasiert erstellten sechsstufigen Rahmenkonzept zum **idealtypischen Vorgehen der Dienstleistungsentwicklung** sämtliche Phasen von der Ideengenerierung bis hin zur Implementierung, verzichten aber auf weitere erbringungsbegleitende Phasen sowie die Auflösung von Dienstleistungen. Auch die PAS 1082 „Standardisierter Prozess zur Entwicklung industrieller Dienstleistungen in Netzwerken“ (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2008) geht nur auf die Schritte bis zur Markteinführung ein, detailliert dafür durch Checklisten der Tätigkeiten in den einzelnen Phasen diesen Bereich des Lebenszyklus wesentlich genauer.

MEIREN & BARTH 2002 (S. 20) verzichten auch auf die spezifische Darstellung der späteren Lebenszyklusphasen. Dennoch werden durch die Berücksichtigung zentraler Bestandteile der fünf übergeordneten Phasen (siehe Bild 2-21) interessante Aspekte des Dienstleistungslebenszyklus aufgezeigt. So werden ähnlich zu den sachleistungsbezogenen Lebenszyklusphasen **Unternehmens- von Marktanforderungen** unterschieden. Zudem werden durch die Berücksichtigung einer Produkt-, Prozess- und Ressourcenebene sowie des Marketingkonzepts verschiedene Perspektiven auf den Lebenszyklus einer Dienstleistung aufgezeigt.

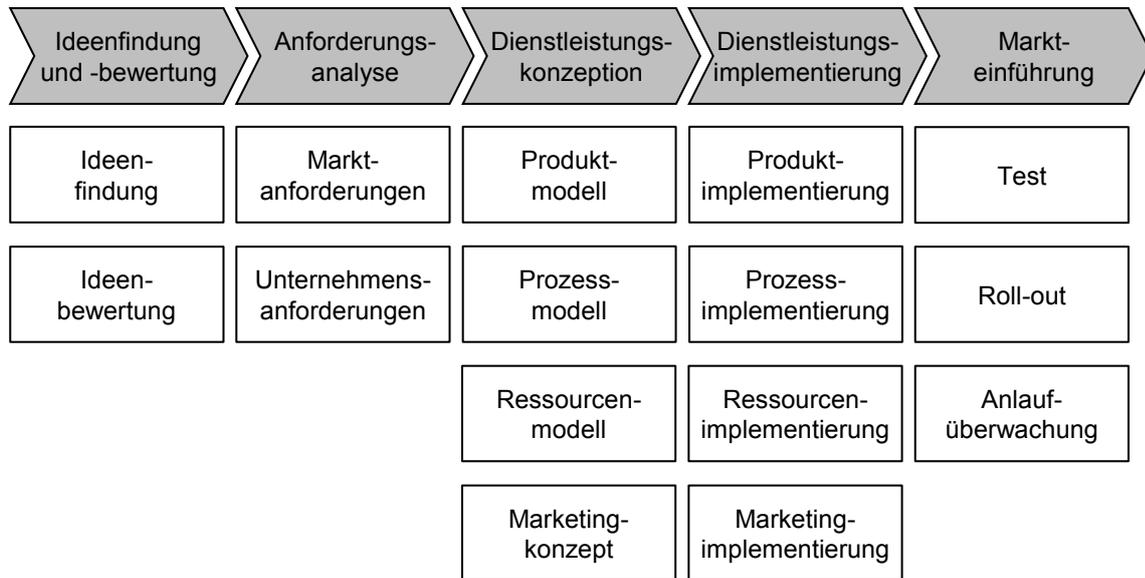


Bild 2-21: Modell des Entwicklungsprozesses von Dienstleistungen nach MEIREN & BARTH 2002 (S. 20)

Als letztes Beispiel zu Modellen des Dienstleistungslebenszyklus sei an dieser Stelle auf das vergleichsweise detaillierte Überblicksmodell des Dienstleistungslebenszyklus nach SCHNEIDER & SCHEER 2003 (S. 21) eingegangen. Dieses wird als **Customer Related Service Life-Cycle (CurLy)** bezeichnet. Die vier übergeordneten Schritte der Start-Up-Phase, Konzeptionsphase, Implementierungsphase sowie Monitoringphase werden in ähnliche Betrachtungsgegenstände und einhergehende Tätigkeiten wie bei MEIREN & BARTH 2002 unterteilt. Zusätzlich heben sie hervor, an welcher Stelle der Kunde potenziell in den Lebenszyklus eingebunden werden kann.

Um die **Integration von Sach- und Dienstleistungsphasen** aufzuzeigen, werden im Folgenden noch einige Lebenszyklusmodelle von Leistungsbündeln dargelegt. Zur Demonstration des zeitlichen Zusammenwirkens von Sach- und Dienstleistungslebenszyklus stellen AURICH et al. 2004 auf abstrakter Ebene unterschiedliche parallel laufende Muster von Lebenszyklen dar (siehe Bild 2-22). Neben der produktbezogenen wird auch eine unternehmens- sowie kundenorientierte Perspektive eingenommen, wobei diese nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind.

MONT 2000 (S. 78) geht in ihren Diskussionen zu Leistungsbündeln zwar lediglich auf 16 sequenziell aufeinander folgende sachleistungsorientierte Phasen ein, diskutiert diese jedoch in Hinblick auf eine Kopplung zu Dienstleistungen. Somit diskutiert sie weniger einen integrierten Leistungsbündellebenszyklus an sich, sondern trägt viel mehr zur **Identifikation geeigneter Dienstleistungen entlang des Lebenszyklus** bei. Auch HARTEL 2004 adressiert den Aspekt unterschiedlicher Dienstleistungen entlang des Lebenszyklus und unterscheidet dabei zwischen Vorkaufphase (Pre-Sales), Kaufphase (Sales) und Nachkauf- bzw. Nutzungsphase (After-Sales). SUNDIN 2009a (S. 38) nähert sich der integrierten Lebenszyklusbetrachtung ebenfalls primär von der Sachleistungsperspektive aus. Hierbei diskutiert er, welche Aufga-

ben in den einzelnen Phasen bezüglich einer integrierten Erstellung und Erbringung von Dienstleistungen zu berücksichtigen sind.

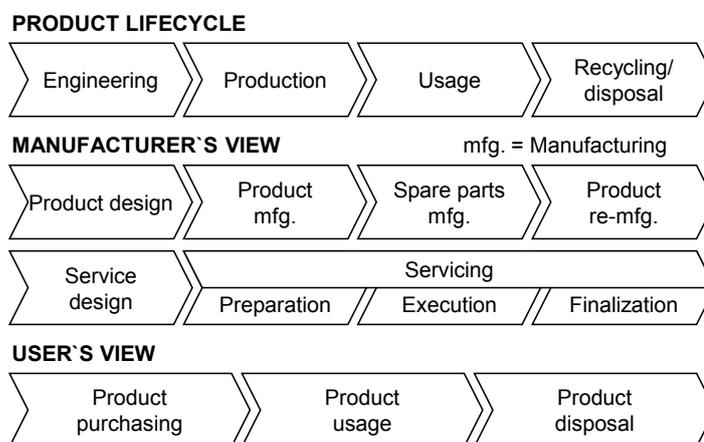


Bild 2-22: Parallelität von Sach- und Dienstleistungslebenszyklus (AURICH et al. 2004, S. 151)

MEIER & UHLMANN 2012 (S. 8) stellen im Kontext des Forschungsprojekts SFB/TR 29 einen integrierten **Leistungsbündellebenszyklus** dar. Ein mittig angeordneter Durchlauf beschreibt die Phasen der Planung, der Entwicklung, der Implementierung, des Betriebs sowie der Auflösung des Leistungsbündels (siehe Bild 2-23). Trotz der Integration von Sach- und Dienstleistungsanteilen sieht dieses Lebenszyklusmodell nach wie vor disziplinspezifische Lebensphasen vor, welche in Verbindung mit dem zentral dargestellten Lebenszyklus des Leistungsbündels stehen. Hinsichtlich disziplinspezifischer Phasen lehnen sich MEIER & UHLMANN 2012 (S. 8) an existierende Modelle an.

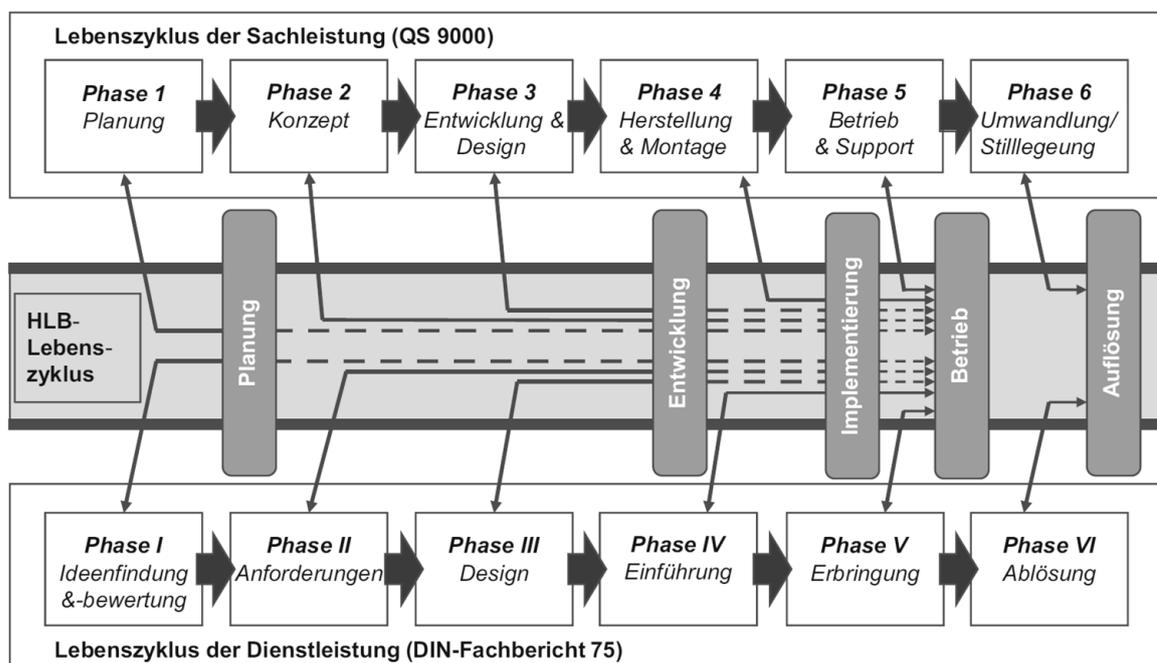


Bild 2-23: Leistungsbündel-Lebenszyklus (MEIER & UHLMANN 2012, S. 8)

Zusammenfassend ist zu beobachten, dass es sowohl hinsichtlich der Sachleistungs- als auch der Dienstleistungsperspektive zahlreiche verschiedene Ansätze zur Modellierung des Lebenszyklus gibt. Dennoch erlauben die gezeigten Modelle meist nur einen **sehr groben Überblick**. Um ein tieferes Verständnis aufzubauen, bedarf es daher einer weiteren Beschäftigung mit Modellen der einzelnen Lebenszyklusphasen. Diese Beobachtung einer stark abstrahierten Lebenszyklusbetrachtung trifft auch auf den Bereich der integrierten Sach- und Dienstleistungskombinationen zu. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Nutzung der jeweils **disziplinspezifischen Lebensphasen** zur Detaillierung des Leistungsbündels als probates Mittel herangezogen werden kann. Als Fazit bleibt festzuhalten, dass im Sinne einer lebenszyklusübergreifenden Planung von Leistungsbündeln sowohl der Bedarf nach einer weiteren Detaillierung und Konsolidierung der disziplinspezifischen, als auch der leistungsbündelbezogenen Lebenszyklusmodelle besteht.

2.5 System- und Abhängigkeitsmodellierung

Die bisher dargestellten Grundlagen der vorliegenden Arbeit haben die Relevanz sowie methodisch-systematische Ansätze der frühzeitigen, den gesamten Lebenszyklus berücksichtigenden Planung integrierter Sach- und Dienstleistungskombinationen herausgestellt. In diesem Kontext sei nochmals auf die Bedeutung der **Gegenüberstellung und Analyse planungsrelevanter Informationen** (d. h. der Potenziale und Bedarfe) und daraus resultierender **Systemzusammenhänge** verwiesen. Hierbei gilt es die im Rahmen der Planung relevanten Informationen so aufzubereiten, dass der Schritt der Analyse sowie entsprechende Interpretationen der analysierten Informationen ermöglicht werden. Dafür sind **Modelle** zu entwickeln, welche zum einen planungsrelevante Informationen repräsentieren und andererseits für die Analyse von **Abhängigkeiten und Zusammenhängen der Informationen** geeignet sind. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit stellt ein Modell in Anlehnung an LINDEMANN 2009 (S. 333) ein „*gegenüber einem Original zweckorientiert vereinfachtes, gedankliches oder stoffliches Gebilde, das Analogien zu diesem Original aufweist und so bestimmte Rückschlüsse auf das Original zulässt*“ dar. Vor diesem Hintergrund geht Kapitel 2.5.1 zunächst auf Möglichkeiten zur strukturierten Aufbereitung planungsrelevanter Informationen ein. Kapitel 2.5.2 adressiert darauf aufbauend Möglichkeiten der Modellierung von Systemzusammenhängen, welche die Analyse komplexer Strukturen zulassen.

2.5.1 Strukturierte Aufbereitung planungsrelevanter Informationen

Wie in Kapitel 2.2.2 dargelegt, ist es Aufgabe der Produktplanung, bereits erste Produktkonzepte zu erarbeiten (BERGER & VIENENKÖTTER 2004). Dabei ist es von Bedeutung, sich mit unterschiedlichen **Konkretisierungsstufen** der planungsrelevanten Informationen auseinanderzusetzen. LENDERS 2009 (S. 130) geht in seinem prozessorientierten Ansatz zum Lösungsraum-Management auf die Bedeutung des Umgangs mit verschiedenen Konkretisierungsstufen ein und stellt diese auch in den Kontext der Kenntnis über bestehende Restriktionen und Freiheitsgrade hinsichtlich des zu entwickelnden Produkts.

So gibt es einerseits Rahmenbedingungen, welche nur sehr abstrakt formuliert werden (z. B. gesellschaftliche Trends hin zu verstärktem Umweltbewusstsein), während andererseits ge-

wisse Rahmenbedingungen auch für zukünftige Produkte schon sehr konkret gefasst werden können (z. B. vorgegebene Materialeigenschaften des Produkts seitens der Produktion). Weiterhin gibt es auf Seiten möglicher Lösungsideen und -ansätze des zu planenden Produkts bzw. der Dienstleistung schon sehr genaue Informationen über die Ausgestaltung der Lösung, auf der anderen Seite können Lösungen auch nur auf funktionaler Ebene festgelegt sein. Zur Darlegung des Verständnisses unterschiedlicher Konkretisierungsstufen werden zunächst einige Ansätze aus dem Bereich der systematisch-methodischen Produktentwicklung dargelegt.

Die VDI-Richtlinie 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993, S. 9) geht im Rahmen des Vorgehensmodells zum Entwickeln und Konstruieren auf unterschiedliche **Arbeitsergebnisse** ein, welche entlang der einzelnen Schritte des Vorgehensmodells entstehen. So werden basierend auf einer erarbeiteten Anforderungsliste funktionale Strukturen, prinzipielle Lösungen, modulare Strukturen, Vorentwürfe, ein Gesamtentwurf bis hin zur Produktdokumentation erstellt. EHRENSPIEL 2009 (S. 37) geht in der von ihm vorgeschlagenen hierarchischen Modellierung technischer Systeme ebenfalls auf verschiedene Konkretisierungsstufen ein. Hierbei unterscheidet er zwischen Anforderungen sowie **funktionellen, prinzipiellen physikalischen, gestalterischen/stofflichen** sowie **fertigungs-/montagetechnischen** Lösungsmöglichkeiten. PONN & LINDEMANN 2011 (S. 28) greifen ähnliche Dimensionen auf, unterscheiden jedoch zwischen dem Anforderungs- und dem Lösungsraum. Zur Unterscheidung der Konkretisierung der Lösungsalternativen im Lösungsraum wird zwischen der **Funktions-**, der **Wirk-** sowie der **Baubene** unterschieden. Die im **Anforderungsraum** zusammengetragenen Anforderungen können sich dabei selbst auf unterschiedlichsten Konkretisierungsstufen befinden. In diesem Rahmen setzt sich HUMPERT 1995 mit der formalisierten Beschreibung und Konkretisierung von Anforderungen im Entwicklungsprozess sowie deren Kopplung zu weiteren formalisiert beschriebenen Partialmodellen auf Lösungsseite intensiv auseinander.

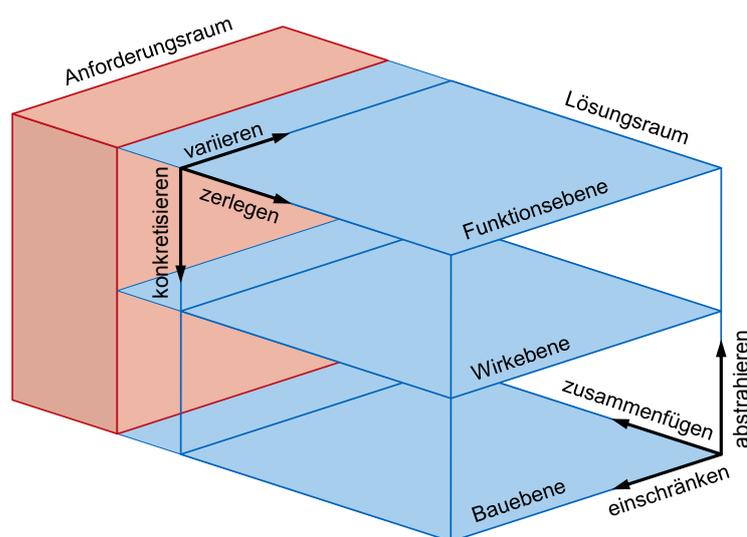


Bild 2-24: Münchener Produktkonkretisierungsmodell – MKM nach PONN & LINDEMANN 2011 (S. 33)

CHAHADI & BIRKHOFFER 2008 haben im Kontext unterschiedlicher zu berücksichtigender Anforderungen ein **Begriffssystem** eingeführt, um Zusammenhänge zwischen Anforderungen zu

modellieren. Hierbei unterstützt die Berücksichtigung von Hierarchie-, Eigenschafts-, Äquivalenz- sowie Beeinflussungsbeziehungen zum Teil ebenfalls den Aspekt unterschiedlicher Konkretisierungsstufen insbesondere im Bereich der Anforderungsklä rung.

Auch in anderen Disziplinen werden Ansätze diskutiert, welche sich mit verschiedenen Konkretisierungsstufen der Produktrepräsentation auseinandersetzen und deren Zusammenhänge aufzeigen. So gehen HERRMANN & HUBER 2009 im Bereich des Marketings auf **Means-End-Ketten** ein, welche gewissermaßen verschiedene Konkretisierungsstufen von Anforderungen des Kunden an ein neues Produkt darstellen. Hierbei steht das Verständnis zwischen spezifischen physikalisch-chemisch-technischen Produkteigenschaften (Means) und deren Beitrag zu einer gewissen Werthaltung bzw. gewünschtem Zustand eines Kunden (End) im Vordergrund. Bild 2-25 zeigt schematisch, welche Konkretisierungsstufen im Rahmen einer Means-End-Kette Berücksichtigung finden. HERRMANN & HUBER 2009 (S. 180) gehen auf verschiedene Beispiele ein, eines davon beschäftigt sich mit der Means-End-Kette bezüglich der Motivation des Kaufs von Kartoffelchips und adressiert folgende Punkte:

- gewünschte konkrete Eigenschaft der Kartoffelchips → sehr gute Würzung;
- dient der abstrakten Eigenschaft der Kartoffelchips → gute Qualität;
- dient der funktionalen Nutzenkomponente → Gäste sind zufrieden;
- dient der sozialen bzw. psychischen Nutzenkomponente → Partystimmung steigt;
- ermöglicht instrumentale Werthaltung → guter Gastgeber;
- ermöglicht terminale Werthaltung → Freundschaft genießen.

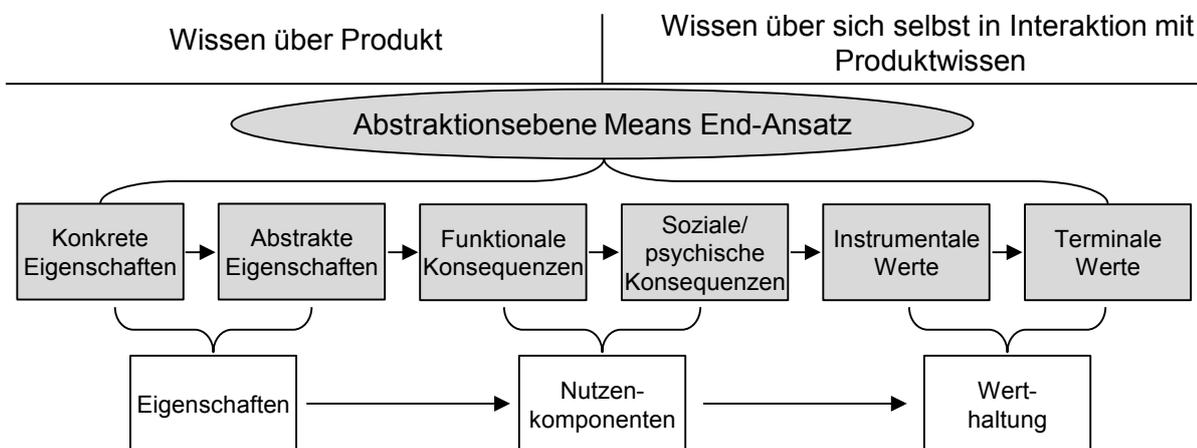


Bild 2-25: Schematische Darstellung der Means-End-Kette (HERRMANN & HUBER 2009, S. 181)

Bezüglich des Ansatzes der Means-End-Ketten bleibt festzuhalten, dass es im Rahmen der Planung von Bedeutung ist, unterschiedliche Konkretisierungsstufen der kundenseitigen Anforderungen und Rahmenbedingungen zu durchdringen. Dies kann im Endeffekt dazu beitragen, alternative Lösungen zur Befriedigung der Nutzenkomponenten aufzuspannen.

Weitere Ansätze zur Strukturierung produktbezogener und auch im Sinne der Planung relevanter Informationen unterscheiden – ähnlich wie im Münchener Konkretisierungsmodell

(siehe Bild 2-24) dargestellt – zwischen der Sammlung anforderungsbezogener und lösungsbezogener Informationen. So differenziert LINDEMANN 1980 in Anlehnung an die systemtechnischen Betrachtungen von ROPOHL 1975 (S. 75) insbesondere zwischen dem **Sach-, Handlungs- und Zielsystem**. Während nach LINDEMANN 1980 (S. 20) das Sachsystem (z. B. Maschinenbeschreibung) das zu gestaltende, d. h. festzulegende System darstellt, beschreibt das Handlungssystem (z. B. Konstruktion) das das Sachsystem festlegende System. Das Zielsystem (z. B. Anforderungsliste) wiederum beinhaltet die Ziele bzw. Leitlinien für das Handlungssystem. Diese abstrahierte Strukturierung von Informationen ist prinzipiell auch auf die Planung von Leistungsbündeln übertragbar. So legt die Planung (Handlungssystem) Beschreibungen von Leistungsbündelkonzepten fest (Sachsystem) unter Berücksichtigung der Ziele (Zielsystem), die durch das Leistungsbündel erfüllt werden sollen.

Wird das Handlungssystem in der Betrachtung zurückgestellt, so stellt sich die Strukturierung planungsrelevanter Informationen nach EILETZ 1999 ähnlich zu den Ausführungen nach LINDEMANN 1980 dar. EILETZ 1999 unterscheidet dabei zwischen dem **Zielsystem** und dem **Konzeptsystem**. Das Zielsystem definiert sich über die aus Anforderungen abgeleiteten Ziele. Als Anforderungen werden „*Formulierungen gewünschter oder nicht gewünschter Eigenschaften bzw. Sachverhalte*“ (EILETZ 1999, S. 12) bezeichnet, wobei diese die Grundlage für den Prozess der Zielbildung und -vereinbarung darstellen. Ziele sind darauf basierend „*gemeinsam vereinbarte zukünftige Sollzustände, die durch aktives Handeln erstrebt oder vermieden werden*“ (EILETZ 1999, S. 11). Im Konzeptsystem werden dagegen zur Erfüllung der Ziele vorgesehenen Elemente (z. B. Bauteile, Maßnahmen) dargelegt, wobei die Elemente durch sogenannte **Parameter** charakterisiert werden (EILETZ 1999, S. 103).

Neben den von EILETZ 1999 angesprochenen Parametern zur Charakterisierung von Konzepten gibt es weitere Differenzierungen zur detaillierten Beschreibung planungsrelevanter Informationen (z. B. antizipierte Technologien). So unterscheidet EHRENSPIEL 2009 (S. 28) in Anlehnung an DIN 2330 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2011) zwischen **Beschaffenheitsmerkmal**, **Funktionsmerkmal** und **Relationsmerkmal** zur Beschreibung technischer Systeme. Die Beschaffenheitsmerkmale werden vom Planer bzw. Entwickler unmittelbar festgelegt und adressieren die geometrische/stoffliche Beschaffenheit (z. B. Farbe, Werkstoff) eines Produkts. Funktionsmerkmale dagegen zielen auf den Zweck des Produkts ab (z. B. Drehmoment übertragen mit max. 2000 Nm) und Relationsmerkmale stellen dar, unter welchen Bedingungen eine Funktion in Zusammenhang mit anderen Systemen erfüllt werden soll (z. B. Herstellkosten, Temperaturbeständigkeit). Der Begriff Merkmal wird synonym zum Begriff Eigenschaft verwendet. Ein Merkmal nach EHRENSPIEL 2009 setzt sich aus einer Bedeutung (z. B. Länge) und einer Ausprägung (z. B. 50 mm) zusammen.

PONN & LINDEMANN 2011 (S. 137) dagegen unterscheiden zwischen den Begriffen Eigenschaft, Merkmal und Ausprägung. Demnach setzt sich eine **Eigenschaft** aus einem **Merkmal** (z. B. Geschwindigkeit) und einer **Ausprägung** (z. B. 50 km/h) zusammen. Hierbei differenzieren PONN & LINDEMANN 2011 (S. 137) zwischen direkten Eigenschaften (werden unmittelbar vom Entwickler/Planer festgelegt) und indirekten Eigenschaften (werden mittelbar festgelegt).

WEBER 2005 setzt sich im Rahmen der von ihm entwickelten Theorie zum „Property Driven Development“ (PDD) ebenfalls mit der im Entwicklungsprozess handzuhabenden Informatio-

nen auseinander. Dabei unterscheidet er zwischen **Eigenschaften (Properties)** und **Merkmale (Characteristics)** im Kontext des dem PDD zugrundeliegenden Ordnungsrahmens zum „Characteristics-Properties Modelling“ (CPM – siehe Bild 2-26). Merkmale (z. B. Werkstoff, Geometrie) können demnach direkt durch den Entwickler festgelegt werden, während Eigenschaften das Verhalten des Produkts (z. B. Geschwindigkeit, Gewicht) beschreiben. Hierbei können die Merkmale wiederum untereinander zusammenhängen. Dieser Aspekt wird über entsprechende **Abhängigkeiten der Merkmale** berücksichtigt. Die **Merkmale** sind über **Relationen** mit den **Eigenschaften** verknüpft, wobei die Relationen wiederum durch externe Bedingungen beeinflusst werden – d. h. um den Zusammenhang zwischen Merkmalen und Eigenschaften zu beschreiben, bedarf es auch der Kenntnis des jeweiligen Entwicklungskontexts (WEBER 2005, S. 9). Soll beispielsweise hinsichtlich der Gestaltung von Schuhen auf Basis der Eigenschaft „Eleganz der Schuhe“ über eine Relation die „Höhe des Schuhabsatzes“ festgelegt werden, so ist es von Bedeutung, welche externe Bedingung (z. B. aktueller Fashion-Trend) zu diesem Zeitpunkt Einfluss auf die Relation zwischen Eigenschaft und Merkmal nimmt. Im Rahmen der Produktentwicklung finden basierend auf diesen Überlegungen wechselseitige **Zyklen der Analyse und Synthese** statt (siehe Bild 2-26). Während der Produktentwicklung kann das CPM/PDD beispielsweise auch für die Verfolgung von Änderungsförpflanzungen im Rahmen des Änderungsmanagements herangezogen werden. In diesem Kontext adressieren KÖHLER et al. 2008 eine an das House-of-Quality im QFD angelehnte matrixbasierte Darstellung der Zusammenhänge der Elemente des CPM und zeigen entsprechende Analyse- und Syntheseschritte zur Abarbeitung eines Änderungsauftrags auf.

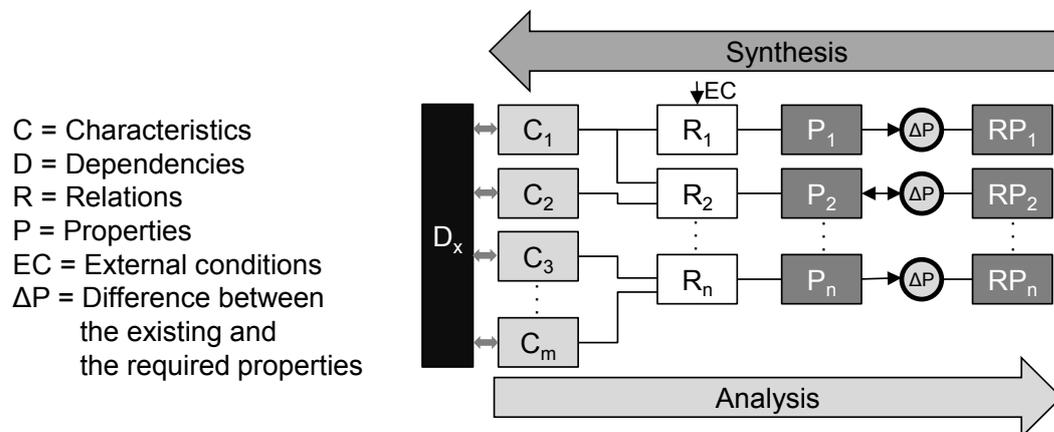


Bild 2-26: Characteristics-Properties Modelling nach KÖHLER et al. 2008 in Anlehnung an WEBER 2005

Das Axiomatic Design nach SUH 1998 geht ebenfalls auf die Zusammenhänge zwischen **Functional Requirements (FRs)** ein, welche analog zu den Eigenschaften nach WEBER 2005 gesehen werden können, sowie **Design Parameters (DPs)**, welche den Merkmalen nach WEBER 2005 ähneln. Im Axiomatic Design werden die Functional Requirements mit den Design Parameters über eine Matrix verknüpft, was wiederum ähnlich wie die Relationen beim Characteristics-Properties Modelling zu sehen ist. Nichtsdestotrotz unterscheiden sich nach WEBER 2005 die beiden Ansätze insbesondere durch folgende Punkte:

- Axiomatic Design unterstellt lineare Abhängigkeiten zwischen den FRs und den DPs, CPM dagegen berücksichtigt auch nicht-lineare Zusammenhänge.
- Beim Axiomatic Design wird angestrebt, dass es so viele FRs wie DPs gibt, wobei nach Möglichkeit jeweils nur ein DP für ein FR maßgeblich ist. Im CPM dagegen wird davon ausgegangen, dass – zumindest bei komplexen Produkten – die Anzahl der Merkmale wesentlich höher ist als die der Eigenschaften.

Die gezeigten Ansätze zur **Repräsentation planungsrelevanter Informationen** gehen überwiegend auf den Bereich der Sachleistungsplanung und -entwicklung ein, können jedoch auch auf das Feld integrierter Leistungsbündel übertragen werden. So können beispielsweise die Ausführungen zu Eigenschaften, Merkmalen und Ausprägungen nach PONN & LINDEMANN 2011 auch auf Dienstleistungen sowie Leistungsbündel prinzipiell angewendet werden.

BOTTA 2007 erweitert in Anlehnung an WEBER et al. 2004 den Ansatz nach WEBER 2005 hinsichtlich der Entwicklung von Leistungsbündeln und geht aufgrund der **Heterogenität von Sach- und Dienstleistungen** auf jeweils **unterschiedliche Merkmalsysteme** ein. Während BOTTA 2007 (S. 74) bezüglich der Sachleistungen Merkmale zu den Klassen Position/Orientierung, Geometrie/Topologie, Oberflächenmerkmale und Materialmerkmale adressiert, werden auf Dienstleistungsebene Potenzialmerkmale (z. B. Mitarbeiterqualifikation) sowie Prozessmerkmale (z. B. Dauer der Dienstleistung) unterschieden. Hierbei ist eine Analogie zu den im Rahmen des Service Engineerings zu berücksichtigenden Entwicklungsobjekten zu sehen. So gehen SCHNEIDER & SCHEER 2003 (S. 21) sowie MEIREN & BARTH 2002 beispielsweise auf das Ressourcenmodell, das Prozessmodell sowie das Produktmodell in Analogie zu den bei BOTTA 2007 (S. 74) angeführten Merkmalsklassen ein. Auf Eigenschaftsebene findet bei BOTTA 2007 dagegen aufgrund der integrierten Ergebnisorientierung von Leistungsbündeln keine Differenzierung zwischen Sach- und Dienstleistungseigenschaften statt. THOMAS et al. 2008 lehnen sich in der von ihnen vorgeschlagenen Entwicklungsmethodik für Leistungsbündel maßgeblich an die Arbeiten von WEBER et al. 2004 sowie BOTTA 2007. Hierbei heben sie die Bedeutung von „Änderungskonstruktionen“ bezüglich der Hybridisierung von bereits bestehenden Produkten im Vergleich zur Neuentwicklung von Produkten – wie sie nach BOTTA 2007 fokussiert wird – hervor (THOMAS et al. 2008, S. 211).

Auch im Sonderforschungsbereich/Transregio 29 ist die **Modellierung von Leistungsbündeln** ein wichtiger Forschungsgegenstand. Von besonderem Interesse im Kontext der vorliegenden Arbeit ist die Auseinandersetzung mit Modellen bezüglich der Konzepterstellung von Leistungsbündeln (siehe z. B. WELP & SADEK 2008, SADEK 2008 sowie SADEK & KÖSTER 2012). SADEK 2008 (S. 82) setzt sich zunächst mit verschiedensten Modellierungsansätzen im Bereich der Sachleistungs-, Dienstleistungs- und Leistungsbündelmodellierung auseinander. Er unterscheidet dabei zwischen informalen, semi-formalen, formalen und streng formalisierten Modellierungsverfahren, wobei der **Formalisierungsgrad** Aufschluss über die Möglichkeit einer rechnerbasierten Simulation bezüglich der modellierten Informationen gibt (SADEK 2008, S. 72). Neben diesen Dimensionen wird bei SADEK 2008 (S. 99) auch auf die Einordnung von Modellen hinsichtlich des **Detaillierungsgrads der Modelle** (System, Subsystem oder Komponentenebene) sowie auf den Konkretisierungsgrad des Leistungsbündels im Modell (Anforderung/Spezifikation, Funktion, Lösungsprinzip, Entwurf) eingegangen. Ein besonderer Schwerpunkt im Rahmen der Konzeptentwicklung liegt bei SADEK 2008 auf der

funktionalen Betrachtung der Leistungsbündel. Nach SADEK & KÖSTER 2012 setzen sich die Funktionen des Leistungsbündels jeweils aus einem Leistungsbündelobjekt sowie einem Leistungsbündelprozess zusammen, wobei nur die Kombination aus diesen beiden Bausteinen die vom Kunden gewünschte Leistungsgenerierung ermöglicht. Nach SADEK 2008 (S. 105) werden die einzelnen Leistungsbündelfunktionen aus den Anforderungen an ein Leistungsbündel abgeleitet. Dabei werden die Funktionen nach SADEK & KÖSTER 2012 (S. 67) in der Regel lösungsneutral im Rahmen eines Funktionsmodells dargestellt.

Im Hinblick auf die Strukturierung und Modellierung entwicklungs- und planungsrelevanter Informationen stellen die in diesem Kapitel dargelegten, bereits existierenden Überlegungen die wesentliche Grundlage der vorliegenden Arbeit dar. Da der Fokus dieser Arbeit jedoch insbesondere auf der Gegenüberstellung planungsrelevanter Informationen und weniger auf deren spezifischen Modellierungsverfahren liegt, wird auf weitere Ausführungen zur sachleistungs-, dienstleistungs- und leistungsbündelbezogenen Modellierung verzichtet.

2.5.2 Modellierung und Analyse komplexer Strukturen

Bereits in Kapitel 2.1.2 wurde auf das im Rahmen des Systems Engineering verankerte **strukturelle Komplexitätsmanagement** eingegangen. Dieses bietet die Möglichkeit, auch ohne die Hinterlegung spezifischer quantitativer Informationen Einblick in die **Systemstruktur** zu erhalten. Insofern bieten sich – wie auch in dieser Arbeit verfolgt – Methoden des strukturellen Komplexitätsmanagements für die frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses zur Reflexion planungsrelevanter Systemzusammenhänge an (LINDEMANN et al. 2008). Im Kontext des strukturellen Komplexitätsmanagements spielen **matrizenbasierte Ansätze** eine wesentliche Rolle. Ein spezifisches Verfahren zur Identifikation und Analyse von Abhängigkeiten einzelner Systemelemente stellt hierbei die **Design (bzw. Dependency) Structure Matrix (DSM)** dar, welche auf Arbeiten von STEWARD 1981 beruht. Die DSM (siehe Bild 2-27 oben) repräsentiert eine quadratische Matrix, in welcher die betrachteten Systemelemente gegenübergestellt und deren Relationen aufgezeigt werden. In einer DSM befinden sich demnach in den Zeilen und Spalten jeweils dieselben Elemente. Die Verknüpfung der Elemente erfolgt zumeist binär, d. h. es wird lediglich aus struktureller Perspektive betrachtet, ob zwischen zwei Systemelementen eine Verknüpfung besteht oder nicht.

BROWNING 2001 (S. 293) beschreibt, dass diese matrix-basierte Form der Darstellung von Systemzusammenhängen unter weiteren Namen, wie beispielsweise der Einflussmatrix, Eingang in die Literatur und Praxis gefunden hat. Auch die **Anwendungsgebiete der DSM** sind mannigfaltig, wobei in der vorliegenden Arbeit der Einsatz der DSM und darauf aufbauender Ansätze auf den ingenieurwissenschaftlichen Bereich eingegrenzt wird. So stellt das Dach des House of Quality im Rahmen des QFD (siehe Bild 2-11) gewissermaßen eine DSM dar, in welcher technische Merkmale und ihre jeweiligen Abhängigkeiten gegenübergestellt werden (BROWNING 2001, S. 93). Die DSM kann aber auch zur Analyse von physischen Produktkomponenten, von technischen Anforderungen sowie Prozessschritten eingesetzt werden (LINDEMANN et al. 2008, S. 50). So nutzen EPPINGER et al. 1992 die DSM zur Organisation von Arbeitsschritten in der Entwicklung komplexer Produkte. Dabei ziehen sie neben der rein binären Verknüpfung der Elemente auch eine numerische DSM unter Berücksichtigung der Intensität der Abhängigkeit heran.

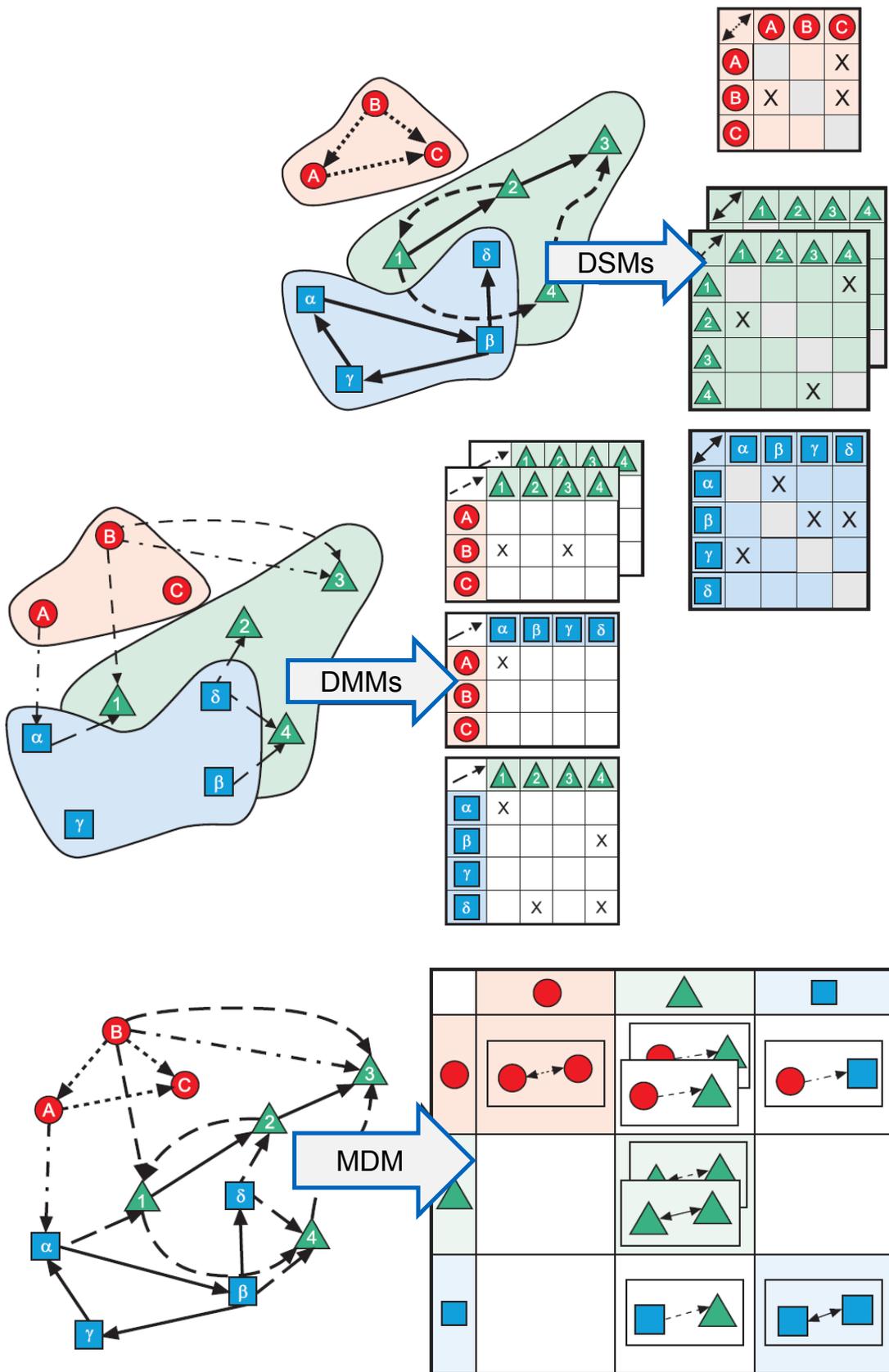


Bild 2-27: Graphen- und matrisenbasierte Darstellung von Systemzusammenhängen nach LINDEMANN et al. 2008

PIMMLER & EPPINGER 1994 wenden die DSM zur Analyse der Abhängigkeiten von Produktkomponenten an. Dabei unterscheiden sie verschiedene Relationsarten zur Verknüpfung der Komponenten – nämlich die stoffliche, räumliche, energetische und informationsbezogene Abhängigkeit von Systemelementen. BROWNING 2001 reflektiert verschiedene Anwendungsgebiete der DSM, wobei er zwischen der statischen DSM (z. B. bezüglich Komponenten bzw. Personen) und der zeitbezogenen DSM (z. B. bezüglich Prozessschritten) unterscheidet. Ein weiteres Anwendungsbeispiel stellt die Analyse von Änderungsfortpflanzungen dar, wobei CLARKSON et al. 2004 die DSM u. a. zur Ableitung indirekter Abhängigkeiten zwischen Systemkomponenten nutzen.

Im Rahmen der verschiedenen Anwendungsgebiete der DSM können unterschiedliche **Strukturmerkmale** zum Einsatz kommen, um das Systemverständnis zu erhöhen und daraus Handlungsschwerpunkte zur Gestaltung bzw. Optimierung des Systems abzuleiten. In Anlehnung an die Unterteilung von BROWNING 2001 ordnen LINDEMANN et al. 2008 der statischen DSM Clusteralgorithmen zur Identifikation von eng vernetzten Systemelementen und der zeitbezogenen DSM ablaufbezogene Algorithmen (wie die Identifikation von Iterationen durch Kreisschlüsse) zu. In der jüngeren Vergangenheit hat die Erarbeitung geeigneter Strukturmerkmale – welche oftmals dem Forschungsfeld der Graphen- und Netzwerktheorie entspringen – stark an Bedeutung im Kontext der matrixbasierten Reflexion der Systemzusammenhänge zugenommen. So setzen sich beispielsweise SOSA et al. 2005 basierend auf verschiedenen Strukturmerkmalen zur „Centrality“ nach FREEMAN 1979 mit der Analyse der komponentenbezogenen Modularität auseinander. Eine übersichtliche Darstellung und Erläuterung verschiedenster Strukturmerkmale und -metriken sowie einhergehender produkt- und prozessbezogener Interpretationsmöglichkeiten werden beispielsweise bei LINDEMANN et al. 2008 sowie bei KREIMEYER & LINDEMANN 2011 dargestellt.

Der Ansatz der DSM, bei welchem lediglich ein Betrachtungsgegenstand bzw. eine Domäne (z. B. Komponenten) im Mittelpunkt steht, wird durch die Verknüpfung der Elemente zweier unterschiedlicher Domänen im Kontext der sogenannten **Domain Mapping Matrix (DMM)** erweitert (DANILOVIC & BROWNING 2004, DANILOVIC & SANDKULL 2005). Die unterschiedlichen DSMs und DMMs, welche die jeweiligen domänenspezifischen und domänenübergreifenden Abhängigkeiten von Systemelementen repräsentieren, können wiederum in einer **Multiple Domain Matrix (MDM)** zusammengefasst werden. In diesem Zusammenhang stellt Bild 2-27 sowohl das Prinzip der DSM (oben), der DMM (mittig) sowie der MDM (unten) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Relationsarten dar (LINDEMANN et al. 2008). Hierbei wird die Überführung von graphen- in matrixbasierte Systemmodelle skizziert.

Eine Besonderheit im Rahmen der MDM stellt die Möglichkeit dar, **indirekte Abhängigkeiten** zwischen Systemelementen in einer Domäne durch Verfahren der Matrixmultiplikation in Kombination mit weiteren Domänen abzuleiten (LINDEMANN et al. 2008, S. 76). Sind die Systemzusammenhänge in einer Domäne (z. B. Abhängigkeit zwischen zwei Personen bezüglich des notwendigen Informationsaustauschs) nicht direkt ermittelbar, so kann es sinnvoll sein, die indirekten Abhängigkeiten der Systemelemente innerhalb der Domäne durch deren gegenseitigen Zugriff auf Elemente anderer Domänen (Wissen der Personen über die jeweils von ihnen benötigten/bearbeiteten Dokumente) zu errechnen.

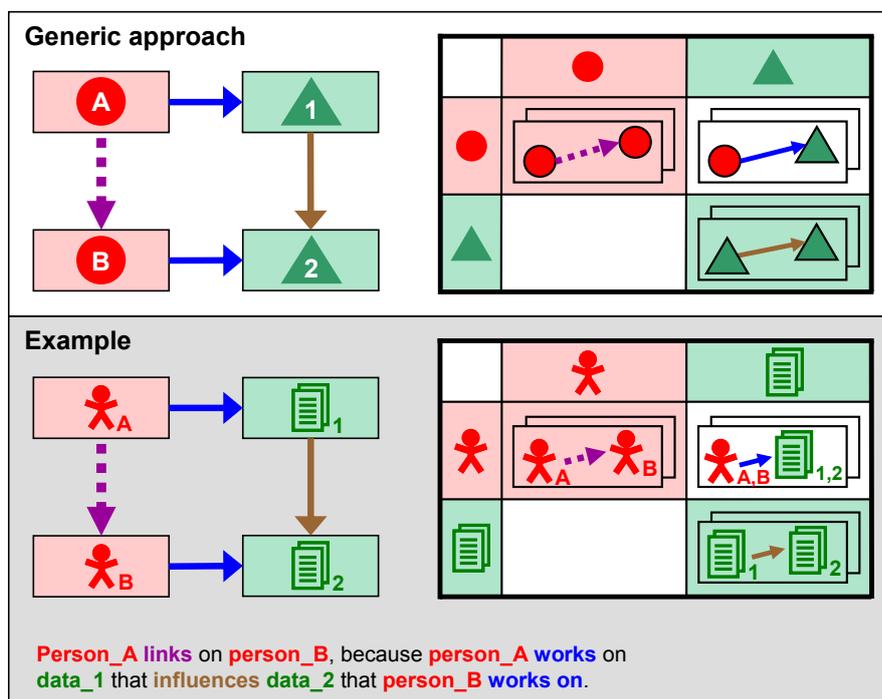


Bild 2-28: Darstellung indirekter Abhängigkeiten über zwei Domänen (MAURER 2007, S. 89)

Bezüglich indirekter Abhängigkeiten unterscheiden MAURER 2007 (S. 85) bzw. LINDEMANN et al. 2008 (S. 105) insgesamt sechs logische Verknüpfungen. Eine der Konstellationen und entsprechende Berechnungen zur matrixbasierten Ableitung der indirekten Abhängigkeiten ist nach MAURER 2007 (S. 89) in Bild 2-28 dargestellt. Hierbei ist die indirekte Abhängigkeit zwischen den Personen A und B aufgrund ihres Zugriffs auf die Dokumente 1 und 2, welche wiederum miteinander in Beziehung stehen, aufgezeigt.

Neben der **Matrizenmultiplikation** stellen weitere Arbeiten im Bereich der Erforschung und Anwendung der DSM, DMM und MDM wesentliche Anknüpfungspunkte zur Analyse von Systemzusammenhängen im Kontext der lebenszyklusgerechten Leistungsbündelplanung dar. Vor dem Hintergrund der Berücksichtigung verschiedener zukunftsrelevanter Szenarios spielen Herangehensweisen des strukturellen Komplexitätsmanagements, welche sich mit Gemeinsamkeiten bzw. Unterschieden von Systemstrukturen befassen, eine wichtige Rolle. So zeigt DE WECK 2007 Möglichkeiten auf, mit Hilfe einer Δ DSM Unterschiede zwischen einer initialen und einer geänderten Systemstruktur zu visualisieren und darauf basierend anhand einer „Change-DSM“ die Änderungsauswirkungen auf weitere Systemelemente durch die veränderte Systemkonfiguration deutlich zu machen. EBEN et al. 2008 bauen auf diesem Ansatz auf und stellen strukturelle Veränderungen des Systems über der Zeit dar. Neben der Berücksichtigung hinzukommender und wegfallender Relationen und Elemente adressieren sie in einem erweiterten MDM-Ansatz, der die Überführung der initialen in die neue Systemstruktur anhand einer DMM darlegt, auch das Aufteilen sowie Zusammenführen von einzelnen Elementen. Der Ansatz nach EBEN et al. 2008 findet beispielsweise im Rahmen des Zielkostenmanagements mechatronischer Systeme bei ZIRKLER 2010 Anwendung. In Anleh-

nung an die im Variantenmanagement sowie der Produktstrukturplanung angesiedelten Arbeiten von BRAUN et al. 2007 sowie GAUSEMEIER et al. 2007 nutzt GORBEA 2011 zudem die Σ MDM zur Gegenüberstellung unterschiedlicher Fahrzeugkonfigurationen. Diese Addition der einzelnen Konfigurationen ermöglicht einen Einblick, welche Lösungskomponenten wie oft im gesamten Variantenspektrum berücksichtigt werden.

Auch im Bereich der Analyse und der darauf basierenden Ableitung geeigneter Produktkonzepte haben DSM-basierte Ansätze Eingang gefunden. Hierbei setzen HELLENBRAND & LINDEMANN 2008 an der von BIRKHOFER 1980 genutzten Verträglichkeitsmatrix an und übersetzen diese zunächst in eine symmetrische Konsistenz-DSM der betrachteten Komponenten. In dieser Konsistenz-Matrix werden zueinander kompatible Komponentenpaarungen mit einer 1 gekennzeichnet, während unverträgliche Elemente mit einer 0 versehen werden. Eine **Clusteranalyse** erlaubt es im Anschluss durch das Ableiten kompletter Cluster Konzepte zu identifizieren, deren einzelne Komponenten allesamt kompatibel zueinander sind. Die Definition eines Clusters orientiert sich hierbei an LINDEMANN et al. 2008. Dabei stellt ein vollständiger Cluster eine Zusammenstellung an Elementen dar, welche sich durch eine komplette gegenseitige Vernetzung auszeichnet. Der Ansatz nach HELLENBRAND & LINDEMANN 2008 eignet sich insbesondere, wenn die Verträglichkeiten einzelner Kombinationen bereits bekannt sind. Sollte dieser Umstand – wie beispielsweise bei der Berücksichtigung neuer Lösungsmöglichkeiten im Rahmen der Produktplanung – nicht gegeben sein, so bietet es sich an, die entsprechende Kompatibilitätsevaluation hinsichtlich der Prüfung einzelner Paarungen von Lösungsmöglichkeiten zu erweitern.

GORBEA 2011 knüpft an den Ansatz nach HELLENBRAND & LINDEMANN 2008 an und nutzt diesen zur Identifikation kompatibler Gesamtkonzepte von elektrisch betriebenen Fahrzeugen. Um mit der großen Anzahl an möglichen Gesamtkonzepten umzugehen, erweitert GORBEA 2011 den Betrachtungsrahmen der **Kompatibilitätsanalyse**. Dabei erweitert er diesen um die Dimension der Einhaltung von in sich konsistenten Anforderungskonstellationen durch die entsprechend vorausgewählten kompatiblen Gesamtfahrzeugkonzepte. GORBEA 2011 (S. 155) zeigt somit, wie kompatible Gesamtfahrzeugkonzepte unter Berücksichtigung mehrerer Betrachtungsdomänen abgeleitet werden können. Aufgrund der vorgeschlagenen Zusammenfassung der Lösungsalternativen und Anforderungen in einer DSM zur Errechnung kompletter Cluster gestaltet sich die Auswahl tatsächlich relevanter Elementkombinationen jedoch schwierig. Die Ausrichtung des Ansatzes von GORBEA 2011, die Kompatibilität einzelner Lösungsmöglichkeiten ohne deren Relationen vertieft zu betrachten, kann zudem zu einem zu frühzeitigen Ausschluss möglicher erfolgversprechender Gesamtkonzepte führen. Auch die Weiterverfolgung ausschließlich kompletter Cluster kann – insbesondere in Bezug auf die lebenszyklusgerechte Leistungsbündelplanung – im Endeffekt dazu führen, dass weitere umsetzbare, nicht komplett „lebenszykluskompatible“ aber erfolgversprechende Gesamtkonzepte in der weiteren Auswahl nicht berücksichtigt werden. Somit stellt der Ansatz von GORBEA 2011 äußerst interessante matrixen-basierte Mechanismen zur Identifikation von Gesamtkonzepten dar. Diese gilt es aufgrund der oben genannten Einschränkungen hinsichtlich der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung weiterzuentwickeln.

Auch HOLLEY et al. 2011 knüpfen an der DSM-basierten Identifikation von in sich stimmigen Produktkonzepten mittels einer sogenannten **PC-DSM (Physical Connection DSM)** an.

Hierbei werden innerhalb der PC-DSM einzelne Lösungsalternativen ähnlich wie in der Konsistenz-DSM nach HELLENBRAND & LINDEMANN 2008 gegenübergestellt. Doch anstatt diese lediglich hinsichtlich des Bestehens einer Kompatibilität zu hinterfragen, erweitern HOLLEY et al. 2011 den Ansatz durch das Hinterlegen der jeweiligen physikalischen Schnittstelle in den Zellen, um die Kompatibilität greifbar zu machen. HOLLEY et al. 2010 (S. 1118) sprechen hinsichtlich ihres Ansatzes jedoch die deutliche Einschränkung an, dass neben der physikalischen Schnittstellenbetrachtung keine weiteren Eigenschaften bzw. Parameter zur Reflexion der Kompatibilität einzelner Lösungskombinationen herangezogen werden. Die PC-DSM wird auch in Kombination mit weiteren Verfahren zur Bewertung und Auswahl geeigneter Produktkonfigurationen angewendet (HOLLEY et al. 2010). Demnach findet zum einen die Überprüfung anhand einer entsprechend gestalteten DMM statt, ob die identifizierten Lösungen überhaupt geeignet sind, relevante Produktfunktionen zu erfüllen (HOLLEY et al. 2010, S. 1116). Zum anderen werden die einzelnen Lösungsbestandteile im Rahmen einer QFD-orientierten Herangehensweise hinsichtlich der jeweiligen Erfüllung einzelner Produktanforderungen hinterfragt (HOLLEY et al. 2010, S. 1117).

Die Ausführungen zum strukturellen Komplexitätsmanagement zeigen, dass sich die **Anwendung und Weiterentwicklung spezifischer DSM-, DMM- und MDM-basierter Ansätze** für die Identifikation planungsrelevanter Systemzusammenhänge als vielversprechend erweist. Daher werden verschiedene matrixbasierte Ansätze in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen, um die Reflexion von Abhängigkeiten verschiedener planungsrelevanter Domänen im Kontext der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung zu unterstützen.

2.6 Fazit zum Stand der Forschung

In Kapitel 2 sind die Grundlagen der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet worden. Neben der Einordnung der strategischen Produktplanung in die Forschungsfelder der methodisch-systematischen Produktentwicklung sowie des Systems Engineerings erfolgte ein Einblick in die Aufgaben und Methoden der Produktplanung. Um den Wandel von sachleistungsgetriebenen Produktanbietern hin zu integrierten Lösungsanbietern unter Berücksichtigung von Dienstleistungen zu skizzieren, wurden im Anschluss planungsassoziierte Ansätze im Umgang mit Leistungsbündeln dargelegt.

Schon im Bereich der Planungsaufgabe, aber insbesondere bei der Darstellung von Leistungsbündeln hat sich die **Relevanz einer lebenszyklusphasenübergreifenden Betrachtung** von Potenzialen und Rahmenbedingungen herauskristallisiert. Vor diesem Hintergrund galt es, bestehende Modelle zur Beschreibung des Lebenszyklus von Sach- und Dienstleistungen sowie von **Leistungsbündeln** vertieft zu betrachten. Die Reflexion bestehender Ansätze zeigt jedoch, dass ein ausreichend detailliertes, aber dennoch übersichtliches **Lebenszyklusmodell** von Produkten und speziell in Hinblick auf integrierte Sach- und Dienstleistungen zur Akquisition planungsrelevanter Informationen nicht existiert. Zudem wurde deutlich, dass es im Sinne des Systems Engineerings sowie einer entsprechend ganzheitlich ausgerichteten Planung von Leistungsbündeln wichtig ist, die **Abhängigkeiten der Anforderungen/Ziele einerseits und der Lösungsmöglichkeiten/Potenziale andererseits** zu verstehen, um lebenszyklusgerechte Gesamtkonzepte abzuleiten.

Die im Rahmen der methodischen Produktplanung dargestellten Ansätze – wie beispielsweise das Quality Function Deployment bzw. die Szenariotechnik – erlauben zwar die Akquisition und Dokumentation planungsrelevanter Informationen. Die Potenziale tiefergehender Analysen werden jedoch trotz der teilweise bereits matrix-basierten Aufbereitung der Informationen nur unzureichend genutzt. An dieser Stelle setzen die Darstellungen zur System- und Abhängigkeitsmodellierung an – insbesondere was die Möglichkeiten des strukturellen Komplexitätsmanagements zur Erhöhung des **Verständnisses planungsrelevanter Systemzusammenhänge** angeht. Daher wird in den folgenden Kapiteln dargestellt, welche strukturbasierten Ansätze den Planer in seinen Aufgaben zur **Akquisition und Analyse planungsrelevanter Informationen** unterstützen, um darauf aufbauend lebenszyklusgerechte Leistungsbündelkonzepte ableiten zu können. Hierbei werden zwei unterschiedliche Betrachtungsebenen zur Unterstützung des Planers fokussiert:

- einerseits betrifft dies die Ebene weitgehend „allgemeingültiger“ Abhängigkeiten entlang des Lebenszyklus, welche aufgrund der Anwendung generischer Gestaltungshinweise (z. B. DFX-Richtlinien) zu berücksichtigen sind;
- andererseits betrifft dies die Ebene leistungsbündelspezifischer Abhängigkeiten, die im Kontext der jeweiligen Planungssituation eines Unternehmens zu berücksichtigen sind.

Vor diesem Hintergrund setzt sich Kapitel 3 zunächst mit **Lebenszyklusverständnis** von Leistungsbündeln und Methoden zur Identifikation generischer, in der Planung zu berücksichtigender **Abhängigkeiten** auseinander. In Kapitel 4 wird auf den Erkenntnissen des integrieren Lebenszyklus aufbauend eine **Methodik zur lebenszyklusorientierten Planung** spezifischer Leistungsbündel vorgestellt.

3. Verständnis des Lebenszyklus von Leistungsbündeln

Aufbauend auf den dargelegten Grundlagen wird in diesem Kapitel zunächst ein integriertes Verständnis des Lebenszyklus von Leistungsbündeln behandelt. Hierbei wird das Ziel verfolgt, eine umfassende Planungsgrundlage zur lebenszyklusorientierten Identifikation und Antizipation der Rahmenbedingungen und Potenziale zukünftig zu erbringender Leistungsbündel zu schaffen. Zu diesem Zweck wird ein Modell des Lebenszyklus von Leistungsbündeln erarbeitet. Dieses differenziert sich von bestehenden Lebenszyklusmodellen insbesondere durch die Integration der Sach- und Dienstleistungsperspektive. Zudem stellt sich das Modell wesentlich feingranularer als weitere existierende Überblicksmodelle des Lebenszyklus dar.

Auch das Thema planungsrelevanter Systemzusammenhänge im Lebenszyklus von Leistungsbündeln wird bereits in diesem Kapitel adressiert. Hierbei steht die Identifikation und Analyse von Wechselwirkungen, welche aufgrund allgemeiner lebenszyklusbezogener Gestaltungsregeln von Produkten existieren, im Vordergrund. Die Berücksichtigung solcher Systemzusammenhänge mit einem Geltungsbereich für unterschiedliche Produktarten sowie der damit einhergehende Methodeneinsatz sollen die Schwerpunktsetzung bezüglich zu betrachtender leistungsbündelrelevanter Rahmenbedingungen und Potenziale in der Planung erleichtern. Zur Vorbereitung des Kapitels 4 schließt Kapitel 3 mit der Ableitung des weiteren Handlungsbedarfs im Sinne einer lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung.

3.1 Ableitung eines übergreifenden Lebenszyklusmodells

Ziel dieses Kapitels ist es, ein tieferes Verständnis des Lebenszyklus von Leistungsbündeln und der gegenseitigen Abhängigkeiten seiner einzelnen Phasen zu erlangen. Wie bereits in Kapitel 2.4 dargelegt, liegt der Fokus auf dem intrinsischen Lebenszyklus, d. h. den Phasen, welche ein Leistungsbündel von der Planung über die Entwicklung, Umsetzung und Erbringung bis hin zur Auflösung durchläuft. Die Grundlagen zu den existierenden Lebenszyklusmodellen haben gezeigt, dass diese zwar für einen ersten Überblick hilfreich sind, sich im Sinne einer in der Leistungsplanung heranzuziehenden Planungsgrundlage jedoch nicht detailliert genug erweisen – insbesondere was die Betrachtung integrierter Sach- und Dienstleistungskombinationen angeht. Daher besteht ein Teilziel des Kapitels 3 darin, ein integriertes Modell des Leistungsbündellebenszyklus abzuleiten, welches als Grundgerüst für weitere Analysen lebenszyklusübergreifender, planungsrelevanter Systemzusammenhänge dient. In der Folge soll das erarbeitete **Lebenszyklusmodell folgende Zwecke** erfüllen:

- Das Lebenszyklusmodell soll im Sinne einer Checkliste die Identifikation und Antizipation von Anforderungen bzw. Zielen und Potenzialen bzw. Lösungsmöglichkeiten entlang des Lebenszyklus ermöglichen.
- Das Lebenszyklusmodell soll als Grundlage zur Reflexion der Zeithorizonte und zugehöriger temporaler Abhängigkeiten einzelner Lebenszyklusphasen, des gesamten Lebenszyklus eines Leistungsbündels, einer kompletten Leistungsbündelgeneration sowie mehrerer Leistungsbündelgenerationen dienen.

- Das Lebenszyklusmodell soll einen Ordnungsrahmen zur Reflexion generischer sowie unternehmensspezifischer, lebenszyklusphasenübergreifender Systemzusammenhänge darstellen und daraus abzuleitende Priorisierungen hinsichtlich zukünftig zu erbringender Leistungsbündel ermöglichen.

Mit dieser Zielsetzung und entsprechend angestrebten Einsatzzwecken gehen **Anforderungen an das zu entwickelnde Lebenszyklusmodell** einher. Diese sind auf Basis der in Kapitel 2.4 dargelegten Grundlagen sowie den angestrebten Anwendungsgebieten des Modells ausgerichtet. Die Anforderungen, welche zum Teil auch Alleinstellungsmerkmale gegenüber bestehenden Lebenszyklusmodellen repräsentieren, stellen sich wie folgt dar:

- Betrachtungsgegenstände des Modells:
 - Berücksichtigung des Leistungsbündels von seiner Planung bis hin zur Auflösung bzw. zum Recycling seiner Komponenten;
 - Integrierte Sach- und Dienstleistungskombinationen;
 - Berücksichtigung verschiedener Dienstleistungsarten.
- Detaillierungsgrad des Modells:
 - Detaillierungsgrad nicht zu hoch, um die produkt- und branchenübergreifende Nutzung und Interpretation zu gewährleisten (Einsetzbarkeit als Planungsinstrument im Sinne einer Checkliste);
 - Detaillierungsgrad nicht zu niedrig, um ein detaillierteres Verständnis des Lebenszyklus zu gewährleisten, als dies mit existierenden Modellen möglich ist;
 - Allgemeingültige Darstellung, um Anwendbarkeit für verschiedene Topologien von Leistungsbündeln zu erlauben;
 - Allgemeingültige Darstellung, um Kombination des Lebenszyklusmodells mit weiteren generischen Modellen zur Unterstützung der Identifikation relevanter Kontextfaktoren zu ermöglichen;
 - Anwendbarkeit des Modells auf Unternehmensnetzwerke bzw. -kooperationen im Lebenszyklus, d. h. die einzelnen Lebenszyklusphasen können auch durch verschiedene Unternehmen verantwortet werden.
- Formale Darstellung des Modells:
 - Geeignete Darstellung disziplinspezifischer, d. h. getrennt voneinander durchzuführender, sowie gekoppelter und integriert stattfindender Lebenszyklusphasen von Sach- und Dienstleistungskombinationen;
 - Berücksichtigung von Abstimmungspunkten der Disziplinen;
 - Darstellung der Möglichkeit wiederkehrender Phasendurchläufe;
 - Unterscheidung zwischen den im Lebenszyklus zu berücksichtigenden Operationen bzw. Aktivitäten sowie den daraus abgeleiteten Repräsentationen des Leistungsbündels (Arbeitsergebnissen).

Neben den Anforderungen gilt es auch wesentliche Punkte, welche das Lebenszyklusmodell nicht leisten muss bzw. soll, zu artikulieren. Aufgrund der Heterogenität von Produkten und Dienstleistungen in der Industrie ist es nicht der Anspruch an das Modell, zeitliche Dimensionen des Durchlaufs einzelner Phasen sowie des gesamten Lebenszyklus nachzuvollziehen.

Nachdem das Verständnis des Durchlaufs verschiedener Lebenszyklusphasen im Vordergrund steht, werden zudem keine spezifischen Schwerpunktsetzungen z. B. hinsichtlich auszutauschender Daten im Sinne des PLM bzw. hinsichtlich des energie- bzw. schadstoffbezogenen Umwelteinflusses im Sinne des Lifecycle Assessments vorgenommen (siehe Kapitel 2.4.2).

Die Ableitung des Lebenszyklusmodells erfolgt basierend auf der in Kapitel 2.4.2 dargestellten Literatur. Die Erstellung des integrierten Lebenszyklusmodells wird in Kapitel 3.2 anhand dreier Schritte abgeleitet. Aufgrund der Tatsache, dass die existierenden sachleistungsbezogenen Lebenszyklusmodelle an sich nicht dem oben geforderten Detaillierungsgrad sowie den genannten darstellungsbezogenen Anforderungen genügen, wird zunächst ein sachleistungsbezogenes Lebenszyklusmodell abgeleitet. Daran anschließend, aber nicht direkt an das sachleistungsbezogene Lebenszyklusmodell gekoppelt, wird ein Modell des Dienstleistungslebenszyklus erstellt. Darauf aufbauend erfolgt die Verheiratung der beiden Modelle unter Berücksichtigung bestehender Lebenszyklusmodelle im Bereich der Leistungsbündel sowie weiterer Aspekte, welche im Sinne einer integrierten Sach- und Dienstleistungskombination Eingang finden sollten. Die Erweiterung des Lebenszyklusmodells hinsichtlich der Berücksichtigung mechatronischer Produkte als Bestandteil des Leistungsbündels wird angedeutet, auf eine spezifische Ausarbeitung des Modells wird an dieser Stelle aufgrund der weitgehenden Übertragbarkeit der Phasen des Sachleistungslebenszyklus auf mechatronische Bestandteile verzichtet. Neben der literaturbasierten Herangehensweise wurden Zwischenstände der erarbeiteten Modelle in Expertengesprächen mit Mitarbeitern des Sonderforschungsbereichs 768 sowie Industrievertretern in verschiedenen Branchen reflektiert. Die relevanten Expertengespräche in der Industrie wurden mit Personen in leitender Funktion in der Produktplanung und -entwicklung in sieben verschiedenen Unternehmen durchgeführt (siehe Anhang 8.3).

3.2 Integrierter Leistungsbündellebenszyklus

Nachdem die Rahmenbedingungen zur Erstellung des Lebenszyklusmodells von Leistungsbündeln erläutert sind, wird dieses nun in Kapitel 3.2 vorgestellt. Darauf basierend findet in Kapitel 3.3 die Reflexion generischer Abhängigkeiten im Lebenszyklus statt. Bevor das Lebenszyklusmodell von Leistungsbündeln vorgestellt wird, werden schrittweise die produkt- und dienstleistungsbezogenen Einzelbestandteile des Modells dargestellt.

3.2.1 Produktlebenszyklus

Das Modell des **Produktlebenszyklus** umfasst neben den Zuständen (Status), welche das Produkt durchläuft, auch die jeweiligen Operationen, die zu den entsprechenden Zuständen führen (z. B. Operation der Fertigung führt zu Produktkomponenten und Modulen). Die Verwendung eines solchen Lebenszyklusmodells in der Planung erlaubt eine differenziertere Auseinandersetzung mit Potenzialen und Rahmenbedingungen, welche mit dem Produkt selbst und den einhergehenden Handlungen am Produkt verbunden sind.

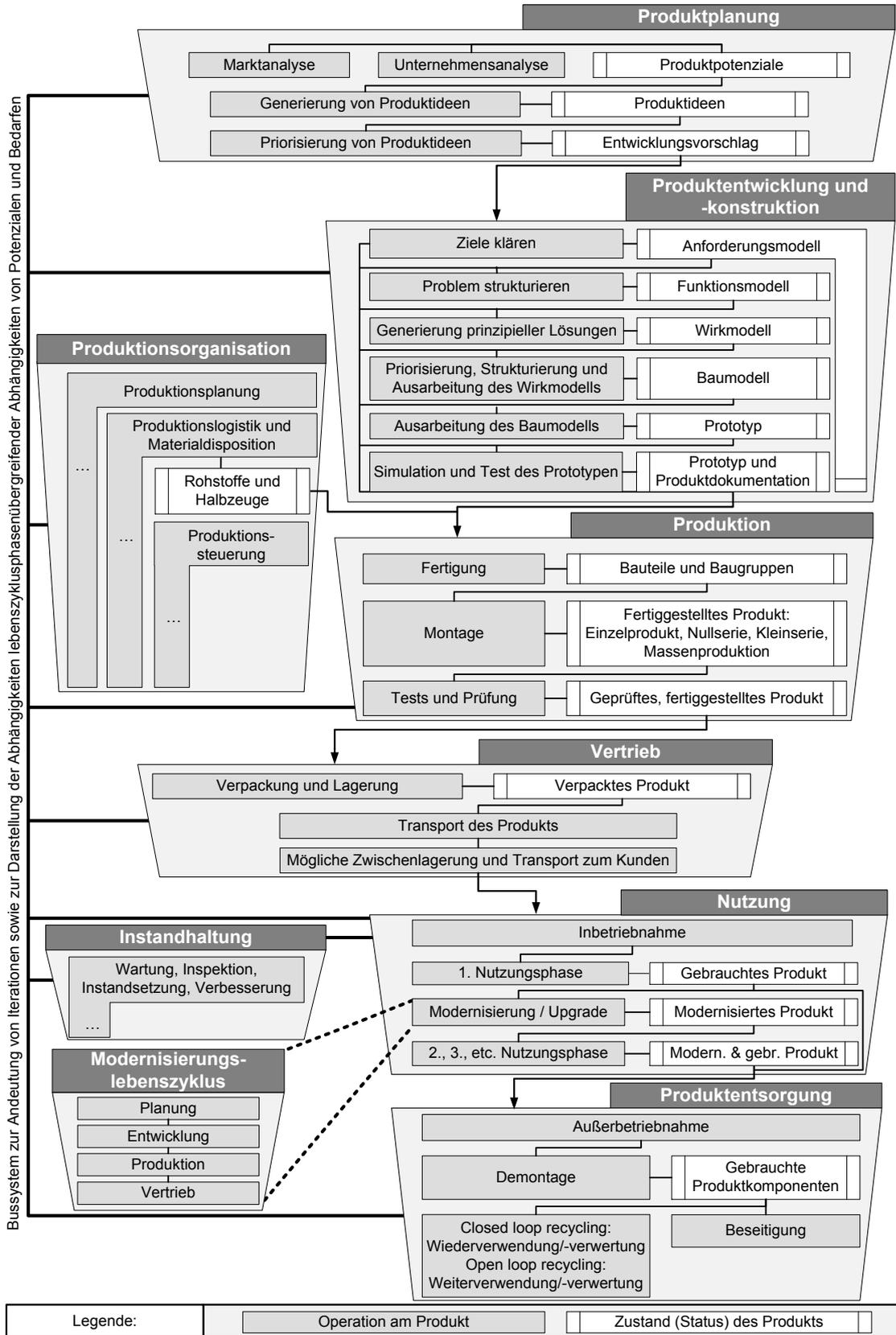


Bild 3-1: Modell des Produktlebenszyklus (in Anlehnung an HEPERLE et al. 2009)

Das in Bild 3-1 dargestellte Lebenszyklusmodell umfasst insgesamt **neun übergeordnete Phasen**, welche in einzelne Subphasen unterteilt sind. Neben den Phasen der Produktentstehung von der Planung über die Entwicklung bis hin zur Produktion werden auch die Nutzung, nutzungsbegleitende Phasen sowie das End-of-life berücksichtigt. Insgesamt umfasst das gezeigte Modell **32 Operationen und 18 Zustände** des Produkts entlang des Lebenszyklus. Ziel ist die Darstellung zu berücksichtigender Phasen und weniger das Zusammenspiel der Phasen auf feingranularer Ebene. Nichtsdestotrotz ist zur Veranschaulichung der grundsätzlichen Abfolge der Phasen die Reihenfolge beim Durchlauf der Phasen sequenziell angedeutet. Zudem ist durch das am linken Bildrand angedeutete Bussystem dargestellt, dass produktrelevante Informationen bezüglich der einzelnen Phasen zum einen nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind, zum anderen aber auch **Iterationen** beim Durchlauf des Lebenszyklus möglich sind. In den folgenden Absätzen wird nun dargelegt, wie sich das Modell im Detail strukturiert.

Das Modell stellt zunächst die Phase der **Produktplanung** dar. Unter Produktplanung wird nach ULRICH & EPPINGER 2004 die Aufgabe der Festlegung darauf, welche Produkte zu welchem Zeitpunkt von einem Unternehmen auf den Markt gebracht werden sollen, verstanden. Zur Repräsentation der Phase der Produktplanung wird im Modell insbesondere auf den bei BRAUN et al. 2004 und in der VDI-Richtlinie 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993) vermittelten Ansätzen aufgebaut. Zudem wird auf die VDI-Richtlinie 2220 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1980) zurückgegriffen, welche sich mit dem Durchlauf, Begrifflichkeiten sowie der Organisation in der Produktplanung auseinandersetzt. Somit werden zunächst Produktpotenziale auf Basis der Markt-/Umfeldpotenziale abgeleitet und in der Folge bzw. einhergehend Produktideen generiert. Diese gilt es im Anschluss gegenüberzustellen und zu priorisieren, um letztendlich einen Entwicklungsvorschlag, der sich beispielsweise in Form eines ersten Lastenhefts niederschlägt, an die Phase der Produktentwicklung zu übergeben.

Die Untergliederung der Phase der **Entwicklung und Konstruktion** lehnt sich dann insbesondere am Münchner Produktkonkretisierungsmodell nach PONN & LINDEMANN 2011 an, wobei zusätzliche Aspekte durch die VDI-Richtlinie 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993) sowie HUNDAL 2002 eingebracht sind. Während die Anforderungen basierend auf dem Entwicklungsvorschlag zunächst identifiziert und im Folgenden entlang des Entwicklungsprozesses kontinuierlich gepflegt und aktualisiert werden, wird das Produkt zunehmend anhand der Produktfunktionen, der Wirkelemente sowie der Bauteile und ihrer jeweiligen Struktur detailliert, bevor das Produkt prototypisch erstellt und getestet werden kann. Im Modell ist damit ein Standarddurchlauf dargelegt, wobei – wie auch für das gesamte Lebenszyklusmodell zu betonen ist – Iterationen und Sprünge im Modell durchaus möglich sind.

Ein Produkt durchläuft nach der Entwicklung und Konstruktion die Phase der **Produktion**. Zur Darstellung produktionsvorbereitender und -planender Maßnahmen ist im Lebenszyklusmodell die übergeordnete Phase der **Produktionsorganisation** gesondert angesprochen. Hierbei sind in Anlehnung an ARNOLD et al. 2011, GAUSEMEIER et al. 2006a und VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2008 unterschiedliche Schritte vorgesehen. Diese sind sehr stark mit den eigentlichen Operationen in der Produktion vernetzt, weshalb die Schritte der Produktionsorganisation parallel zur Produktion dargestellt sind. Schritte, die physisch vom Produkt in seiner Entstehung durchlaufen werden, sind in der Produktion dargestellt. Die Produktion

wird basierend auf EHRENSPIEL 2009, GAUSEMEIER et al. 2006a und CONRAD 2010 (S. 23) auf die Schritte der Fertigung, Montage sowie der Qualitätsüberprüfung heruntergebrochen. Eine weitere Differenzierung hinsichtlich verschiedener Fertigungs- und Montageschritte macht aufgrund der unterschiedlichen möglichen Fertigungstechnologien und einhergehenden Fertigungsketten keinen Sinn, können aber beispielsweise basierend auf der DIN 8580 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2003a) weiter heruntergebrochen werden. Nachdem sich die Produktion in ihrem Ablauf und den eingesetzten Produktionstechnologien sehr stark in Abhängigkeit davon unterscheiden kann, ob es sich beispielsweise um die Produktion eines Einzelprodukts oder eines Produkts als Bestandteil einer Massenproduktion handelt, ist dieser Aspekt im Lebenszyklusmodell gesondert angeführt.

Der Schritt des Verpackens könnte gleichermaßen als Produktionsschritt oder als Vertriebsschritt gesehen werden. Im Lebenszyklus ist der Schritt des Verpackens sowie des Lagerns der übergeordneten Lebenszyklusphase des **Vertriebs** zugeordnet. An den Schritt der Lagerung schließt der Transport des Produkts an, wobei dieser wiederum durch eine mögliche Zwischenlagerung (z. B. bei einem Vertriebspartner) gefolgt werden kann, bevor das Produkt zum Kunden gelangt. Diese bezüglich des Vertriebs identifizierten Schritte lassen sich beispielsweise basierend auf KLEINALTENKAMP & SAAB 2009 ableiten.

Eine der wesentlichen Phasen des Produktlebenszyklus stellt die **Nutzung** dar. Hierbei ist hervorzuheben, dass verschiedene aufeinander folgende Nutzungsperioden (auch durch unterschiedliche Nutzer) denkbar sind (ULLMAN 2003, NIEMANN et al. 2009). In diesem Zusammenhang sind Ansätze zum Upgrade und zur **Modernisierung**, wie sie beispielsweise MÖRTL 2002 im Sinne eines End-of-life orientierten Herangehens betrachtet hat, zu berücksichtigen. Die Nutzungsphase wird zudem von der **Instandhaltung** des Produkts begleitet. Hierbei werden in der DIN 31051 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2003b) die Instandhaltungsmaßnahmen der Wartung, der Inspektion, der Instandsetzung sowie der Verbesserung unterschieden. Nach der Nutzungsphase werden im Lebenszyklusmodell abschließend noch weitere Schritte bezüglich der **Produktentsorgung bzw. des -recyclings** berücksichtigt. Nach der Außerbetriebnahme (gegebenenfalls inklusive des Transports des Produkts – siehe EHRENSPIEL 2009) findet die Demontage in Produktkomponenten und -baugruppen statt. Im Anschluss erfolgt die Entsorgung bzw. das Recycling der gegebenenfalls demontierten Produkt Elemente. Für das Recycling kann hier zwischen geschlossenen (Wiederverwendung/-verwertung) und offenen Recyclingkreisläufen (Weiterverwendung/-verwertung) unterschieden werden (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2002; STENGEL & SCHIEBL 2006).

Das dargestellte Lebenszyklusmodell erlaubt somit einen **detaillierten Überblick** über die **einzelnen Phasen des Produktlebens**, wobei im realen Durchlauf einzelne Phasen hinsichtlich produkt- und unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen weggelassen bzw. hinzugekommen werden können. Dies gilt auch für das im Folgenden dargestellte Lebenszyklusmodell von Dienstleistungen, welches mit dem Ziel verbunden ist, wesentliche Phasen der Entwicklung und Erbringung von Dienstleistungen literaturbasiert aufzuzeigen. Vor diesem Hintergrund wurde auf die differenzierte Betrachtung und Darstellung von Iterationen sowie der Parallelisierung von Schritten innerhalb des Durchlaufs wie beispielsweise im Drei-Zyklen-Modell der Produktentstehung nach GAUSEMEIER et al. 2006a wiederum bewusst verzichtet.

3.2.2 Dienstleistungslebenszyklus

Der **Dienstleistungslebenszyklus** umfasst die übergeordneten Phasen der Planung, Entwicklung, Erbringungsvorbereitung, Erbringung und Auflösung. Angelehnt an HEPERLE et al. 2010c stellt Bild 3-2 das insbesondere auf Basis der Arbeiten nach MEIREN & BARTH 2002, RAMASWAMY 1996, CERNAVIN et al. 2007, KRALLMANN & HOFFRICHTER 1998 sowie SCHNEIDER & SCHEER 2003 abgeleitete Modell des Dienstleistungslebenszyklus dar. Wie bereits beim Modell des Produktlebenszyklus wird zwischen dem fortschreitenden Zustand der Dienstleistung sowie den dafür jeweils vorgenommenen Operationen bezüglich der Dienstleistung unterschieden. Diese Unterscheidung soll es ermöglichen, Rahmenbedingungen und Potenziale hinsichtlich des Durchlaufs der Dienstleistung differenzierter zu hinterfragen.

Aufgrund der Heterogenität von Dienstleistungen stellt sich das Modell abstrakter dar als das zuvor abgeleitete Modell des Produktlebenszyklus. Dennoch werden **15 Operationen und zwölf Zustände im Modell** berücksichtigt. Diese sind im Folgenden u. a. in Anlehnung an PRODUKTENTWICKLUNG 2009a beschrieben.

Die **Dienstleistungsplanung** beginnt mit der Phase der **Bedarfs- und Potenzialermittlung**. Hierbei werden auf der einen Seite Kundenbedarfe und auf der anderen Seite neue Dienstleistungsmöglichkeiten und Rahmenbedingungen identifiziert. Darauf basierend gilt es, **Dienstleistungsideen** zu generieren. MEIREN & BARTH 2002 gehen in ihrem Ansatz sehr intensiv auf diesen Punkt ein, während andere Modelle wie nach RAMASWAMY 1996 einen derartigen Punkt nicht explizit artikulieren. Anschließend erfolgt die **Priorisierung** der Ideen. Kriterien können hierbei nach MEIREN & BARTH 2002 beispielsweise die Machbarkeit, das Marktpotenzial, die Strategiekonformität, die Vermarktbarkeit, die Wettbewerbsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit sein. Am Ende der Dienstleistungsplanung liegt somit eine auf Basis der vorangegangenen Ideenbewertung vielversprechende Dienstleistungsidee vor, welche in Bild 3-2 mit dem Status „Entwicklungsvorschlag für Dienstleistung“ gekennzeichnet ist.

Gefolgt wird die Dienstleistungsplanung durch die **Dienstleistungsentwicklung**. Diese startet mit der **Anforderungsdefinition**, welche auf den in der Planung ermittelten Bedarfen aufbaut. In Anlehnung an RAMASWAMY 1996 sowie CERNAVIN et al. 2007 werden darauf basierend **Dienstleistungskonzepte entworfen sowie bewertet** und anschließend im Detail entwickelt. Die Konzepte umfassen nach CERNAVIN et al. 2007 wesentliche Bestandteile und Spezifikationen der Dienstleistungselemente. Die detaillierte Ausgestaltung der Dienstleistung, beispielsweise im Rahmen von Arbeitsanweisungen oder Hilfestellungen für Berater, findet nach CERNAVIN et al. 2007 im Schritt des **Dienstleistungsdesigns** statt. Bei MEIREN & BARTH 2002 adressiert die Konzeptphase sowohl das Konzept als auch das detaillierte Design der Dienstleistung. Sie heben hervor, dass in dieser Phase zum einen beschrieben sein soll, was eine Dienstleistung leistet (dies wird im sogenannten Produktmodell dokumentiert) und wie die gewünschten Ergebnisse der Dienstleistung zustande kommen (dies wird im sogenannten Prozessmodell dokumentiert). Weiterhin schlagen MEIREN & BARTH 2002 vor, in der Konzeptphase ein entsprechendes Ressourcenmodell aufzubauen. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen SCHNEIDER & SCHEER 2003, welche ebenfalls ein Produkt-, ein Prozess- sowie ein Ressourcenmodell erstellen. Darüber hinaus wird sowohl bei SCHNEIDER & SCHEER 2003 als auch bei MEIREN & BARTH 2002 die Bedeutung eines Marketingkonzepts herausgestellt.

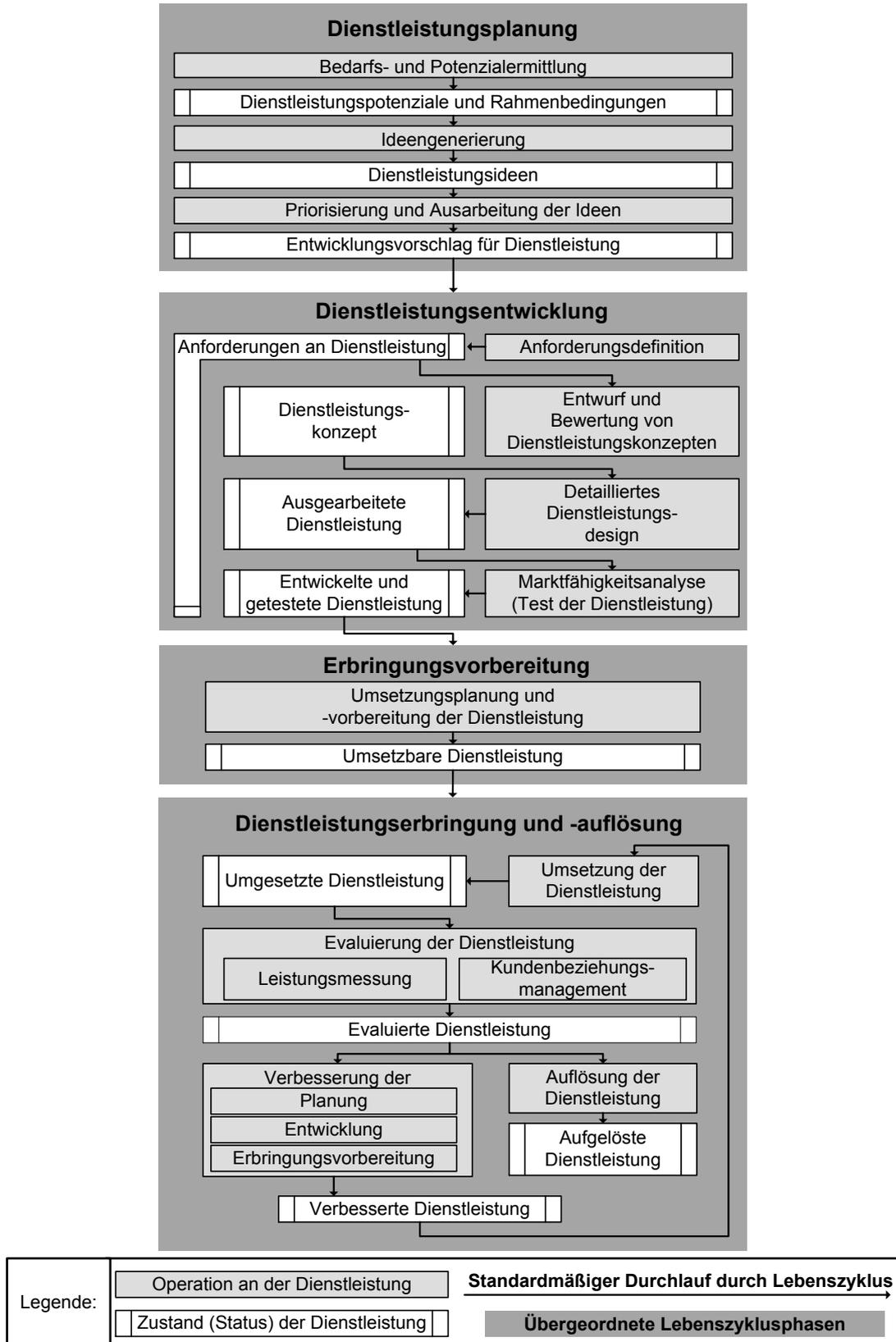


Bild 3-2: Modell des Dienstleistungslebenszyklus (in Anlehnung an HEPERLE et al. 2010c)

Bevor die Entwicklung als abgeschlossen gesehen werden kann, stehen noch Tests der Dienstleistung bezüglich ihrer **Marktfähigkeit** an. Dies soll nach KRALLMANN & HOFFRICHTER 1998 unter Berücksichtigung von Kundenbefragungen sowie Workshops bewerkstelligt werden. An dieser Stelle ist wiederum hervorzuheben, dass es innerhalb der Dienstleistungsentwicklung zu Iterationen bei der Durchführung der Schritte kommen kann, was im Lebenszyklusmodell nicht explizit dargestellt ist. Zudem kann es je nach Dienstleistung sinnvoll sein, Kunden nicht erst nach dem detaillierten Dienstleistungsdesign aktiv einzubinden, sondern diese schon in die Konzeption zur Entwicklung und zur Evaluierung zu integrieren.

Der nächste übergeordnete Schritt im Lebenszyklusmodell setzt sich mit der **Erbringungsvorbereitung** auseinander. Insbesondere der basierend auf dem Ansatz nach CERNAVIN et al. 2007 vorgesehene Schritt der Umsetzungsplanung ist hierbei zu berücksichtigen. Bevor die Dienstleistung tatsächlich am Markt umgesetzt werden kann, sind für die Erbringung der Dienstleistung notwendige **Ressourcen vorzubereiten**. So gilt es beispielsweise die Mitarbeiter, welche die Dienstleistung durchführen, zu schulen. Auch gegebenenfalls benötigte IT-Infrastruktur für das Angebot von IT-Dienstleistungen muss zu diesem Zeitpunkt ausgearbeitet werden (KRALLMANN & HOFFRICHTER 1998). MEIREN & BARTH 2002 sprechen diesen Punkt ebenfalls an und bezeichnen diesen als Implementierung der Dienstleistung.

Die letzte übergeordnete Phase setzt sich mit der **Dienstleistungserbringung** beim Kunden sowie der **Auflösung der Dienstleistung** auseinander. Die **Umsetzung der Dienstleistung** (CERNAVIN et al. 2007) umfasst dabei zum einen, dass die Dienstleistung am Markt angeboten wird und zum anderen, dass die zur Erbringung der Dienstleistung notwendigen Aktivitäten durchgeführt werden. Dies kommt der Markteinführung der Dienstleistung nach MEIREN & BARTH 2002 gleich. In Anlehnung an SCHNEIDER & SCHEER 2003 gilt es an dieser Stelle, die in der Entwicklungsphase erarbeiteten Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodelle umzusetzen. Parallel zur Umsetzung der **Dienstleistung** gilt es diese zu **evaluieren**, um daraus Schlüsse für die Weiterentwicklung bzw. Verbesserung der Dienstleistungen zu ziehen. Hierbei wird nach CERNAVIN et al. 2007 zwischen den ineinandergreifenden Bausteinen Leistungsmessung und Kundenbeziehungsmanagement unterschieden. Die Leistungsmessung adressiert beispielsweise die Wirkung der Dienstleistung sowie Fehler und Probleme bei der Umsetzung. In diesem Zusammenhang sprechen SCHNEIDER & SCHEER 2003 auch das Dienstleistungscontrolling an. Im Bereich des Kundenbeziehungsmanagements wird die Reflexion und Dokumentation der Kundenzufriedenheit durch Kommunikation mit den Dienstleistungsempfängern verfolgt, um eine langfristige und profitable Beziehung zu diesen zu etablieren – was beispielsweise im Rahmen eines Beschwerdemanagements angegangen werden kann (SCHNEIDER & SCHEER 2003).

Die im Rahmen der Dienstleistungsevaluierung erarbeiteten Informationen dienen im Anschluss dazu, **die Dienstleistung zu verbessern und weiterzuentwickeln**. Dafür werden die einzelnen Schritte der **Planung, Entwicklung sowie der Erbringungsvorbereitung** bei Bedarf erneut durchlaufen, bevor die verbesserte Dienstleistung erbracht werden kann. Als weitere Möglichkeit besteht bei einer nicht mehr weiter zu verfolgenden **Dienstleistung**, diese **aufzulösen** und künftig nicht mehr anzubieten.

3.2.3 Leistungsbündellebenszyklus

Nachdem der Dienstleistungslebenszyklus vorgestellt ist, gilt es im nächsten Schritt diesen mit dem zuvor erstellten Produktlebenszyklus in einem Modell des **Leistungsbündellebenszyklus** zu aggregieren. Hierbei besteht die Herausforderung darin, zum einen eine sach- und dienstleistungsintegrierende Perspektive einzunehmen und zum anderen die Phasen, welche disziplinspezifisch durchlaufen werden, herauszustellen. Vor diesem Hintergrund zeigt das in Bild 3-3 dargestellte Modell einen zentralen Strang, welcher die Grundschritte sowie die integriert zu durchlaufenden Phasen darstellt. Disziplinspezifisch zu durchlaufende Phasen werden dagegen durch einen Produkt- und einen Dienstleistungsstrang dargestellt, welche den im zentralen Strang dargelegten Grundschritten des Leistungsbündels zugeordnet sind. Neben den genannten Dimensionen besteht der Leistungsbündellebenszyklus aus den **drei grobgranularen Phasen der „Planung“, der „Entwicklung“ sowie der „Produktion, Erbringung und Nutzung, Auflösung“**. Während insbesondere in der Planung ein sach- und dienstleistungsintegrierender Ansatz verfolgt wird, steht in den weiteren Phasen eine eng aufeinander abgestimmte, disziplinspezifische Phasendarstellung im Vordergrund.

Nachdem im abgebildeten Modell ein Großteil der Phasen bereits im Rahmen der Vorstellung des Produkt- bzw. des Dienstleistungslebenszyklus erläutert ist, wird im Folgenden nur noch auf spezifische Aspekte des Leistungsbündellebenszyklus eingegangen. Die **Potenzialanalyse sowie die Ideengenerierung** und die Ableitung eines Entwicklungsvorschlags werden für das **gesamte Leistungsbündel integriert** durchlaufen. Dies soll ein aufeinander abgestimmtes Sach- und Dienstleistungsbündel zur Folge haben, welches anschließend in der Entwicklung von den einzelnen Fachdisziplinen ausgearbeitet werden kann.

Einen besonderen Schritt stellt beim Übergang zwischen der Planung zur Entwicklung die Phase der **Entwicklungsvorbereitung** dar. Hierbei gilt es, den Entwicklungsvorschlag so zu transportieren, dass die für die Sach- und Dienstleistungsentwicklung zuständigen Stellen ihre Verantwortlichkeiten kennen und entsprechend die für ihre Leistungsbündelteile verantworteten Anforderungsbereiche ausarbeiten. Damit diese Konkretisierung und die im Laufe der Entwicklung stattfindende Aktualisierung der Anforderungen nicht aneinander vorbeilaufen, ist es notwendig, die geänderten **Anforderungen zu kommunizieren** (dargestellt durch Box zur Kommunikation), so dass unerwünschte Änderungsfolgen zwischen Sach- und Dienstleistungsentwicklung frühzeitig ausgeschlossen werden können. Nach der Gestaltung der Sach- sowie der Dienstleistung in der Entwicklung ist es von Bedeutung, die **Sach- und Dienstleistungskombination als gesamtes Leistungsbündel zu testen**. Verläuft diese Prüfung positiv, so können die Sachleistungsanteile in die Produktion sowie die Dienstleistungsanteile in die Erbringungsvorbereitung übergehen. Im Anschluss an die Produktion sowie Erbringungsvorbereitung ist das Leistungsbündel vertriebsfähig, d. h. die Dienstleistung ist umsetzbar und die Sachleistung auslieferbar. Der tatsächliche Verkaufsvorgang des Leistungsbündels bleibt im Lebenszyklusmodell unberücksichtigt, da dieser Schritt im Falle einer Auftragsentwicklung schon vor der Entwicklung, im Falle eines Konsumguts dagegen häufig erst beim Übergang des Leistungsbündels an den Kunden stattfindet. Die Dienstleistungserbringung durchläuft dann wiederum die bereits im Modell des Dienstleistungslebenszyklus vorgestellten Phasen, während die Sachleistung ebenfalls die bereits dargelegten disziplinspezifischen Phasen durchläuft.

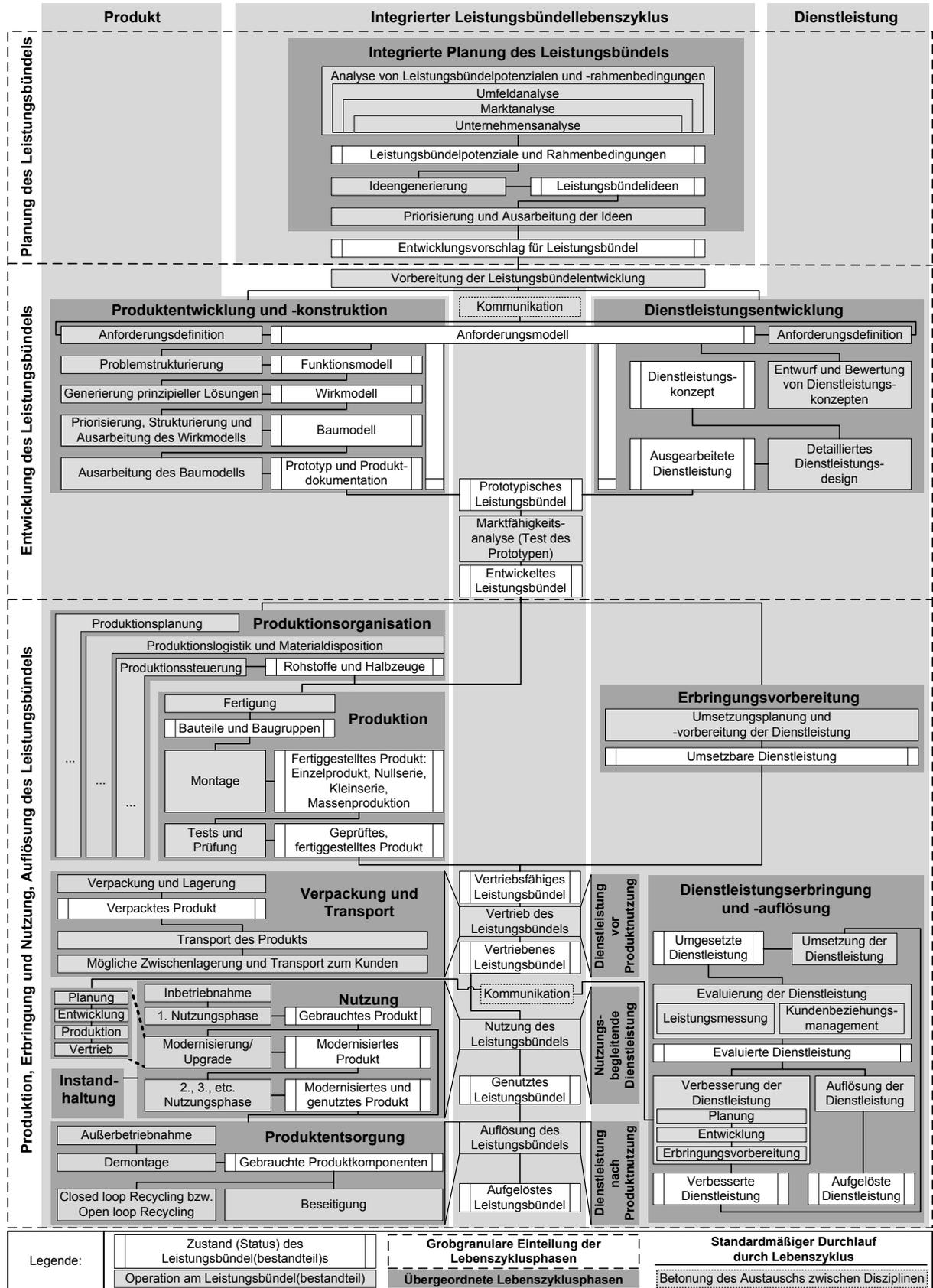


Bild 3-3: Modell des integrierten Leistungsbündellebenszyklus (in Anlehnung an HEPERLE et al. 2010c)

Hierbei ist jedoch von Interesse, dass die im Leistungsbündel vorgesehene Dienstleistung an verschiedenen Stellen im Produktlebenszyklus eintreten kann. So wird im gezeigten Lebenszyklusmodell in Anlehnung an KNACKSTEDT et al. 2008 sowie PRODUKTENTWICKLUNG 2009a zwischen **Dienstleistung vor Produktnutzung**, **Nutzungsbegleitende Dienstleistung** sowie **Dienstleistung nach Produktnutzung** differenziert. Vereinfacht sind die Dienstleistungen vor Produktnutzung dem Vertrieb zugeordnet, wobei diese Dienstleistungen auch schon parallel zu den Phasen der Produktplanung, Produktentwicklung und Produktion stattfinden können. Nach HARTEL 2004 können vornutzungsphasenbegleitende Dienstleistungen beispielsweise in der Problemanalyse durch Tests/Experimente bestehen, aber auch die Lieferung des Produkts sowie ein zeitweise überlassenes Testgerät können Ausprägungen einer Dienstleistung vor der eigentlichen Produktnutzung sein. Nutzungsbegleitende Dienstleistungen stellen nach HARTEL 2004 beispielsweise die Unterstützung der Inbetriebnahme oder die Finanzierung des Produkts dar. Zudem können die Instandhaltung unterstützende Maßnahmen diesem Bereich an Dienstleistungen zugeordnet werden. Im Bereich der nachnutzungsorientierten Dienstleistungen können die Abholung des Produkts wie auch Recycling- oder Remarketingmaßnahmen als Dienstleistungen angeboten werden (KNACKSTEDT et al. 2008). Weiterhin gibt es nach HARTEL 2004 auch **Dienstleistungen**, welche **über die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus** hinweg angeboten werden können. Dies betrifft beispielsweise Telefon-Hotlines oder andere Beratungsdienstleistungen. Die genannten Beispiele an Dienstleistungen entlang aller Produktlebenszyklusphasen stellen nur einen Auszug der unzähligen Dienstleistungsmöglichkeiten dar, welche in der Literatur hinterlegt sind.

Das vorgestellte, literaturbasiert aggregierte Lebenszyklusmodell legt somit die grundlegenden Lebenszyklusphasen von Leistungsbündeln dar. Hierbei stehen Sach- und Dienstleistungen gleichermaßen im Vordergrund. Auf eine weitere Differenzierung des Modells hinsichtlich **mechatronischer Produkte** und in diesem Kontext zu berücksichtigender IT-bezogener Hardware- und Softwareelemente wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Eine solche Erweiterung wird beispielsweise in PRODUKTENTWICKLUNG 2010c diskutiert und durchgeführt, wobei die wesentlichen Phasen hinsichtlich der Entwicklung und Produktion und Nutzung mechatronischer Produkte in den bereits vorliegenden Modellen grundsätzlich verankert sind. Das **Modell des Lebenszyklus vermittelt ein Lebenszyklusverständnis**, welches die Planung in der Identifikation und Analyse von Rahmenbedingungen und Potenzialen zukünftiger Leistungsbündel unterstützen kann. Die sequenziell geprägten Modelle erlauben insbesondere einen **Überblick über die zahlreichen Operationen** am Leistungsbündel und über die **Zustände**, welche das Leistungsbündel von der Planung bis hin zur Auflösung durchläuft. Wechselwirkungen zwischen den Lebenszyklusphasen aufgrund der mit den jeweiligen Phasen einhergehenden Rahmenbedingungen sind im Modell noch nicht dargelegt. Ein vertieftes Verständnis über diese Wechselwirkungen sowie ein darauf basierendes Systemverständnis zukünftig zu erbringender Leistungsbündel ist zur Vorbeugung von Änderungen entlang des Lebenszyklus erstrebenswert. Dieser Aspekt wird im Folgenden aus verschiedenen Blickwinkeln näher beleuchtet.

3.3 Generische, lebenszyklusphasenbezogene Abhängigkeiten

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ein Lebenszyklusmodell aufgezeigt, welches insbesondere die einzelnen Phasen, welche ein Leistungsbündel von der Planung bis zur Auflösung durchläuft, artikuliert. Hierbei wurde schon die Relevanz hervorgehoben, die Phasen nicht unabhängig voneinander zu betrachten, sondern deren Zusammenhänge zu durchdringen. Dies ermöglicht eine gezieltere und systematischere Priorisierung der in der Planung zu berücksichtigenden Informationen. Wird die Produktplanung dahingehend durch entsprechenden Methodeneinsatz unterstützt, so können zuvor **intransparente Zusammenhänge** der Rahmenbedingungen und Potenziale entlang des Lebenszyklus schon frühzeitig **aufeinander abgestimmt** werden.

Ein Zusammenhang der Lebenszyklusphasen kann sich dadurch ergeben, dass bestimmte Betrachtungsgegenstände (z. B. Gestaltungsrichtlinien, Leistungsbündeleigenschaften, Personen) einen Bezug zu mehreren Lebenszyklusphasen aufweisen und sich in der Konsequenz eine indirekte Abhängigkeit zwischen den Phasen darstellt. Hierbei gilt es **Ansätze zu entwickeln**, die diese **Zusammenhänge darlegen** und einen Rückschluss darauf zulassen, **welche Phasen schon in der Planung fokussiert werden** sollten, um eine für den gesamten Lebenszyklus zufriedenstellende Zusammenstellung von Leistungsbündeleigenschaften zu erhalten. Vor diesem Hintergrund ist es Ziel des Kapitels 3.3, generische Abhängigkeiten zwischen den Phasen zu identifizieren. Generisch bedeutet dabei, dass die identifizierten Abhängigkeiten nicht nur auf ein bestimmtes Produkt angewendet werden können, sondern dass diese unabhängig vom jeweiligen spezifischen Planungskontext berücksichtigt werden können.

In diesem Zusammenhang bietet sich die lebenszyklusorientierte Analyse von branchen- und produktunabhängigen Gestaltungsrichtlinien, sogenannter **Design for X-Richtlinien** an (siehe Kapitel 2.1.1). Viele dieser Richtlinien verweisen direkt auf bestimmte Lebenszyklusphasen (X = Recycling, Production, etc.). Andere Design for X-Richtlinien adressieren dagegen innerhalb einer Richtlinie verschiedenste Lebenszyklusphasen (z. B. Design for Cost oder Eco-Design-Richtlinien). Somit eignen sich Design for X-Richtlinien sehr gut für eine derartige Analyse generischer Abhängigkeiten zwischen den Lebenszyklusphasen.

Zum einen stellt sich nun die Frage, wie die Lebenszyklusphasen miteinander in Bezug stehen. Für einen Planer könnte ein Nutzen daraus sein, die richtigen **Stakeholder entlang des Lebenszyklus** aufgrund der Vernetzung der durch sie verantworteten Lebenszyklusphasen bereits in die Planung einzubeziehen. Zum anderen ist von Interesse, wie verschiedene, die unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus berücksichtigende Gestaltungsrichtlinien im Zusammenhang stehen. Nur so lässt sich ableiten, **welche Gestaltungsrichtlinien frühzeitig** im Innovationsprozess aufgrund ihrer Vernetzung **berücksichtigt werden sollten**.

Im Folgenden werden **zwei verschiedene strukturbasierte Ansätze** vorgestellt, wie generische lebenszyklusbezogene Abhängigkeiten ermittelt und hinterfragt werden können. Im **ersten Fall** liegt der Fokus auf der Analyse einer den gesamten Lebenszyklus betreffenden **Eco-Design Richtlinie**. Diese Richtlinie stellt verschiedene Handlungshinweise für die ökologisch nachhaltige Gestaltung, Umsetzung und Anwendung des Produkts in den verschiedenen Lebenszyklusphasen zur Verfügung. Es wird aufgezeigt, welche planungsrelevanten Systemzusammenhänge aufgrund der Verfolgung einer den gesamten Lebenszyklus betreffenden Ziel-

setzung (in diesem Fall ökologische Nachhaltigkeit) auftreten können. Im **zweiten Fall** werden **verschiedene DFX-Richtlinien**, welche wiederum unterschiedliche Lebenszyklusphasen adressieren, hinsichtlich lebenszyklusbezogener Abhängigkeiten analysiert. Dieses Vorgehen zeigt auf, welche Schwerpunkte in der Planung aufgrund zahlreicher zu verfolgender, lebenszyklusbezogener Zielsetzungen vom Planer gesetzt werden sollten, um eine lebenszyklusorientierte Produktgestaltung frühzeitig anzugehen. Zur Vorstellung der verschiedenen Ansätze werden aufgrund der überwiegenden Sachleistungsorientierung von DFX-Richtlinien insbesondere produktseitige Wechselwirkungen untersucht, während Dienstleistungsaspekte eine untergeordnete Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund geht auch das vereinfachte, in Kapitel 3.2.1 vorgestellte Modell des Produktlebenszyklus in die Analysen ein.

3.3.1 Abhängigkeiten auf Basis einer Eco-Design-Richtlinie

Zur Identifikation generischer Wechselwirkungen zwischen Lebenszyklusphasen – aufgrund ihrer gegenseitigen Beeinflussung durch die Anwendung einer DFX-Richtlinie – wird im Folgenden eine **Eco-Design-Richtlinie** analysiert. Es wird auf eine Eco-Design-Richtlinie zurückgegriffen, welche an der Sapienza Universität in Rom entstanden ist (TRONCI et al. 2009, FARGNOLI et al. 2010). Diese umfasst eine Checkliste (siehe Anhang 8.4), die beispielhaft darlegt, welche **35 Maßnahmen entlang des Lebenszyklus** ergriffen werden können, um eine ökologisch nachhaltige Produktentstehung und -nutzung zu gewährleisten. Die Checkliste unterscheidet in Anlehnung an TRONCI et al. 2009 (S. 33) sowie FARGNOLI et al. 2010 folgende sieben Kategorien, welchen jeweils einzelne Maßnahmen zugeordnet werden:

- Auswahl von Materialien mit geringen ökologischen Auswirkungen,
- Reduzierung des Materialverbrauchs,
- Verbesserung der Produktionstechnologien,
- Verbesserung der Vertriebstechnologien,
- Reduzierung des Umwelteinflusses während der Nutzung,
- Verbesserung der Nutzungsphase,
- Verbesserung des End-of-Life-Managements.

Zur Identifikation von Wechselwirkungen der im vereinfachten Produktlebenszyklusmodell hinterlegten Phasen wird ein **strukturbasierter Ansatz** unter Einsatz einer **Multiple-Domain-Matrix (MDM)** verfolgt. Da im ersten Schritt nicht detaillierte quantifizierte Abhängigkeiten, sondern ein grundlegendes Verständnis generischer Abhängigkeiten verfolgt wird, bietet sich die Anwendung eines strukturbasierten Ansatzes an.

Hierbei werden die **indirekten Verknüpfungen der Lebenszyklusphasen** aufgrund ihrer jeweiligen Beeinflussung durch die verschiedenen Eco-Design-Maßnahmen reflektiert. Der grundsätzliche Aufbau der dafür relevanten MDM ist in Bild 3-4 abgebildet. Die MDM besteht aus der DMM (Domain Mapping Matrix) A sowie ihrer Transponierten A^T zur Repräsentation der Abhängigkeiten zwischen Eco-Design-Maßnahmen und Lebenszyklusphasen. Die DSM (Design Structure Matrix) B zeigt die Abhängigkeiten der Eco-Design-Maßnahmen untereinander und die DSM M stellt die Abhängigkeiten der Lebenszyklusphasen zueinander dar. Die Identifikation der indirekten Abhängigkeiten zwischen den Lebenszyklusphasen

(DSM M) kann über die Multiplikation der dafür relevanten Matrizen in der MDM erfolgen. Bevor dies geschieht, müssen die entsprechenden Matrizen zunächst befüllt werden.

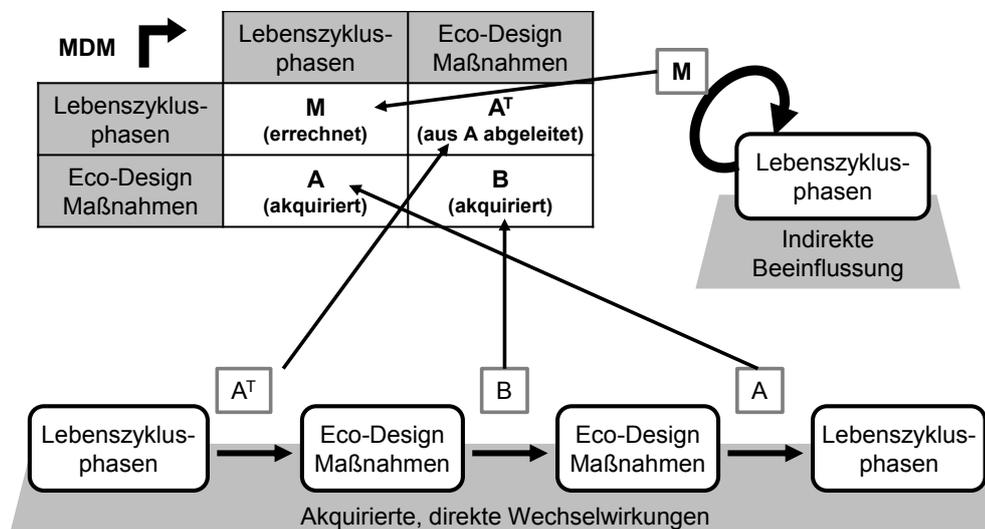


Bild 3-4: MDM zur Identifikation indirekter Abhängigkeiten zwischen Lebenszyklusphasen (in Anlehnung an HEPERLE et al. 2010a)

Relevante **Abhängigkeiten zwischen den Eco-Design-Maßnahmen und den Lebenszyklusphasen (DMM A)** basieren auf der intensiven Diskussion und Reflexion möglicher Abhängigkeiten. Diese Reflexion wurde im Team von drei fachkundigen Personen durchgeführt. Zur Erarbeitung der DMM A wird überprüft, inwieweit eine Eco-Design-Maßnahme mit einer Lebenszyklusphase aufgrund geometrischer, energetischer bzw. materialbezogener Randbedingungen zusammenhängt (siehe Anhang 8.4). So ist beispielsweise die Maßnahme „Wiederverwendbarkeit von Komponenten“ mit der Lebenszyklusphase „Fertigung“ wie auch der Phase „Wiederverwendung/-verwertung“ verbunden. In diesem Falle findet in der DMM A im entsprechenden Feld ein Eintrag über diese Verbindungen statt. Sind die Eco-Design-Maßnahme sowie die Lebenszyklusphase über verschiedene Randbedingungen (z. B. sowohl geometrisch als auch materialbezogen) miteinander verbunden, so wird dies ebenfalls gekennzeichnet. Nach Ableitung der DMM A kann die DMM A^T infolgedessen als Transponierte der DMM A ermittelt werden.

Die Informationsakquisition zur Ableitung der **Abhängigkeiten von Eco-Design-Maßnahmen untereinander (DSM B)** basiert ebenfalls auf der Reflexion und Diskussion geometrischer, energetischer und materialbezogener Zusammenhänge zwischen den Maßnahmen (siehe Anhang 8.4). So gibt es beispielsweise einen möglichen geometrischen Zusammenhang zwischen der Eco-Design-Maßnahme „Reduzierung des Produktvolumens zum Transport“ und der Maßnahme „Transportverfahren mit niedrigem Umwelteinfluss“. Die Matrizen DMM A, DMM A^T sowie DSM B erlauben die Errechnung der indirekten Abhängigkeiten (DSM M) durch Multiplikation der Matrizen. Hierbei werden sowohl die indirekten Abhängigkeiten auf Basis der Verbindung zwischen Eco-Design-Maßnahmen und Lebenszyklusphasen als auch bezüglich der Vernetzung der Eco-Design-Maßnahmen zueinander in die Berechnung einbezogen. Formel 3-1 stellt den entsprechenden Rechenweg dar.

$$M = (A^T \cdot B) \cdot A = A^T \cdot (B \cdot A)$$

Formel 3-1: Errechnung indirekter Abhängigkeiten zwischen Lebenszyklusphasen auf Basis der Eco-Design-Maßnahmen (in Anlehnung an HEPERLE et al. 2010a)

Zur **Matrixmultiplikation** werden die einzelnen Matrizen zunächst in ein dafür kompatibles Format übersetzt. Ist dabei mindestens ein geometrischer, energetischer bzw. materialbezogener Zusammenhang in einem entsprechenden Feld der Matrizen A, A^T sowie B gegeben, so wird in das jeweilige Feld eine 1 eingetragen. Besteht kein Zusammenhang, so wird das Feld mit 0 belegt. Eine Differenzierung, ob ein Zusammenhang über einen Typ von Randbedingung oder mehrere Typen besteht, findet in den mit 1 und 0 quantifizierten Feldern keine Berücksichtigung, da im Vordergrund steht, ob ein Zusammenhang zu berücksichtigen ist oder eben nicht. Durch die Multiplikation ergeben sich hinsichtlich der analysierten Eco-Design-Richtlinien in der Ziel-DSM M Werte von 0 bis 144, wobei zwischen fast allen Lebenszyklusphasen zumindest ein indirekter Zusammenhang besteht.

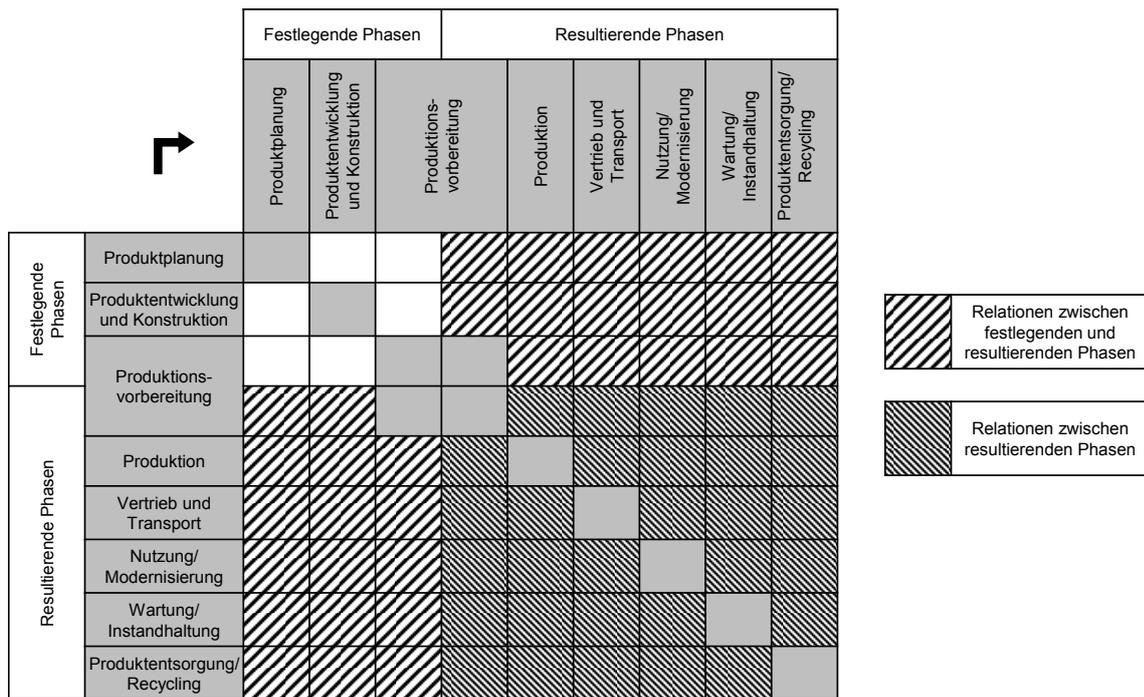


Bild 3-5: Charakterisierung der Felder der DSM M zur Auswertung der Abhängigkeiten zwischen den Lebenszyklusphasen (in Anlehnung an HEPERLE et al. 2010a)

Bei der Interpretation der Analyseergebnisse kann zwischen unterschiedlichen Arten von indirekten Abhängigkeiten unterschieden werden. Hierfür werden die Lebenszyklusphasen in „festlegende“ und „resultierende“ Phasen unterteilt (siehe Bild 3-5). „Festlegend“ heißt in diesem Zusammenhang, dass die Produkteigenschaften in den Phasen der Planung, Entwicklung und Produktionsvorbereitung im Wesentlichen festgelegt werden. „Resultierende“ Phasen dagegen adressieren den Umgang mit den festgelegten Produkteigenschaften.

		Produktions-organisation		Produktion				Vertrieb/Transport		Nutzungsphase 1			Modernisierung			Nutzungsphase 2			Wartung/Instandhaltung		Produktsorgung/Recycling				Σ							
																										Rohstoffe und Halbzeuge	Produktionssteuerung	Fertigung	Bauteile und Baugruppen	Montage	Fertiggestelltes Produkt	Tests und Prüfung
Produktplanung	Marktanalyse	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,8
	Unternehmensanalyse	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	2,3
	Produktpotenziale	0,4	0,8	0,9	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,1	0,4	0,3	0,3	0,5	0,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	12,1	
	Generierung von Produktideen	0,4	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,1	0,4	0,3	0,3	0,5	0,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	11,7	
	Produktideen	0,4	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,1	0,4	0,3	0,3	0,5	0,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	11,7	
	Priorisierung von Produktideen	0,4	0,8	1,0	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,1	0,5	0,3	0,3	0,5	0,1	0,7	0,6	0,5	0,6	0,4	0,4	13,1	
	Entwicklungsvorschlag	0,5	0,9	1,0	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,1	0,5	0,3	0,3	0,6	0,1	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	13,5	
Produktentwicklung und Konstruktion	Ziele klären	0,4	0,8	1,0	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,1	0,5	0,3	0,3	0,5	0,1	0,7	0,6	0,5	0,6	0,4	0,4	13,1	
	Anforderungsmodell	0,5	0,9	1,0	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,1	0,5	0,3	0,3	0,6	0,1	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	13,5	
	Problem strukturieren	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	1,8	
	Funktionsmodell	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	1,8	
	Generierung prinzipieller Lösungen	0,3	0,7	0,8	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,1	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	9,6	
	Wirkmodell	0,3	0,7	0,8	0,4	0,5	0,4	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,1	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	9,6	
	Ausarbeitung des Wirkmodells	0,4	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,1	0,4	0,3	0,3	0,5	0,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	11,7	
	Baumodell	0,4	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,1	0,4	0,3	0,3	0,5	0,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	11,7	
	Ausarbeitung des Baumodells	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,8	
	Prototyp	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,8	
	Simulation und Test des Prototypen	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,8	
	Prototyp und Produktdokumentation	0,5	0,9	1,0	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,1	0,5	0,3	0,3	0,6	0,1	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	13,5	
Produktionsorganisation	Produktionsplanung	0,4	0,8	0,9	0,4	0,6	0,4	0,7	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,1	0,4	0,2	0,2	0,4	0,1	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	10,4	
	Produktionslogistik und Materialplanung	0,3	0,7	0,8	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,4	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	8,8	
M		6,1	12,4	14,1	7,8	8,5	7,9	11,2	11,0	2,4	2,4	1,7	2,8	2,8	2,8	8,2	8,2	8,2	1,4	6,5	4,4	4,4	7,5	1,4	9,1	7,9	7,5	7,7	4,8			

Bild 3-6: Bereich der DSM M in welchem auf die Zahl 1 normierte Werte (1 entspricht Wert 144) des Einflusses „festlegender“ auf „resultierende“ Phasen dargelegt sind (in Anlehnung an HEPERLE et al. 2010a)

Von besonderem Interesse ist hierbei der in Bild 3-6 dargelegte Bereich des **Zusammenhangs zwischen festlegenden und resultierenden Phasen**. Die Werte stellen den Grad der Intensität dar, mit welcher umweltbezogene Auswirkungen bezüglich resultierender Phasen bereits in festlegenden Phasen, d. h. frühzeitig im Innovationsprozess, adressiert werden können. In der Abbildung sind die Werte auf 1 normiert, um eine direkte Vergleichbarkeit der Werte gewährleisten zu können. Danach können insbesondere die Teile der Produktion sowie der Modernisierung und der Entsorgungs-/Recycling-Phase in den frühen Phasen beeinflusst werden. Dies bestätigt sich auch dann, wenn man die im Sinne einer Aktiv- bzw. Passivsumme addierten Werte betrachtet (siehe unterste Zeile in Bild 3-6).

Daneben lassen sich auch aus den weiteren Bereichen Schlüsse bezüglich umweltrelevanter Zusammenhänge ableiten. So stellt der untere rechte Bereich im Bild 3-5 die **Abhängigkeiten zwischen den resultierenden Phasen** fest. Dies kann gegebenenfalls Aufschluss darüber geben, welche Phasen bezüglich der Einhaltung der genannten Umweltmaßnahmen sehr stark zusammenhängen. Eine Berücksichtigung dieser Zusammenhänge im Laufe der Planung kann dazu beitragen, möglichen Konflikten zwischen den jeweils relevanten Phasen entlang des Produktlebenszyklus vorzubeugen.

Das strukturbasierte Vorgehen sowie die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Verknüpfung spezifischer DFX-Richtlinien mit den Phasen des Produktlebenszyklus dazu beitragen kann, **produktplanungsrelevante Schlüsse bezüglich der Vernetzung zwischen Phasen des Produktlebenszyklus** ziehen zu können. Die Verwendung einer für verschiedene Produktarten anwendbaren DFX-Richtlinie sowie des in Kapitel 3.2 vorgestellten Modells des Produktlebenszyklus erlaubt zudem die Ableitung generischer, d. h. produktunabhängiger Wechselwirkungen. Dies kann für die Produktplanung einen ersten Anhaltspunkt bezüglich möglicher Konflikte geben. Nichtsdestotrotz muss festgestellt werden, dass aufgrund der Produktheterogenität weitere produktspezifische Analysen im Rahmen der Produktplanung erfolgen sollten, welche sich insbesondere am jeweiligen Anwendungs- und Unternehmenskontext orientieren.

3.3.2 Abhängigkeiten auf Basis unterschiedlicher DFX-Richtlinien

Im vorangegangenen Kapitel werden indirekte Wechselwirkungen zwischen Lebenszyklusphasen aufgrund der Verfolgung einer DFX-Richtlinie mit unterschiedlichen Eco-Design-Maßnahmen analysiert. Dieser Ansatz wird nun dahingehend erweitert und angepasst, dass im Rahmen der Produktplanung und -entwicklung **mehrere DFX-Richtlinien und damit einhergehende lebenszyklusbezogene Zielsetzungen** (z. B. Produzierbarkeit, Recycelbarkeit) gleichzeitig Relevanz besitzen können. In diesem Zusammenhang stehen zum einen diese Zielsetzungen aufgrund der jeweils durch sie adressierten Produktmerkmale in Bezug zueinander, zum anderen stehen in der Folge auch die Lebenszyklusphasen miteinander in Wechselwirkung (siehe Bild 3-7).

Ziel des Kapitels 3.3.2 ist es, entsprechende Wechselwirkungen zu identifizieren und auf planungsrelevante Schlussfolgerungen hin zu analysieren. Aus diesem Ziel ergeben sich insbesondere zwei Herausforderungen:

Herausforderung 1: Identifikation zentraler, indirekter **Wechselwirkungen von DFX-Richtlinien auf Basis der Produktmerkmale, welche durch die entsprechenden DFX-Richtlinien beeinflusst werden.** Aufgrund der Tatsache, dass verschiedene Richtlinien die gleiche Produkteigenschaft beeinflussen, können indirekte Abhängigkeiten zwischen den DFX-Richtlinien identifiziert werden.

Herausforderung 2: Identifikation zentraler, indirekter **Wechselwirkungen von Lebenszyklusphasen auf Basis der DFX-Richtlinien, durch welche die entsprechenden Lebenszyklusphasen beeinflusst werden.** Eine DFX-Richtlinie kann mehrere Lebenszyklusphasen ansprechen, weshalb indirekte Wechselwirkungen zwischen den Phasen identifiziert werden können.

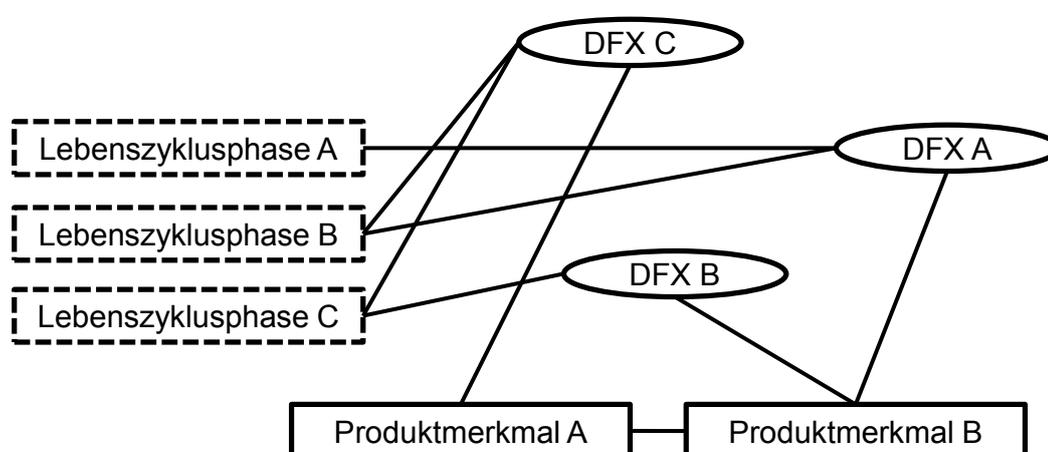


Bild 3-7: Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen DFX-Richtlinien, Produktmerkmalen und Lebenszyklusphasen (in Anlehnung an HEPERLE et al. 2011a)

In beiden Herausforderungen spielen DFX-Richtlinien eine bedeutende Rolle bei der Analyse der Wechselwirkungen. Vor dem Hintergrund der großen Anzahl an DFX-Richtlinien wird für die Analyse eine **repräsentative Auswahl an Richtlinien** vorgenommen. Hierfür werden insgesamt 27 DFX-Richtlinien näher betrachtet. Diese adressieren verschiedenste Lebenszyklusphasen und erlauben somit eine Identifikation und Analyse planungsrelevanter, lebenszyklusbezogener Wechselwirkungen. Die ausgewählten Richtlinien sind in Tabelle 3-1 dargelegt.

Zur Identifikation und Analyse der beschriebenen Wechselwirkungen wird wiederum ein **strukturbasierter MDM-Ansatz** verfolgt. Aufgrund der Rahmenbedingungen verschiedener einbezogener DFX-Richtlinien und der Zielsetzung, insbesondere hochvernetzte und zentrale, in der Planung zu berücksichtigende DFX-Richtlinien und Lebenszyklusphasen zu identifizieren, wird im Vergleich zum vorangegangenen Kapitel die Analyse der Abhängigkeiten auf Basis zusätzlicher Strukturmerkmale verfolgt.

Wie in Bild 3-8 dargestellt, besteht die MDM aus den **drei Domänen DFX-Richtlinien, Produktmerkmale und Lebenszyklusphasen**. Bezüglich der Lebenszyklusphasen wird wiederum auf das in Kapitel 3.2 vorgestellte vereinfachte Produktlebenszyklusmodell zurückgegriffen. Hierbei werden insgesamt 16 unterschiedliche Lebenszyklusphasen berücksichtigt. Die Domäne der DFX-Richtlinien umfasst die in Tabelle 3-1 dargelegten Richtlinien. Die

Domäne der Produktmerkmale leitet sich auf Basis der in den verschiedenen DFX-Richtlinien **identifizierten Merkmale** ab und umfasst: Geometrie, Volumen, Oberfläche, Farbe, Lage, Energie, Material, Signal, Symmetrie, Anzahl an Einzelkomponenten.

Design for assembly (KOLLER 1994, Pahl et al. 2007, OTTO & WOOD 2001, ROTH 2000)	Design for manufacturing (KOLLER 1994, OTTO & WOOD 2001, ROTH 2000)	Design for recyclability (KOLLER 1994, OTTO & WOOD 2001, ROTH 2000)
Design for cost (EHRLENSPIEL 2009, KOLLER 1994)	Design for piece part production (OTTO & WOOD 2001)	Design for reliability and safety (KOLLER 1994)
Design for individualized products (LINDEMANN & MAURER 2006)	Design for ergonomics (Pahl et al. 2007, ROTH 2000)	Design for high impact material reduction (OTTO & WOOD 2001)
Design for chipping (ROTH 2000)	Design for interface constraints (KOLLER 1994)	Design for functional construction (ROTH 2000)
Design for disassembly (OTTO & WOOD 2001)	Design for tolerance (KOLLER 1994)	Design for stress (KOLLER 1994)
Design for material (KOLLER 1994)	Design for casting (ROTH 2000)	Design for the environment (OTTO & WOOD 2001)
Design for remanufacturing (OTTO & WOOD 2001)	Design for energy efficiency (OTTO & WOOD 2001)	Design for maintenance (Pahl et al. 2007)
Design for forming (ROTH 2000)	Design for welding (KOLLER 1994)	Design for variance (KIPP & KRAUSE 2007)
Design for industrial design (Pahl et al. 2007)	Design for production (Pahl et al. 2007)	Design for minimum risk (Pahl et al. 2007)

Tabelle 3-1: Berücksichtigte DFX-Richtlinien im Rahmen der MDM-basierten Analyse von Wechselwirkungen zwischen DFX-Richtlinien und Lebenszyklusphasen (in Anlehnung an HEPPERLE et al. 2011a)

Die **Ableitung indirekter Abhängigkeiten der DFX-Richtlinien und Lebenszyklusphasen** erfolgt über die Multiplikation entsprechend relevanter Matrizen. Dafür werden zunächst die Abhängigkeiten in den Domain Mapping Matrizen DMM_dfx_mer, DMM_leb_dfx sowie der Design Structure Matrix DSM_mer akquiriert (siehe Anhang 8.5). Dies geschieht basierend auf der Textanalyse der DFX-Richtlinien für DMM_dfx_mer, DMM_leb_dfx sowie auf

Grundlage der Reflexion der Produktmerkmale für DSM_mer. Durch die Textanalyse lassen sich direkte Zusammenhänge zwischen DFX-Richtlinien und Produktmerkmalen herstellen. Als Beispiel sei auf die Richtlinie „Design for Environment“ nach OTTO & WOOD 2001 verwiesen, welche sinngemäß artikuliert, dass „verschiedene funktional äquivalente Materialien stark unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt haben können“. Ebenso lassen sich in den DFX-Richtlinien direkte Rückschlüsse auf die Verbindung dieser zu den Lebenszyklusphasen ziehen.

↗	DFX-Richtlinien	Produktmerkmale	Lebenszyklusphasen
DFX-Richtlinien	<p>DSM der DFX-Richtlinien</p> <p>DSM_dfxA für Fall A DSM_dfxB für Fall B</p> <p>(errechnet)</p>	<p>DMM zur Verknüpfung der DFX-Richtlinien mit Produktmerkmalen</p> <p>DMM_dfx_mer</p> <p>(Textanalyse von Dfx-Richtlinien)</p>	
Produktmerkmale		<p>DSM der Produktmerkmale</p> <p>DSM_mer</p> <p>(Abhängigkeiten auf Basis der Reflexion der Produktmerkmale)</p>	
Lebenszyklusphasen	<p>DMM zur Verknüpfung der Lebenszyklusphasen mit DFX-Richtlinien</p> <p>DMM_leb_dfx</p> <p>(Textanalyse von Dfx-Richtlinien)</p>		<p>DSM der Lebenszyklusphasen</p> <p>DSM_leb für Fall C</p> <p>(errechnet)</p>

Bild 3-8: MDM der DFX-Richtlinien, Produktmerkmale und Lebenszyklusphasen
(nach HEPPERLE et al. 2011a)

Zur Errechnung der indirekten Abhängigkeiten zwischen DFX-Richtlinien (**Herausforderung 1**) werden **zwei verschiedene Fälle** vorgestellt. Im **Fall A** werden zur Ableitung der Abhängigkeiten die direkten Verbindungen zwischen DFX-Richtlinien und Produktmerkmalen herangezogen. Formel 3-2 stellt den Rechenweg für Fall A dar.

$$DSM_{dfxA} = DMM_{dfx_mer} \cdot DMM_{dfx_mer}^{Transponiert}$$

Formel 3-2: Fall A – Errechnung indirekter Abhängigkeiten zwischen DFX-Richtlinien auf Basis berücksichtigter Produktmerkmale (nach HEPPERLE et al. 2011a)

Im **Fall B** werden neben den direkten Abhängigkeiten zwischen den DFX-Richtlinien und den Produktmerkmalen zudem die zuvor akquirierten direkten Abhängigkeiten der Produktmerkmale untereinander in die Analyse einbezogen. Demnach werden die indirekten Abhängigkeiten auf Basis der Formel 3-3 errechnet.

$$DSM_dfxB = (DMM_dfx_mer \cdot DSM_mer) \cdot DMM_dfx_mer^{Transponiert}$$

Formel 3-3: Fall B – Errechnung indirekter Abhängigkeiten zwischen DFX-Richtlinien auf Basis berücksichtigter Produktmerkmale sowie deren Vernetzung untereinander (nach HEPERLE et al. 2011a)

Fall C zielt auf die oben dargestellte Herausforderung 2 zur Identifikation und Analyse indirekter **Abhängigkeiten zwischen Lebenszyklusphasen** ab. Hierfür werden die akquirierten direkten Verbindungen der DFX-Richtlinien mit den Lebenszyklusphasen herangezogen. Die entsprechende Berechnung ist in Formel 3-4 dargestellt.

$$DSM_leb = DMM_leb_dfx \cdot DMM_leb_dfx^{Transponiert}$$

Formel 3-4: Fall C – Errechnung indirekter Abhängigkeiten zwischen Lebenszyklusphasen auf Basis verschiedener berücksichtigter DFX-Richtlinien (nach HEPERLE et al. 2011a)

Die weitere Analyse der indirekten Abhängigkeiten erfolgt basierend auf den errechneten Matrizen DSM_dfxA , DSM_dfxB und DSM_leb . Um das Ziel zu erreichen, insbesondere DFX-Richtlinien und Lebenszyklusphasen zu identifizieren, welche eine **zentrale Stellung** unter den Verbindungen einnehmen, werden drei verschiedene Strukturmerkmale zur **Centrality** auf die errechneten Matrizen angewendet. Hierfür werden zunächst für die Matrizen DSM_dfxA , DSM_dfxB und DSM_leb die Distanzmatrizen errechnet. In der Distanzmatrix sind die jeweils minimalen Entfernungen zwischen zwei betrachteten Elementen (z. B. Lebenszyklusphasen) aufgeführt. Die Entfernung ergibt sich hierbei über den kürzesten Pfad an Verbindungen zwischen zwei Elementen (LINDEMANN et al. 2008).

Die angewendeten Strukturmerkmale stellen die **Distance Centrality**, die **Degree Centrality** sowie die **Betweenness Centrality** dar. Diese wurden in vorangegangenen Forschungsarbeiten beispielsweise von FREEMAN 1979 eingesetzt, um in sozialen Netzwerken zentrale Akteure zu identifizieren. BRAHA & BAR-YAM 2004 haben diese Art von Strukturmerkmalen auf komplexe Entwicklungsprozesse angewendet und SOSA et al. 2005 haben diese hinsichtlich der Messung der Modularität von Produktkomponenten in Produktstrukturen eingesetzt. Die einzelnen Definitionen sowie deren mögliche Interpretation im Rahmen des hier dargestellten Fallbeispiels können wie folgt beschrieben werden:

- **Degree Centrality:** Zahl der Verbindungen, über welche ein Element mit weiteren Elementen in der DSM direkt verbunden ist. Ein Element zeigt eine hohe Degree Centrality, wenn es mit vielen weiteren verbunden ist. Die Degree Centrality misst den direkten Einfluss einer DFX-Richtlinie bzw. einer Lebenszyklusphase auf andere.
- **Distance Centrality:** Summe der Entfernungen eines Elements zu allen anderen Elementen im Netzwerk. Ein Element zeigt eine hohe Distance Centrality, wenn dieses ei-

ne vergleichsweise große Nähe zu den weiteren Elementen im Netzwerk aufweist. Die Distance Centrality zeigt die Unmittelbarkeit des Einflusses einer DFX-Richtlinie bzw. einer Lebenszyklusphase auf andere.

- **Betweenness Centrality:** Anzahl der kürzesten Pfade, die über ein Element laufen. Ein Element zeigt somit eine hohe Betweenness Centrality, wenn viele kürzeste Pfade über dieses laufen. Die Betweenness Centrality misst, inwiefern man über die jeweils betrachtete DFX-Richtlinie bzw. Lebenszyklusphase Einflussketten im Netzwerk kontrollieren kann.

Auf Basis der angewendeten Strukturmerkmale stechen für den **Fall A** (siehe Anhang 8.5) bei der Identifikation zentraler DFX-Richtlinien insbesondere die Richtlinien „Design for assembly“, „Design for disassembly“ sowie „Design for stress“ heraus. Während viele weitere Richtlinien im Bereich der Degree Centrality und Distance Centrality ebenfalls hohe Werte erreichen, zeichnen sich die drei genannten Richtlinien durch eine vergleichsweise starke zentrale Stellung für alle drei angewendeten Strukturmerkmale aus – also auch im Bereich der Betweenness Centrality. Eine mögliche Interpretation bezüglich der Produktplanung ist, dass durch die frühzeitige Kontrolle der Beziehungen zwischen diesen drei Richtlinien und der direkt daran anschließenden Verknüpfungen ein abgestimmter, gleichzeitiger Einsatz der zahlreichen DFX-Richtlinien ermöglicht wird.

Werden zur Errechnung der Abhängigkeiten zwischen DFX-Richtlinien wie im **Fall B** die Verbindungen zwischen DFX-Richtlinien und Produktmerkmalen sowie die Verbindungen zwischen den Produktmerkmalen berücksichtigt, so stechen drei andere Richtlinien bezüglich ihrer zentralen Stellung heraus (siehe Anhang 8.5). Die Richtlinien „Design for cost“ (a), „Design for ergonomics“ (b) sowie „Design for safety and reliability“ (c) weisen für die Werte aller drei angewendeten Strukturmerkmale auf eine vergleichsweise hohe Zentralität hin. Daraus lässt sich interpretieren, dass über diese drei Richtlinien und ihre direkten Verbindungen der gleichzeitige Einsatz verschiedener DFX-Richtlinien abgestimmt werden kann. Aufgrund der Werte bezüglich der Degree Centrality sowie der Distance Centrality sind zudem die Richtlinien „Design for production“ (d), „Design for stress“ (e) sowie „Design for assembly“ (f) von Interesse. Alle Richtlinien a bis f zeichnen sich durch eine hohe Unmittelbarkeit im Netz der DFX-Richtlinien aus. Hierbei ist hervorzuheben, dass diese Richtlinien alle jeweils zu mindestens 19 anderen Richtlinien direkte Verknüpfungen aufweisen.

Im Bereich der errechneten Verknüpfungen zwischen den 16 betrachteten Lebenszyklusphasen (**Fall C** – siehe Anhang 8.5) weisen insbesondere die Phasen „Fertigung“ (I) und „Montage“ (II) eine zentrale Stellung bezüglich aller drei angewendeter Strukturmerkmale auf. Daneben weisen die Phasen „Verpackung und Lagerung“ (III), „Transport“ (IV) und „Wartung“ (V) ebenfalls Werte für eine hohe Zentralität bezüglich der Degree Centrality sowie die Distance Centrality auf. Eine Interpretation für produktplanende Tätigkeiten legt nahe, dass die diese Phasen verantwortenden Stakeholder frühzeitig in die Planung eingebunden werden sollten, wenn es darum geht, alle genannten 27 DFX-Richtlinien zu verfolgen. Sollten aufgrund von Interessenskonflikten nicht alle der 27 Richtlinien eingesetzt werden können, so sollten diese Stakeholder bei der Priorisierung eingebunden werden, um entsprechende Folgen für das Produkt sowie zugehörige Prozesse abschätzen zu können.

Zusammengefasst stellt das gezeigte Vorgehen eine Möglichkeit dar, strukturbasiert planungsrelevante, generische und lebenszyklusbezogene Zusammenhänge darzustellen. Die Rahmenbedingungen bei der Auswahl der verwendeten Daten führen jedoch zu **Limitationen**, was eine unmittelbare Anwendbarkeit des Ansatzes für die Produktplanung einschränkt. So wurde zwar ein hinsichtlich der Lebenszyklusphasen repräsentatives Set an DFX-Richtlinien in die Analyse einbezogen, die durchgeführten Berechnungen und Interpretationen sind dennoch nur für den verwendeten Satz an Richtlinien gültig. Werden beispielsweise bestimmte Richtlinien oder Lebenszyklusphasen in den Analysen nicht berücksichtigt bzw. werden zusätzliche einbezogen, so kann dies zu veränderten Ergebnissen führen, was den Charakter allgemeingültiger Ergebnisse einschränkt. Zudem sind die dargestellten Interpretationen nur auf einem sehr abstrakten Niveau möglich. Bezüglich der angewendeten Strukturmerkmale sei nochmals darauf verwiesen, dass drei Strukturmerkmale zum Thema Zentralität eingesetzt wurden, welche in der Vergangenheit lediglich in anderen Anwendungsfeldern Einsatz fanden. Daher ist aus Sicht der Forschung die Analyse weiterer Strukturmerkmale sowie die kritische Reflexion der eingesetzten Strukturmerkmale anzugehen.

Dennoch haben sich die gezeigten Analysen als **zielführend zur Identifikation von grundlegenden lebenszyklusbezogenen Wechselwirkungen** erwiesen, wodurch das primäre Ziel – die Erhöhung des Lebenszyklusverständnisses für die Produktplanung – durchaus erreicht wird. Insbesondere das gezeigte Vorgehen könnte damit auf unternehmensbezogene Fragestellungen und einhergehend zu berücksichtigende Richtlinien und Lebenszyklusphasen zur **Erhöhung des Systemverständnisses** herangezogen werden.

3.3.3 Reflexion generischer Abhängigkeiten im Lebenszyklus

Sowohl bezüglich der Eco-Design-Maßnahmen als auch hinsichtlich der Anwendung verschiedener DFX-Richtlinien wurde in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt, dass strukturbasierte Betrachtungen dazu beitragen können, lebenszyklusbezogene, planungsrelevante generische Wechselwirkungen zu identifizieren. In der Folge können **relevante Stakeholder entlang des Lebenszyklus** in die Planung eingebunden werden, und **für die Planung relevante Gestaltungsrichtlinien** können frühzeitig Berücksichtigung finden.

Für **spezifische Planungsprojekte** in Unternehmen ist der **Erkenntnisgewinn** aus einer generischen Analyse wie vorgestellt jedoch **nur eingeschränkt gegeben**. Dies liegt zum einen daran, dass es eine noch viel **größere Anzahl von DFX-Richtlinien** gibt und in den untersuchten Fällen lediglich ein repräsentatives Set an DFX-Richtlinien betrachtet wurde. Zum anderen gestaltet sich die Informationsakquisition in den dargestellten Fällen als schwierig, da DFX-Richtlinien auf verschiedenste Produkteigenschaften einwirken, wobei diese Produkteigenschaften nicht immer explizit angesprochen werden, sondern die Produkteigenschaften und einhergehende Wechselwirkungen oftmals „zwischen den Zeilen“ beschrieben sind. Somit ist die **Reproduzierbarkeit bei der Informationsakquisition** nur schwer realisierbar. In der Folge ist zu erwarten, dass bei einer Durchführung der Analyse durch weitere Personen zumindest leicht abweichende Analyseergebnisse erzielt würden.

Eine weitere Limitation besteht darin, dass DFX-Richtlinien meist direkt die Gestalt eines Produkts ansprechen. Folglich bewegen sich die Gestaltungshinweise schon auf einer sehr

konkreten Ebene im Sinne der Produktkonkretisierung. Dieser **hohe Konkretisierungsgrad** ist in der Produktplanung zum einen aufgrund der angestrebten Lösungsneutralität und zum anderen aufgrund der oftmals noch nicht im Detail bekannten Ausprägungen von Produkteigenschaften **nicht umsetzbar und zielführend**. Dennoch können die in der Produktentwicklung zentral adressierten Lebenszyklusphasen und Richtlinien mithilfe des Ansatzes auf ihre mögliche frühzeitige Berücksichtigung in der Planung hinterfragt werden.

Somit kann aus den dargestellten Beispielen der Schluss gezogen werden, dass – basierend auf der dokumentengestützten Analyse der DFX-Richtlinien – durchaus lebenszyklusbezogene, planungsrelevante Wechselwirkungen identifiziert werden können. Aufgrund der genannten Limitationen ist jedoch eine für sämtliche Produkte und sämtliche Branchen übergreifend definierte Interpretation an generischen Systemzusammenhängen anhand eines spezifischen Sets an Richtlinien nicht zielführend. Nachdem sich aber das **gezeigte Vorgehen zur Identifikation generischer Abhängigkeiten als plausibel darstellt**, wäre es eine Möglichkeit, den Ansatz auf unternehmensspezifische Gestaltungsrichtlinien hin zu adaptieren. Darauf basierend könnte das Unternehmen produkt- und projektübergreifend generische Wechselwirkungen identifizieren und auf ihre Relevanz bezüglich der Berücksichtigung in der Planungsphase hinterfragen.

3.4 Ableitung des weiteren Handlungsbedarfs

Das in Kapitel 3.2 entwickelte Modell des **Leistungsbündellebenszyklus** unter Berücksichtigung von Sach- und Dienstleistungsanteilen sowie der Phasen von der Planung bis hin zur Auflösung dient als Grundlage für weitere Aktivitäten im Rahmen der Leistungsbündelplanung. Das Modell unterstützt den Planer in der Akquisition frühzeitig zu berücksichtigender Informationen, wobei die Zuordnung der Informationen zu den Lebenszyklusphasen auch die Einbindung entsprechender Stakeholder entlang des Lebenszyklus erlaubt.

Die sachleistungsbezogenen Phasen des entwickelten Modells wurden in Kapitel 3.3 zur Identifikation zentraler, bereits im Planungsprozess zu berücksichtigender Lebenszyklusphasen und Gestaltungsrichtlinien herangezogen. In diesem Kontext werden **Methoden des strukturellen Komplexitätsmanagements** angewendet, um die **Zusammenhänge der Lebenszyklusphasen und Gestaltungsrichtlinien** zu reflektieren. Neben den in Kapitel 3.3 angesprochenen Limitationen ist anzumerken, dass dahingehend identifizierte lebenszyklusbezogene Zusammenhänge lediglich auf Basis aktueller Erkenntnisse durch Berücksichtigung bereits bestehender Richtlinien erörtert sind. Dieses Vorgehen unterstützt zwar die Vermeidung von Konflikten im Lebenszyklus, welche dem Planer aufgrund einer bislang nicht ausreichenden Betrachtung von lebenszyklusbezogenen Systemzusammenhängen nicht erlaubt war. Dennoch ist hinsichtlich der Planung zukünftig zu erbringender Leistungsbündel der Handlungsbedarf gegeben, dem Planer zusätzliche Methoden anzubieten, welche **in die Zukunft projizierte Faktoren bei der Analyse planungsrelevanter Zusammenhänge einbeziehen**.

Hierbei sind verschiedene planungsassoziierte Dimensionen, wie beispielsweise die Berücksichtigung **potenzial- und bedarfsorientierter Informationen** sowie die Einbindung **alternativer Szenarios und verschiedener Planungshorizonte**, zu adressieren. Auch ein differenzierterer Umgang mit dem Lebenszyklus hinsichtlich zu berücksichtigender Zeiträume ist zur zielgerichteten Antizipation planungsrelevanter Informationen wichtig. Zudem ist von

großer Bedeutung, dass der Planer zur Identifikation **konkreter Stellhebel in der Planung** ein **vertieftes Systemverständnis** der akquirierten Informationen aufbaut. Die auf Basis der Analyse von Gestaltungsrichtlinien abgeleiteten Ergebnisse erhöhen bereits das Systemverständnis, unterstützen den Planer aber insbesondere in der Reflexion des Zusammenspiels der Lebenszyklusphasen und weniger der spezifischen, das zukünftige Leistungsbündel beeinflussenden Faktoren. Zur Erhöhung der Transparenz planungsrelevanter Systemzusammenhänge besteht daher ein weiterer zentraler Handlungsbedarf darin, die **Nachvollziehbarkeit der in der Planung gegenübergestellten, leistungsbündelspezifischen Informationen** zu unterstützen. Vor diesem Hintergrund wird in Kapitel 4 ein Ansatz vorgestellt, welcher die angesprochenen Handlungsbedarfe durch eine Methodik zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung angeht.

4. Methodischer Ansatz der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung

Zur Unterstützung spezifischer Projekte im Kontext der lebenszyklusorientierten Planung zukünftig zu erbringender Leistungsbündel wird in diesem Kapitel der hierfür erarbeitete methodische Ansatz vorgestellt. Zunächst wird auf die Anforderungen an die Methodenumgebung eingegangen. Darauf basierend wird ein Überblick über die Methodik zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung gegeben und in der Folge werden die einzelnen Methodenbausteine im Detail erläutert. Die Methodenumgebung adressiert einerseits die lebenszyklusorientierte Informationsakquisition im Rahmen der Leistungsbündelplanung. Andererseits umfasst diese die strukturbasierte Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge. Dafür werden zunächst im Rahmen der Analyse zu berücksichtigende – das zukünftige Leistungsbündel betreffende – Elemente und Relationen anhand eines entsprechenden Ordnungsrahmens aufgezeigt. Basierend auf den Anforderungen an die Methodenumgebung sowie dem dargelegten Ordnungsrahmen wird die Kompatibilität der Elemente sowie deren Durchgängigkeit bei der Betrachtung unterschiedlicher Szenarios und Planungshorizonte fokussiert. Abschließend werden Anknüpfungspunkte zu existierenden Planungsansätzen sowie Möglichkeiten der Implementierung der Methoden in der industriellen Praxis dargestellt.

4.1 Anforderungen an die methodische Unterstützung

Als Schlussfolgerung aus dem vorangegangenen Kapitel kann festgehalten werden, dass Ansätze zur Identifikation generischer planungsrelevanter Systemzusammenhänge die Planung in ihrer grundsätzlichen Ausrichtung unterstützen können. Dennoch besteht weiterhin der Bedarf nach Ansätzen, welche den Planer hinsichtlich konkreter Planungsprojekte zur **Identifikation leistungsbündelspezifischer Systemzusammenhänge** befähigen. Vor diesem Hintergrund stellt Kapitel 4 einen methodisch-systematischen Ansatz vor, welcher spezifische Planungssituationen unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 dargelegten Grundlagen lebenszyklusorientierter Produktplanung unterstützt. Aus dieser Konstellation leiten sich verschiedene Anforderungen an den zu entwickelnden Ansatz ab. Diese werden folgend anhand einer qualitativ geprägten **Anforderungsliste** in insgesamt vier thematischen Gruppen dargestellt.

Zu unterstützende Planungstätigkeiten

- Identifikation planungsrelevanter Informationen;
- Antizipation planungsrelevanter Informationen;
- Analyse der Informationen hinsichtlich planungsrelevanter Systemzusammenhänge;
- Unterstützung der Interpretation planungsrelevanter Systemzusammenhänge;
- Dokumentation und Ablage erzielter Ergebnisse und Zwischenergebnisse.

Ein wesentlicher Bereich der Anforderungen betrifft die zu **unterstützenden Planungstätigkeiten**. Einerseits soll die Akquisition, d. h. die **Identifikation und Antizipation** planungsre-

relevanter Informationen unterstützt werden. Hierbei liegt der Fokus weniger auf spezifischen Ansätzen zur Ideengenerierung bzw. zur Vorausschau als vielmehr auf der Unterstützung der Sammlung relevanter Kontextfaktoren. Die Antizipation selbst gilt es wiederum soweit zu unterstützen, dass die planungsrelevanten Informationen unter der Berücksichtigung der unten dargestellten Anforderungen bezüglich planungsspezifischer Dimensionen akquiriert werden können. Um die akquirierten Informationen zielgerichtet für die weiteren Schritte der Definition und Auswahl von Entwicklungsvorschlägen nutzen zu können, gilt es diese hinsichtlich **planungsrelevanter Systemzusammenhänge zu analysieren** und Möglichkeiten der **Interpretation der Analyseergebnisse** aufzuzeigen. Um die akquirierten Informationen sowie Analyseergebnisse im weiteren Produktentstehungsprozess zur Verfügung zu haben, ist auch die **Dokumentation** dieser zu adressieren.

Zu berücksichtigende Informationen

- Unternehmens-, markt- und umfeldrelevante Faktoren;
- Sach- und Dienstleistungskombinationen;
- Alle Phasen des Leistungsbündellebenszyklus;
- Einbindung unterschiedlicher Stakeholder.

Bei der Unterstützung der oben dargestellten Planungstätigkeiten gilt es verschiedene Quellen planungsrelevanter Informationen zu berücksichtigen. Hierbei steht im Vordergrund, dem Planer eine möglichst „ganzheitliche“ Planungsgrundlage im Sinne einer **lebenszyklusorientierten** Planung von **Leistungsbündeln**, welche sich durch Einflüsse aus dem **Unternehmen**, aus dem **Markt** sowie dem weiteren **Umfeld** ergeben, zur Verfügung zu stellen.

Berücksichtigung planungsspezifischer Dimensionen

- Kopplung von Potenzialen und Bedarfen zur Definition erster grundlegender Leistungsbündelkonzepte;
- Konzentration auf wesentliche, das zukünftig zu erbringende Leistungsbündel definierende Eckpunkte;
- Umgang mit unscharf definierten und qualitativ geprägten Informationen;
- Umgang mit Unsicherheit hinsichtlich zu antizipierender Informationen durch Berücksichtigung unterschiedlicher Szenarios und deren Kopplung;
- Gegenüberstellung verschiedener Planungshorizonte;
- Kopplung wiederkehrender Planungen;
- Lösungsneutralität und Denken in Alternativen;
- Ermöglichen einer technologieorientierten (Technology-Push) wie auch einer marktorientierten Planung (Market-Pull) bzw. einer Kombination beider Ansätze.

Identifizierte **Potenziale und Bedarfe** sowie deren Wechselwirkungen sind als Grundlage der Konzeption und Definition von Leistungsbündeln als wesentliche Informationen in der Planung einzubeziehen. Hierbei ist hinsichtlich der weiterzuverarbeitenden Informationen darauf zu achten, dass eine Fokussierung auf **wesentliche Eckpunkte zur Leistungsbündeldefiniti-**

on stattfindet, um planungsbezogene Konzepte und nicht Detailentwicklungen abzuleiten. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die zu verarbeitenden Informationen oftmals qualitativer Natur sind bzw. lediglich anhand von Wertebereichen aufgrund der **Unschärfe der Projektionen** beschrieben werden können. Im Kontext der Unsicherheit über das Eintreffen spezifischer Projektionen ist auch der Umgang mit Mechanismen der **multiplen Zukunft** – insbesondere hinsichtlich der Berücksichtigung verschiedener Szenarios – zu adressieren. Neben der Berücksichtigung **verschiedener Planungshorizonte** ist hierbei auch der Aspekt **wiederkehrender Planungstätigkeiten** einzubeziehen.

Wie generell im Sinne der methodisch-systematischen Produktentwicklung, speziell aber in der Phase der Planung, gilt es eine zu frühzeitige Festlegung auf eine Lösung zu vermeiden. Vor diesem Hintergrund soll der zu entwickelnde Ansatz das **Denken in Alternativen** sowie die Möglichkeit der Perspektive „vom Produkt- zum Leistungsbündelanbieter“ gewährleisten. Weiterhin ist eine methodenseitige Festlegung auf **Technology-Push-** bzw. **Market-Pull-Ansätze** zu vermeiden, um sowohl Innovationen aus dem Unternehmen heraus als auch von der Marktseite her zu ermöglichen.

Anforderungen hinsichtlich der Anwendbarkeit des Ansatzes

- Anwendbarkeit der Methode unabhängig von Branche, Art des Leistungsbündels, sowie Innovationsgrad;
- Einbettung in bestehende Planungsprozesse;
- Koppelbarkeit an weitere etablierte Methoden;
- Eigenständigkeit der Methoden, d. h. Einzelmethoden können auch für sich stehend im Planungsprozess angewendet werden;
- Flexibilität in der Wahl des Betrachtungsgegenstands: z. B. sollen Methoden unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus, aber auch nur für spezifische Lebenszyklusphasen anwendbar sein;
- Werkzeuggestützte Methodenanwendung;
- Nachvollziehbarkeit des Erkenntnisgewinns;
- Durchgängigkeit der Informationsverarbeitung der im Rahmen des Gesamtansatzes zu entwickelnden Einzelmethoden.

Nicht zuletzt rückt die Anwendbarkeit der methodischen Ansätze im industriellen Umfeld in den Vordergrund. Einerseits sollen diese auf **verschiedenste produzierende Unternehmen** anwendbar sein, wobei die ermittelten Ergebnisse einen kontextspezifischen Charakter aufweisen sollen. Andererseits gilt es den Ansatz so zu gestalten, dass dieser **in bestehende Planungsprozesse eingebettet** bzw. direkt an diese gekoppelt werden kann. Hierbei ist der Gesamtansatz modular zu gestalten, so dass auch **Einzelmethoden** bzw. die **Fokussierung auf spezifische Betrachtungsgegenstände** zur Unterstützung der Leistungsbündelplanung beitragen können. Um die Methoden im industriellen Umfeld anwenden zu können, ist zudem die Entwicklung einer **Werkzeugunterstützung** von Bedeutung. Die in den angewendeten Methoden erlangten Zwischenergebnisse zu planungsrelevanten Faktoren und Systemzusammenhängen gilt es **nachvollziehbar** zu gestalten. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass die

im Ansatz betrachteten Informationen von der Akquisition bis hin zur Analyse und Interpretation **durchgängig** gehandhabt werden können.

4.2 Methodik zur Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel

Die kommenden Kapitel stellen eine hinsichtlich der aufgestellten Anforderungen entwickelte Methodik zur Unterstützung der lebenszyklusorientierten Planung spezifischer Leistungsbündel vor. Der Begriff der **Methodik** wird dabei im Sinne einer Sammlung in Zusammenhang stehender Einzelmethoden zur Unterstützung verschiedener Tätigkeiten, welche entlang des Planungsprozesses ausgeführt werden, verstanden. Kapitel 4.2 stellt die Methodik zunächst übersichtlich dar, bevor die in der Methodik verankerten Einzelschritte sowie damit einhergehend entwickelte Methoden und Modelle in den Kapiteln 4.3 bis 4.6 detailliert dargelegt werden.

Die Methodik an sich ist auf unterschiedlichste Branchen sowie **unterschiedlichste Leistungsbündel anwendbar**, d. h. die Methodik an sich hat allgemeingültigen, generischen Charakter. Die leistungsbündelspezifische Aussagekraft kommt durch die Akquisition und Analyse der für spezifische Anwendungen zu berücksichtigenden Informationen zustande. Die Methodik umfasst insgesamt **sechs Schritte**, wobei die entwickelten Einzelmethoden die Tätigkeiten nicht komplett abhandeln, sondern diese im Sinne einer lebenszyklusorientierten Ausrichtung der Planung sowie einer Erhöhung der Transparenz planungsrelevanter Systemzusammenhänge unterstützen. Die Methodik ist in Bild 4-1 dargestellt, wobei die Nummerierung der Schritte 1 bis 6 einen **Standarddurchlauf** darstellt, welcher im industriellen Umfeld nicht zwingend komplett durchlaufen werden muss. Um die Durchgängigkeit der Methodik aufzuzeigen, werden darin eingesetzte Einzelmethoden dennoch aufeinander aufbauend vorgestellt.

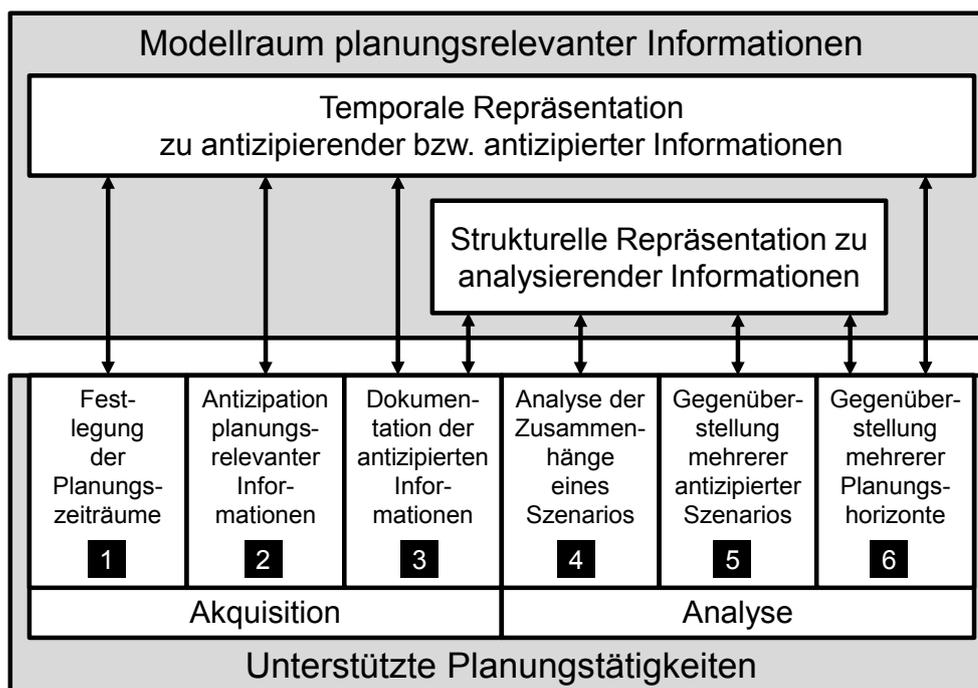


Bild 4-1: Unterstützte Planungstätigkeiten und deren Zugriff auf den Modellraum

Im Kontext der Methodik werden zum einen die unterstützten Schritte in der Leistungsbündelplanung aufgezeigt. Zum anderen dient der Modellraum als Sammelbecken für die in den einzelnen Schritten herangezogenen und erarbeiteten Repräsentationen der planungsrelevanten Informationen und Analyseergebnisse.

Die **unterstützten Tätigkeiten** betreffen zum einen die **Informationsakquisition** und zum anderen die **Analyse und Interpretation** der akquirierten Informationen. Im Bereich der Akquisition werden Methoden zur Identifikation und Ableitung relevanter Planungshorizonte, entsprechend einzusetzender Projektionsverfahren sowie unterstützende Mechanismen zur lebenszyklusphasenübergreifenden Identifikation relevanter Kontextfaktoren (Rahmenbedingungen und Potenziale) fokussiert. Die Analyse dient dagegen der Identifikation von Systemzusammenhängen der akquirierten Informationen, wobei einerseits die Kompatibilität von Zielen und Lösungselementen innerhalb eines geplanten Szenarios, andererseits die Konsistenz verschiedener Szenarios und Planungshorizonte betrachtet wird.

Der Zugriff des Planers auf die Modelle, welche der Repräsentation der akquirierten Informationen bzw. der Dokumentation der erarbeiteten Ergebnisse dienen, wird durch die in Bild 4-1 dargestellten Doppelpfeile angedeutet. Im **Modellraum** werden **temporale** und **strukturelle Modelle** unterschieden. Temporale Modelle zielen auf die Repräsentation der zeitlichen Abfolge zu antizipierender sowie antizipierter Informationen ab. Hierbei rücken einerseits die in Kapitel 3.2 dargestellten Lebenszyklusmodelle in den Vordergrund. Andererseits nehmen Modelle im Kontext des Roadmappings, welche eine Visualisierung der Entwicklung planungsrelevanter Betrachtungsgegenstände über der Zeit zulassen, eine wichtige Rolle ein.

Strukturmodelle dienen der Repräsentation der Elemente und zu berücksichtigender Relationen zwischen diesen Elementen und in der Folge zur Analyse der antizipierten Informationen hinsichtlich der Erhöhung der Transparenz planungsrelevanter Systemzusammenhänge. Hierfür werden die antizipierten Informationen in eine matrizenbasierte Form übersetzt, wobei DSM-, DMM- und MDM-basierte Repräsentationen im Mittelpunkt stehen. Nun werden die einzelnen Schritte der Methodik erläutert und dafür entwickelte Methoden sowie relevante Modelle skizziert, eine detaillierte Betrachtung findet in den folgenden Kapiteln statt.

Schritt 1 – Festlegung der Planungshorizonte

Bevor eine zielgerichtete Identifikation sowie Projektion relevanter Kontextfaktoren für die Planung erfolgen kann, ist es von Bedeutung, den **Planungshorizont einzugrenzen**. Neben der Unterscheidung der kurz-, mittel- und langfristigen Planung ist es für eine systematische Auswahl geeigneter Projektionsverfahren von Bedeutung, die tatsächlich zu antizipierenden Zeiträume abzuschätzen. Wird beispielsweise ein spezifischer Markteintrittszeitpunkt X festgelegt, so spielt sich der Zeitraum für die Entwicklung in einem gewissen Zeitfenster vor der Produktion ab, die Produktion selbst läuft gegebenenfalls so lange, wie das Produkt verkauft werden soll und das Recycling beginnt ab dem Zeitpunkt, ab welchem das Produkt sich nicht mehr in Nutzung befindet.

Hierbei sind zumeist nicht nur Einzelprodukte, sondern ganze Produktgenerationen zu reflektieren. Um diese zeitlichen Dimensionen in die Akquisition planungsrelevanter Informationen einzubeziehen, wird basierend auf den in Kapitel 3.2 erarbeiteten Lebenszyklusmodellen ein Verfahren zum **Lebenszyklus-Roadmapping** und der Ableitung entsprechender Modelle

aufgezeigt. Dies unterstützt in der Folge die Auswahl geeigneter Projektionsverfahren sowie die Abschätzung relevanter Betrachtungszeiträume in Bezug auf die unterschiedlichen Lebenszyklusphasen.

Schritt 2 – Antizipation planungsrelevanter Informationen

Um den Planer bei der Identifikation der Faktoren, welche das zukünftig zu erbringende Leistungsbündel beeinflussen, zu unterstützen, wird im zweiten Schritt ein Modell zur **Erfassung der Kontextfaktoren** vorgestellt. Dieses greift zum einen auf Vorarbeiten im Bereich der Lebenszyklusmodelle, zum anderen auf weitere existierende Arbeiten zur Bedarfs- und Potenzialklärung zurück. Zudem wird dieser Schritt durch einen weiteren Diskurs zur Klärung von Kontextfaktoren spezifischer Lebenszyklusphasen sowie zum zeitlichen Verhalten der Faktoren ergänzt.

Schritt 3 – Dokumentation der antizipierten Informationen

Die in Schritt 2 akquirierten Informationen gilt es so zu hinterlegen, dass diese für weitere Planungsaktivitäten hinsichtlich ihres zeitlichen Verhaltens übersichtlich dokumentiert werden. An dieser Stelle wird wiederum auf **Ansätze des Roadmappings** zurückgegriffen, wobei die identifizierten Faktoren für verschiedene zuvor ermittelte Szenarios hinterlegt werden. Neben der übersichtlichen Aufbereitung der Informationen anhand von Roadmaps gilt es die Informationen zu verknüpfen und für Analysen im Rahmen des strukturellen Komplexitätsmanagements zugänglich zu machen. Hierfür werden die Informationen in eine **strukturelle, matrixbasierte Form** überführt.

Schritt 4 – Analyse der Systemzusammenhänge eines Szenarios

Aufbauend auf den Schritten der Akquisition und Dokumentation erfolgen nun spezifische Analysen, welche verschiedene planungsrelevante Systemzusammenhänge bezüglich zukünftig zu erbringender Leistungsbündel aufzeigen. Dafür wird auf die zuvor abgeleiteten matrixbasierten Strukturmodelle zurückgegriffen. In Schritt 4 wird zunächst die **Kompatibilität von Lösungselementen** überprüft, um entsprechend weiter zu verfolgende Gesamtkonzepte bezüglich ihrer grundsätzlichen Umsetzbarkeit zu reflektieren. Zudem wird die Analyse der Kompatibilität von Lösungselementen dahingehend erweitert, welche einzuhaltenden **Leistungsbündelziele** aufgrund der Inkompatibilität von Lösungselementen nicht erreicht werden können. In der Folge werden als Ergebnis des vierten Schritts Aussagen zur grundsätzlichen Konfiguration und Umsetzbarkeit von Gesamtkonzepten ermöglicht.

Schritt 5 – Gegenüberstellung mehrerer antizipierter Szenarios

Um den Herausforderungen einer multiplen Zukunft gerecht zu werden, gilt es nicht nur die jeweiligen Szenarios hinsichtlich sinnvoll umsetzbarer Leistungsbündelkonzepte zu hinterfragen, sondern auch **Ähnlichkeiten bzw. Konsistenzen** zwischen den **verschiedenen Szenarios** zu reflektieren. Dahingehende Analysen erfolgen wiederum auf Basis der zuvor erstellten strukturbasierten Modelle. Die in diesem Bereich erzielten Analyseergebnisse können im Anschluss gegebenenfalls für die Priorisierung zur Weiterverfolgung spezifischer Technologien

bzw. Lösungselemente dienen, wobei dies im Rahmen der vorgestellten Methodik nicht weiter vertieft wird.

Schritt 6 – Gegenüberstellung mehrerer Planungshorizonte

Auch die Gegenüberstellung der akquirierten Informationen hinsichtlich **verschiedener Planungshorizonte** dient einer Erhöhung der Transparenz planungsrelevanter Systemzusammenhänge. Durch strukturbasierte Ansätze lassen sich Aussagen ableiten, welche Elemente (Lösungselemente, Ziele, etc.) in den verschiedenen Planungshorizonten unter Berücksichtigung verschiedener Szenarios wie oft Eingang finden. Die Ergebnisse aus Schritt 5 zur Konsistenz von Szenarios sowie aus Schritt 6 zur Durchgängigkeit der unterschiedlichen Planungshorizonte lassen sich in einem **Portfolio** kombinieren, welches im Endeffekt eine kondensierte Zusammenfassung spezifischer planungsrelevanter Systemzusammenhänge erlaubt.

4.3 Identifikation relevanter Kontextfaktoren

Kapitel 4.3 gibt einen detaillierten Einblick in **die ersten drei Schritte** der Informationsakquisition im Rahmen der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel. Zunächst wird der zur Vorbereitung einer zielgerichteten Informationsakquisition entwickelte Ansatz des Lebenszyklus-Roadmappings vorgestellt. In Kapitel 4.3.2 werden dann unterstützende Maßnahmen zur tatsächlichen Identifikation und Projektion planungsrelevanter Informationen präsentiert.

4.3.1 Lebenszyklus-Roadmapping

Ein wesentlicher Aspekt der systematischen Planung von Leistungsbündeln besteht darin, eine zielgerichtete Identifikation und Auswahl planungsrelevanter Informationen vorzubereiten. Hierbei stellt die **Festlegung des Planungshorizonts** eine wesentliche Rahmenbedingung für die darauf folgenden Planungsaktivitäten dar. Einerseits spielt die grundsätzliche Entscheidung darüber, ob eine kurz-, mittel- oder langfristige Planung verfolgt werden soll, eine wichtige Rolle. Diese prinzipielle Eingrenzung wird, wie in Kapitel 2.2.3 dargestellt, durch bereits existierende Planungsansätze ermöglicht. Eine spezifische Unterstützung der Abschätzung relevanter Betrachtungszeiträume im Sinne einer mehrere Lebenszyklusphasen umfassenden Planung wird hierbei jedoch nicht adressiert.

Bild 4-2 erläutert die hinsichtlich einer lebenszyklusphasenübergreifenden Produktplanung zu berücksichtigenden Dimensionen schematisch anhand **zweier vereinfachter Beispiele** aus der Automobil- und Mobiltelefonbranche. Wird ein mittelfristig auf dem Markt zu platzierendes Fahrzeug geplant – beispielsweise mit einem Markteintrittszeitpunkt (MEZ) im Jahr 2020 – so beginnt die Lebenszyklusphase der Entwicklung schon ca. vier Jahre vor dem MEZ. Ab dem MEZ wird die Fahrzeuggeneration unter Berücksichtigung von Facelifts beispielsweise sieben Jahre vertrieben. Die Phase der Produktion startet somit kurze Zeit vor dem MEZ und läuft in etwa bis zum Ende der Vertriebsdauer. Nachdem die Fahrzeuge für einen gewissen Zeitraum in Nutzung sind (im Beispiel vereinfacht jeweils 10 Jahre), ergibt sich zudem ein umso weiter nach hinten verlagertes zu berücksichtigender Zeitraum für die Phasen der Nutzung sowie des Recyclings. Das Recycling beginnt dennoch schon bei Verkauf des ersten

Fahrzeugs, falls dieses unmittelbar nach dem Verkauf beispielsweise aufgrund eines Unfalls nicht mehr weiter nutzbar ist. In der Folge rückt für ein mittelfristiges am Markt zu platzierendes Fahrzeug nicht mehr allein der Zeithorizont 2020 in den Fokus, sondern im Sinne der lebenszyklusgerechten Planung ist ein wesentlich umfassenderer Zeitraum zu berücksichtigen. Ein anderes vereinfachtes Beispiel ist ebenfalls in Bild 4-2 anhand eines zu planenden Mobiltelefons dargestellt, wobei diese zwei Beispiele bereits die unterschiedlichen produkt- bzw. leistungsbündelspezifischen Dimensionen der Betrachtungszeiträume skizzieren.

Um sich bezüglich dieser zeitlichen Zusammenhänge ein übersichtliches Bild zur Auswahl geeigneter Projektionsverfahren zu machen, bedarf es vor dem Hintergrund der Heterogenität von Leistungsbündeln sowie der darin berücksichtigten Sach- und Dienstleistungselemente der **methodischen Unterstützung zur Abschätzung jeweils relevanter Zeiträume**.

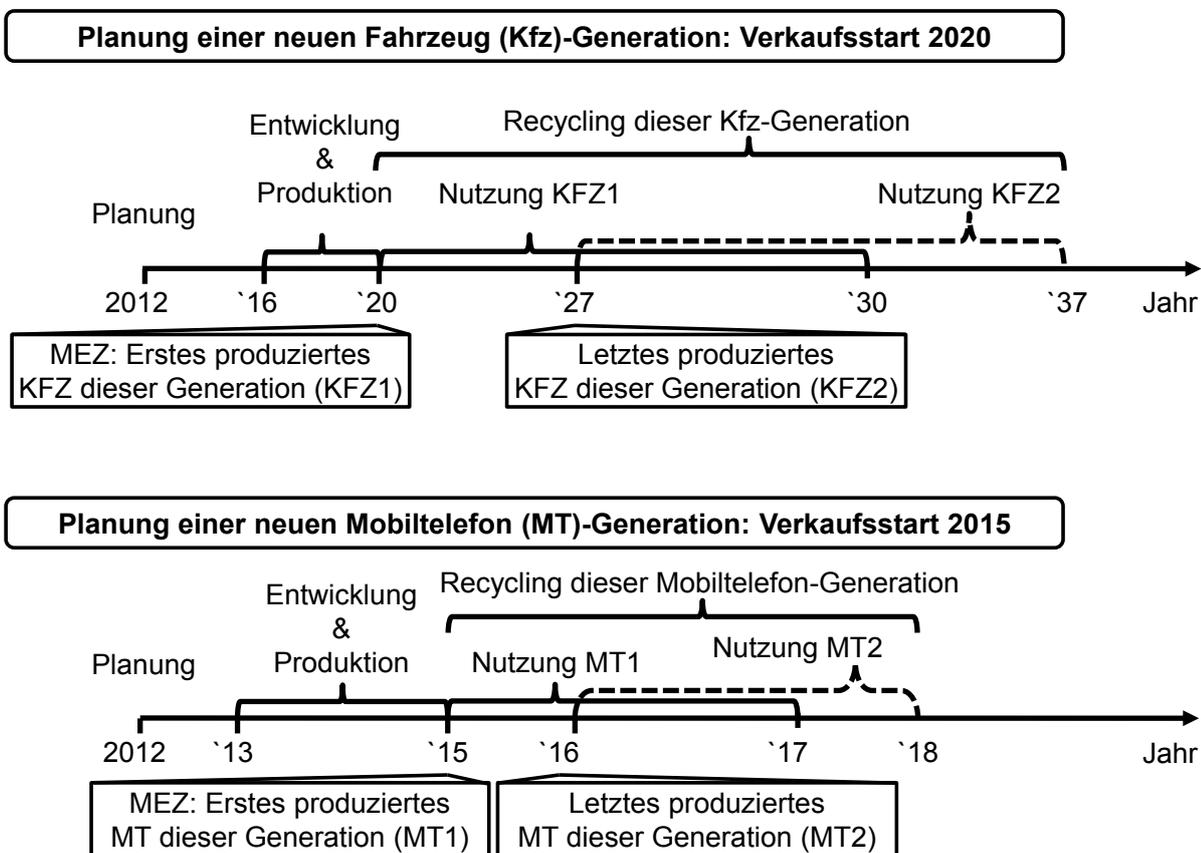


Bild 4-2: Vereinfachte Betrachtungszeiträume unterschiedlicher Produkte

In diesem Kontext wird nachfolgend ein Ansatz zum **Lebenszyklus-Roadmapping** vorgestellt, welcher die Darstellung und Reflexion der zeitlichen Dimensionen der Lebenszyklusphasen für spezifische Planungsprojekte erlaubt. Neben dem Lebenszyklus einzelner Produkte bzw. Leistungsbündel berücksichtigt der Ansatz auch Konstellationen ganzer Leistungsbündelgenerationen und erlaubt auch die Betrachtung mehrerer aufeinander folgender Leistungsbündelgenerationen (HEPPERLE et al. 2011c).

Die im Ansatz zum Lebenszyklus-Roadmapping (siehe auch KERNSCHMIDT et al. 2012) berücksichtigten **Lebenszyklusphasen** orientieren sich an dem in Kapitel 3.2 vorgestellten Modell des Leistungsbündellebenszyklus. Innerhalb einer Leistungsbündelgeneration finden nach KERNSCHMIDT et al. 2012 folgende Phasen Eingang im Ansatz: Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung, IT-Entwicklung, Vorlauf-Produktion, Produktion, Vertrieb, Produktnutzung, Erbringung vor- bzw. nachnutzungs- sowie nutzungsbegleitender Dienstleistungen sowie Entsorgung/Recycling. Die einzelnen Lebenszyklusphasen sind dabei durch einen jeweiligen Startpunkt sowie durch eine Dauer charakterisiert. Auf Basis weniger Angaben zum Startpunkt und zur Dauer spezifischer Lebenszyklusphasen können die Startpunkte weiterer Lebenszyklusphasen und somit ein gesamthafter Überblick über den Lebenszyklus abgeleitet werden. Dafür wurde basierend auf bekannten, überwiegend in der Literatur festgehaltenen zeitlichen Zusammenhängen der Lebenszyklusphasen ein **Berechnungsschema** entwickelt, welches im Anhang 8.6 dieser Arbeit genauer dargelegt ist.

Als Beispiel zur Ableitung der Lebenszyklus-Roadmap wird repräsentativ die Berechnung des Starts sowie die Dauer der Produktion der ersten Produktgeneration erläutert:

- Der Markteintrittszeitpunkt/Vertriebsstart (Verkauf des ersten Produkts der ersten Produktgeneration) wird auf den Zeitpunkt $T=0$ gelegt („Beginning distribution“).
- Der Planer gibt folgende Informationen ein:
 - Vertriebsdauer des Produkts (Distribution time), d. h. wie lange ist das Produkt am Markt zu erwerben;
 - Produktionsvorlauf (Production lead time), d. h. mit welchem zeitlichen Vorlauf vor dem Vertriebsstart soll das Produkt bereits produziert werden;
 - Versatz des Produktionsendes (End of production), d. h. mit welchem zeitlichen Versatz soll die Produktion im Vergleich zum Vertriebsende beendet werden (z. B. interessant in Bezug auf die Herstellung von Ersatzteilen).
- Berechnungen:
 - Der Startzeitpunkt der Produktion ergibt sich durch Subtrahieren der Dauer des Produktionsvorlaufs (Production lead time) vom Markteintrittszeitpunkt (Beginning distribution);
 - Die Dauer der Produktion ergibt sich aus der Addition der Dauer des Produktionsvorlaufs, der Vertriebsdauer sowie der Dauer des positiven bzw. negativen Versatzes des Produktionsendes.

Der Ansatz wird durch eine **gewisse Vorkenntnis zu veranschlagender Zeiträume** für die einzelnen Lebenszyklusphasen erleichtert, um letztendlich die übergreifenden Betrachtungszeiträume ableiten zu können. Dies ist insbesondere bei Leistungsbündeln der Fall, welche bereits Vorläufergenerationen aufweisen. So sind die Zeiträume der einzelnen Phasen in der Automobilindustrie bereits weitestgehend etabliert, was die Anwendung des Ansatzes erleichtert. In diesem Kontext ist auch die Berücksichtigung der Phasen des ökonomischen Lebenszyklus (siehe 2.4.1) hilfreich, um den Zeitraum, über welchen das Leistungsbündel und seine Elemente verkauft werden sollen, besser abschätzen zu können. Dennoch kann der Ansatz auch bei der Planung neuer Leistungsbündel hilfreich sein, indem mögliche Einzelzeiträume abgeschätzt werden und somit ein Gesamtüberblick erreicht werden kann.

Um die Anwendung des Lebenszyklus-Roadmappings zu unterstützen, wurde ein **rechnerbasiertes, prototypisches Werkzeug** umgesetzt. Dieses erlaubt einerseits die zielgerichtete Aufnahme der zur Ableitung der Lebenszykluskonstellationen notwendigen Informationen anhand eines in Microsoft(MS)-Excel (MICROSOFT 2012b) implementierten tabellarischen Formulars. Andererseits führt MS-Excel durch die Hinterlegung entsprechender Makros die Berechnungen zur Ableitung der Lebenszykluskonstellationen durch. Um diese im Anschluss dem Planer transparent darzustellen, werden die Konstellationen anhand einer Lebenszyklus-Roadmap in MS-Visio (MICROSOFT 2012c), welches auf die errechneten Daten in MS-Excel zugreift, übersichtlich dargestellt. Bild 4-3 stellt ein Beispiel zum Lebenszyklus-Roadmapping vor, welches die temporalen Zusammenhänge eines Lebenszyklus (siehe Ziffer 1.0) unter Erweiterung eines Facelifts (siehe Ziffer 1.1) zeigt. Zudem wird in diesem Bild eine weitere Produktgeneration (Ziffer 2.0) berücksichtigt, wobei sowohl für die erste als auch für die zweite Generation Sach-, IT- und Dienstleistungen Eingang finden.

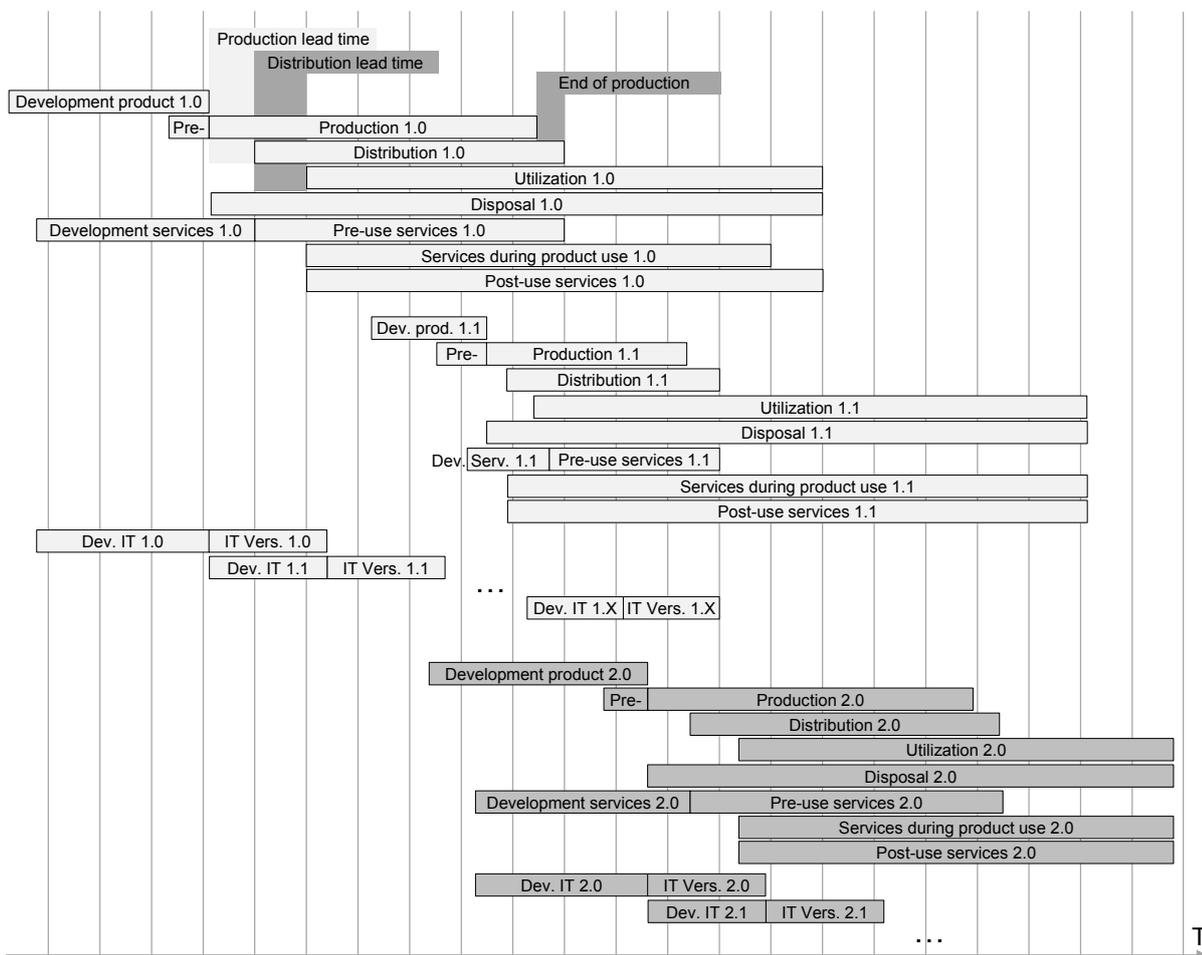


Bild 4-3: Beispielhaftes Lebenszyklus-Roadmapping nach KERNSCHMIDT et al. 2012

Der Ansatz des Lebenszyklus-Roadmappings ist aufgrund der starken Vereinfachung des Leistungsbündellebenszyklus und seiner Phasen sowie den zumeist mit Unsicherheit behafteten Abschätzungen anzugebender Zeiträume auf spezifische Einsatzzwecke limitiert. Nichts-

destotrotz ermöglicht die Anwendung des Ansatzes einen groben **Überblick über die relevanten, zu antizipierenden Zeiträume** und unterstützt den Planer somit bei der Vorbereitung der eigentlichen Akquisition planungsrelevanter Informationen. Zudem kann die **Auswahl geeigneter Projektionsverfahren** (Szenariotechnik, Delphi-Methode, Trendextrapolation, etc.) in Bezug auf die unterschiedlichen Zeithorizonte unterstützt werden. Hierbei sei auf Arbeiten verwiesen, die sich intensiv mit der zielgerichteten Auswahl von Planungsmethoden bezüglich verschiedener Zeithorizonte auseinandersetzen (siehe z. B. PRODUKTENTWICKLUNG 2011g, REGER 2001 – siehe Anhang 8.7).

4.3.2 Lebenszyklusorientierte Kontextanalyse

Aufbauend auf der Auseinandersetzung mit den in der Planung zu berücksichtigenden Zeithorizonten geht dieses Kapitel auf die Unterstützung der **Identifikation und Antizipation planungsrelevanter Informationen** ein. Hierbei gilt es zunächst Kontextfaktoren, welche Einfluss auf die Gestaltung des zukünftig zu erbringenden Leistungsbündels haben, zu identifizieren. An dieser Stelle sei nochmals darauf verwiesen, dass die Projektionsverfahren selbst nicht im Mittelpunkt der Betrachtung stehen, sondern lediglich unterstützende Mechanismen für bereits bestehende Projektionsverfahren dargestellt werden.

Zur Unterstützung der Planungstätigkeiten wird zunächst ein **Erfassungsmodell** adressiert, welches eine generische Planungsgrundlage für die Ableitung situationsspezifischer Kontextfaktoren darstellt. Dieses lehnt sich in seinem Layout sowie den berücksichtigten Dimensionen an die in Kapitel 2.2.3 vorgestellte Suchmatrix zur Anforderungsklä rung nach ROTH 2000 an, erweitert die Suchmatrix jedoch um weitere Betrachtungsgegenstände (siehe Bild 4-4, detaillierte Ausführung im Anhang 8.8).

Demnach handelt es sich um ein **zweidimensionales Ordnungsschema**, welches nicht mehr alleine den Sachleistungslebenszyklus, sondern das in Kapitel 3.2 vorgestellte **Lebenszyklusmodell von Leistungsbündeln** einbezieht. Weiterhin wird der Planer durch die verfeinerte Granularität der dargestellten Lebenszyklusphasen auf spezifische zu berücksichtigende Faktoren entlang des Lebenszyklus aufmerksam gemacht. Die zweite Dimension des Erfassungsmodells lehnt sich an das Modell zur **unternehmens-, markt- und umfeldorientierten Erfassung entwicklungsrelevanter Kontextfaktoren** nach LANGER & LINDEMANN 2009 an. Dieses wird – aufgrund dessen Konsolidierung anhand verschiedener existierender Modelle zur Klärung von Kontextfaktoren – als Grundlage verwendet, wobei die Kategorien zu „Technologie/Wissen“ sowie zu „Ressourcen“ insbesondere aufgrund der Orientierung an Leistungsbündeln sowie der Anwendung des Modells in der Planungsphase leicht angepasst werden.

Im Bereich „Technologie/Wissen“ werden neben den „Technologien“ auch „Wirkprinzipien“ und „Funktionen“ berücksichtigt, um auf das Leistungsbündel bezogene Potenziale auf verschiedenen Abstraktionsstufen reflektieren zu können. Der Bereich der Ressourcen wird um den Punkt der „Infrastruktur“ erweitert, da dieser durch die weiteren Kategorien im Bereich der Ressourcen hinsichtlich der Erbringung von Dienstleistungen nicht ausreichend abgedeckt ist. Aufgrund der Heterogenität der Leistungserbringung und der Rahmenbedingungen verschiedener Unternehmen wird auf eine weitere **Befüllung des Ordnungsschemas** hinsicht-

lich detaillierterer Arten von Kontextfaktoren verzichtet. Zwar würde dies einerseits – wie in der Suchmatrix nach ROTH 2000 – einen noch schnelleren Überblick über gegebenenfalls zu berücksichtigende Kontextfaktoren ermöglichen. Andererseits wird das Blickfeld auf die vorgegebenen Arten von Kontextfaktoren eingeschränkt, weshalb wesentliche Faktoren unberücksichtigt bleiben können.

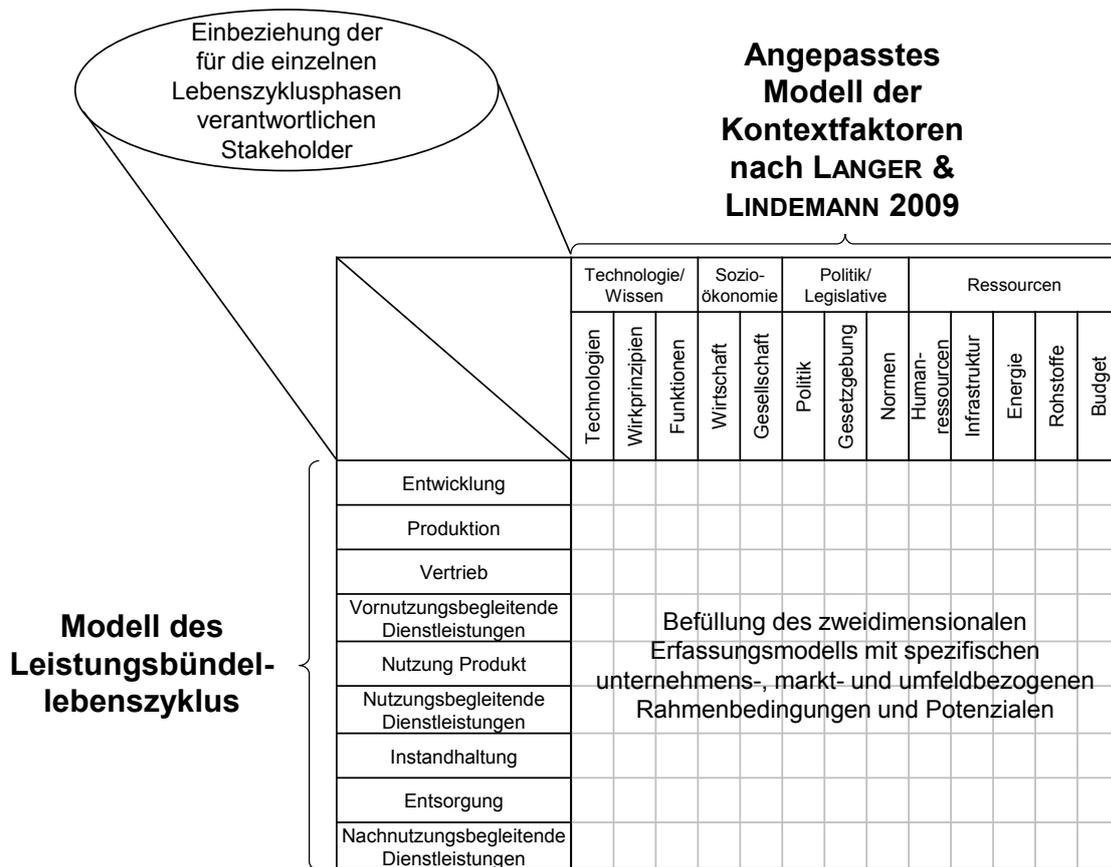


Bild 4-4: Schematische Darstellung des Erfassungsmodells zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung

Viele Informationen in den einzelnen Feldern des Erfassungsmodells können nicht alleine vom Planer aufgrund dessen zum Teil nicht vorhandenen Fachwissens in den verschiedensten Bereichen erhoben werden. Deshalb ist es von Bedeutung, bei der Informationsakquisition die **Stakeholder**, welche die Lebenszyklusphasen des zukünftig zu erbringenden Leistungsbündels verantworten oder zumindest daran teilhaben, einzubinden. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass ein Planer die zukünftig einsetzbaren Fertigungstechnologien selbst nicht kennt. Durch Einbindung der die Produktionstechnologieplanung verantwortenden Stakeholder kann der Planer dieses Wissen jedoch in die Leistungsbündelplanung einbeziehen. Zudem kann eine solche Einbindung der Stakeholder die Akzeptanz dieser bezüglich der späteren Planungsergebnisse in Form von Entwicklungsvorschlägen erhöhen. Weiterhin ermöglicht die Zuordnung zwischen Kontextfaktoren und Stakeholdern bei möglicherweise entstehenden, lebenszyklusbezogenen Zielkonflikten die Einbindung der Stakeholder bei der Priorisierung bzw. Kompromissbildung zur Festlegung zukunftsträchtiger Entwicklungsvorschläge (siehe

Kapitel 4.4.6). Dennoch kann der Planer auch auf **zusätzliche Möglichkeiten der Bedarfs- und Potenzialklärung**, wie sie auszugsweise in Kapitel 2.2.3 oder auch 2.3.2 hinsichtlich der Nutzung von Technologieakzeptanzmodellen oder z. B. auch hinsichtlich bestehender Dienstleistungsmöglichkeiten dargestellt sind, zurückgreifen. In diesem Kontext sei auch auf verschiedene Ansätze zur recyclingorientierten Bedarfs- und Potenzialklärung verwiesen, welche in ORAWSKI et al. 2011 auf ihre Anwendbarkeit in der Planungsphase analysiert werden.

Auch wenn die **Projektion** der als relevant erachteten **Kontextfaktoren** aufgrund der dafür bereits ausgereiften Verfahren nicht im Mittelpunkt der Betrachtung stehen, wird das Thema der Antizipation aufgrund der Relevanz für die erarbeiteten Ansätze dennoch kurz erläutert. Dabei werden auch weitere unterstützende Maßnahmen, welche die Projektion erleichtern können und vom Autor der vorliegenden Arbeit näher betrachtet wurden, angesprochen.

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 dargelegt, ist es im Sinne der multiplen Zukunft von Bedeutung, nicht nur eine mögliche Projektion der Ausprägungen der Kontextfaktoren zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund sind **verschiedene Szenarios** im Sinne des anhand von GAUSEMEIER et al. 1995 vorgestellten Szenario-Managements einzubeziehen.

Bei der Projektion selbst können neben Verfahren wie der Trendextrapolation verschiedenste bekannte **Verlaufsmuster zur Beschreibung und Abschätzung des zeitlichen Verhaltens von Kontextfaktoren** herangezogen werden (PRODUKTENTWICKLUNG 2010h). Ein möglicher Verlauf, der in die Planung einbezogen werden kann, ist der Hype Cycle (FENN & RASKINO 2008). Dieser stellt ein häufig zu betrachtendes Verlaufsmuster hinsichtlich der Wahrnehmung von Technologien in der Öffentlichkeit dar. Zudem sei beispielhaft nochmals auf die Technologie-S-Kurve zur Abschätzung der Reife und Leistungsfähigkeit von Technologien über der Zeit verwiesen. Bei Festlegung der zu berücksichtigenden Faktoren für einen gewissen Zeithorizont kann zusätzlich hinterfragt werden, ob das zeitliche Verhalten des Faktors beeinflusst werden kann oder nicht (PRODUKTENTWICKLUNG 2010a, HEPERLE et al. 2010b). Hierbei ist zudem die Unterscheidung möglich, wie lange es dauert, um einen Faktor tatsächlich zu ändern (z. B. Einstellung neuer Arbeitskräfte) und wie lange es dauert, bis die umgesetzte Maßnahme wirkt (z. B. wann sind neue Arbeitskräfte ausreichend für eine bestimmte Dienstleistungserbringung geschult). Ein weiteres Beispiel wäre, wann das neu auf den Markt kommende FEM-Werkzeug erhältlich ist und wann es im Rahmen der Entwicklung neuer Produkte wirklich im Unternehmen eingesetzt werden kann. Im Hinblick auf Innovationsnetzwerke ist auch von Bedeutung, wann eine neue Technologie am Markt verfügbar ist und bis wann diese für einen bestimmten Anwendungskontext im Unternehmen einsetzbar ist.

Um die antizipierten Ausprägungen der Kontextfaktoren und deren Entwicklung über der Zeit hinsichtlich weiterer Schritte in der Planung übersichtlich zu dokumentieren, bietet sich wiederum der **Einsatz von Roadmaps** an. Diese Roadmaps umfassen neben den relevanten lebenszyklusbezogenen Kontextfaktoren auch verschiedene Ausprägungen bezüglich der entwickelten Szenarios. Der Schritt der Roadmap-Erstellung ist für die weitere Analyse von planungsrelevanten Systemzusammenhängen auf Basis der akquirierten Informationen nicht zwingend geboten, da sich diese auch direkt in die im folgenden Kapitel dargelegten Strukturmodelle überführen lassen. Vor diesem Hintergrund wird auf eine vertiefte Betrachtung dieser Repräsentation in der vorliegenden Arbeit verzichtet und lediglich eine mögliche Umsetzung anhand eines vereinfachten Beispiels skizziert (siehe Bild 4-5).

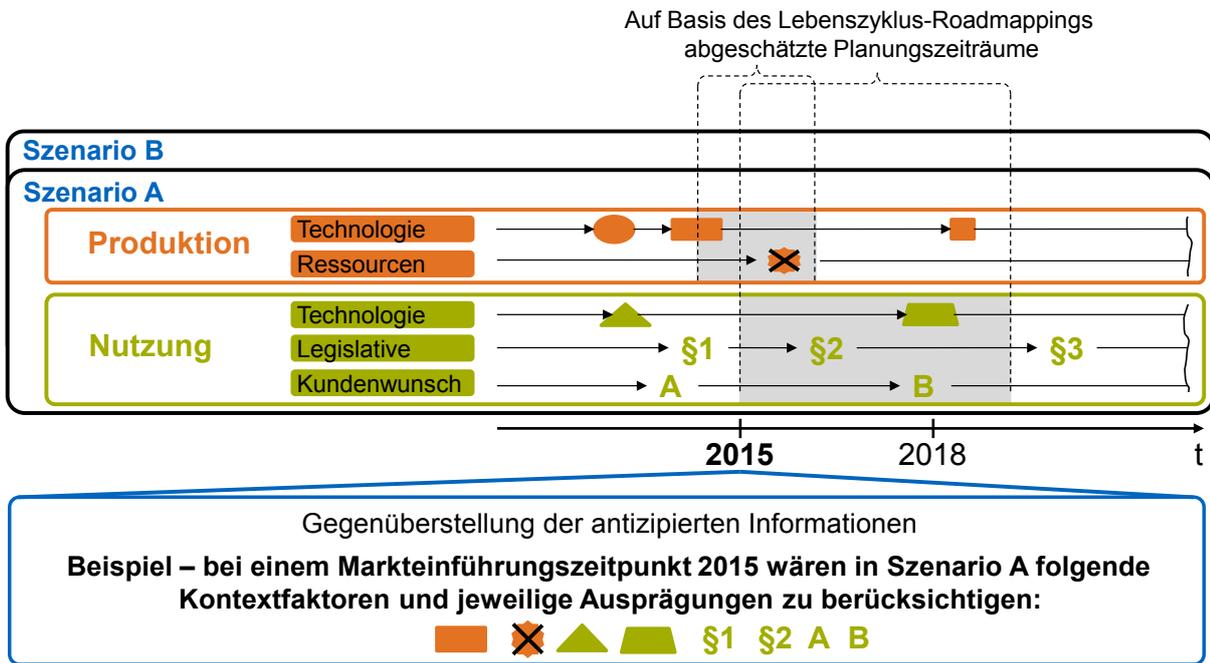


Bild 4-5: Schematische Darstellung einer Roadmap zur Dokumentation akquirierter Informationen

Somit sind in diesem Kapitel verschiedene methodisch-systematische Maßnahmen zur Unterstützung der **Vorbereitung und Durchführung der Informationsakquisition** einer lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung vorgestellt. Die folgenden Kapitel setzen an den bereits gezeigten Maßnahmen an und fokussieren basierend auf der Herleitung geeigneter Strukturmodelle die Analyse spezifischer planungsrelevanter Systemzusammenhänge.

4.4 Identifikation lebenszyklusgerechter Konzepte

Um spezifische **Analysen zur Ableitung planungsrelevanter Systemzusammenhänge** durchführen zu können, bedarf es der zielgerichteten Aufbereitung der Informationen unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.1 dargestellten Anforderungen. Hierfür wird zunächst nochmals dargelegt, was ein lebenszyklusgerechtes Leistungsbündelkonzept im Rahmen der vorliegenden Arbeit auszeichnet. Anschließend erfolgt die Definition zu berücksichtigender Domänen und deren Relationen zur strukturbasierten Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge. Abschließend geht Kapitel 4.4.6 darauf ein, welche methodischen Ansätze herangezogen werden können, um entsprechende Systemzusammenhänge transparent aufzuzeigen.

In Kapitel 4.4 werden bereits verschiedene Ansatzpunkte diskutiert, welche den Umgang mit zukunftsrelevanten, planungsassoziierten Informationen angehen. Der Schwerpunkt von Kapitel 4.4 liegt jedoch weniger auf der spezifischen Handhabung der multiplen Zukunft durch Berücksichtigung verschiedener Szenarios. Daher werden zunächst die **innerhalb eines Szenarios bzw. Anwendungsfalls auftretenden Systemzusammenhänge** fokussiert. Die abge-

leiteten Strukturmodelle sind aber auch Grundlage für die in Kapitel 4.5 dargelegten Kompatibilitätsanalysen zur multiplen Zukunft.

4.4.1 Strukturbasierte Herangehensweise zur Kompatibilitätsprüfung

Die Schritte 4 bis 6 der in Kapitel 4.2 dargestellten Methodik umfassen verschiedene strukturbasierte Analysen zur Reflexion planungsrelevanter Systemzusammenhänge. Zunächst steht im Vordergrund, lebenszyklusgerechte Leistungsbündelkonzepte unter Berücksichtigung der entsprechend reflektierten Systemzusammenhänge zu identifizieren. Dies bedeutet, dass die im Rahmen der Informationsakquisition identifizierten Potenziale und Bedarfe entlang des antizipierten Lebenszyklus gegenübergestellt werden, um Zielbeziehungen bzw. -konflikte schon frühzeitig zu reflektieren. Prinzipiell können **verschiedene Arten von Zielbeziehungen** vorkommen, wie in Anlehnung an HEPERLE et al. 2011b anhand von Beispielen erläutert ist:

- A) Zielbeziehungen können auftreten, weil **zwei Ziele durch die gleiche Eigenschaft** beschrieben werden. Ein vereinfachtes Beispiel in der Automobilindustrie stellt der Umstand dar, dass das Produktziel basierend auf dem Wunsch eines Kunden auf eine Höchstgeschwindigkeit > 150 km/h festgelegt ist, während ein anderer Kunde eine Höchstgeschwindigkeit < 120 km/h wünscht. Diese Art der Zielbeziehung kann dadurch gelöst werden, dass einer der Werte(-bereiche) priorisiert wird. Diese Art der Zielbeziehung wird in der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet, sondern es wird unterstellt, dass solche Zielbeziehungen durch weitere bestehende Mechanismen (z. B. im Rahmen der Szenariobildung) bereits adressiert werden.
- B) Eine weitere Art von Zielbeziehung besteht darin, dass **zwei Ziele über ein Lösungselement** in Beziehung stehen. Ein Beispiel wäre hierfür, dass ein Fahrzeug auf Basis eines Kundenbedarfs einen Kraftstoffverbrauch von < 4 Liter / 100 km einhalten soll und gleichzeitig eine Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in < 6 Sekunden stattfinden soll. Hierbei besteht kein direkter Zusammenhang zwischen den beiden Zielen. Dieser ergibt sich erst dadurch, dass ein spezifisches Lösungselement – in diesem Fall ein Motor – zu beiden Zielen beiträgt. Kann ein bestimmter Motor (z. B. Motor A) nur eines der beiden Ziele erfüllen, so entsteht ein Zielkonflikt. Kann ein Motor (z. B. Motor B) dagegen beide Ziele erreichen, so stehen die Ziele zwar in einer Zielbeziehung, aber nicht in einem Zielkonflikt. Diese Art der Zielbeziehung wird in der vorliegenden Arbeit beleuchtet, wobei die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge insbesondere im Bereich der Vorauswahl weiter zu analysierender Lösungsalternativen angesprochen wird.
- C) Noch eine Art der Zielbeziehung besteht darin, dass **zwei über die jeweils zur Zielerreichung eingesetzten Lösungsalternativen** in Zusammenhang stehen. Ein Beispiel wäre hierfür, dass ein Fahrzeug auf Basis eines Kundenbedarfs eine Höchstgeschwindigkeit > 200 km/h erreichen soll und gleichzeitig ein Zuladungsvolumen > 1500 Liter besitzen soll. Hierbei wäre eine Lösungsalternative zur Erreichung des Zuladungsziels ein Minivan, welcher mit einem Fahrzeuggewicht von mindestens 1,7 Tonnen verbunden ist. Zur Erreichung der Höchstgeschwindigkeit existiert lediglich Motor A als Lösungsalternative, welcher nur im Bereich eines Fahrzeuggewichts unter 1,5 Tonnen ein-

setzbar ist. In der Folge stehen bei einer Kombination der Lösungsalternativen Mini-van/Motor A die beiden zuvor artikulierten Ziele in einem Konflikt. Auf der Identifikation und Reflexion dieser Art von Zielzusammenhängen liegt der Fokus in der vorliegenden Arbeit, da diese Zusammenhänge bei der Betrachtung komplexer Systeme nicht mehr intuitiv nachvollziehbar sind.

Wie bereits anhand der Beispiele aufgezeigt, ist zur Identifikation der Zielbeziehungen eine Kopplung verschiedener das Leistungsbündel beeinflussender und beschreibender Informationen notwendig. Hierfür wird nun ein **Ordnungsschema** vorgestellt, welches dazu dient, die zuvor akquirierten planungsrelevanten Informationen so aufzubereiten, dass diese im Anschluss auf entsprechende Zielbeziehungen hinterfragt werden können. Das Ordnungsschema (HEPPERLE et al. 2011b, PRODUKTENTWICKLUNG 2010d) greift dabei das grundsätzliche Planungsvorgehen auf, dass mögliche Potenziale mit Bedarfen bzw. Rahmenbedingungen gegenübergestellt werden. Hierbei wird auf verschiedene Vorarbeiten zur Systemdarstellung planungsrelevanter Informationen zurückgegriffen. Bild 4-6 zeigt das Ordnungsschema, wobei neben einer **graphenorientierten Repräsentation** der berücksichtigten Domänen auch eine **MDM-basierte Repräsentation** vorbereitend für die darauf aufbauenden strukturbasierenden Analysen erfolgt.

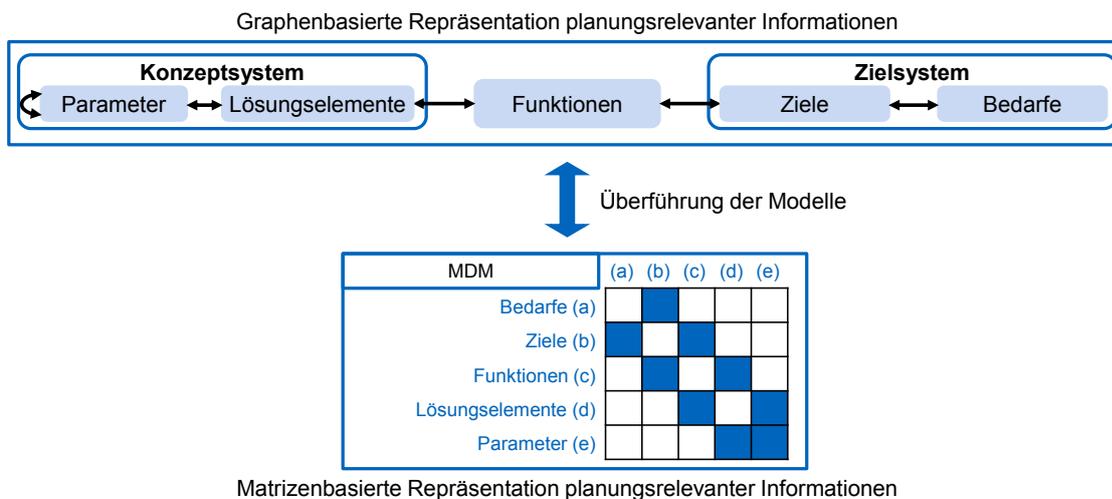


Bild 4-6: Graphenbasiertes Ordnungsschema planungsrelevanter Informationen und matrizenbasierte Darstellung anhand einer Multiple-Domain-Matrix (MDM) in Anlehnung an HEPPERLE et al. 2011b

Im Ordnungsschema wird zum einen in Anlehnung an EILETZ 1999 (siehe auch Kapitel 2.2.3 und 2.5.1) zwischen einem **Konzeptsystem**, welches durch Parameter beschrieben wird, und einem **Zielsystem** unterschieden. Zum anderen wird der Grundgedanke der **Means-End-Kette** nach HERRMANN & HUBER 2009 (siehe auch Kapitel 2.5.1) berücksichtigt, wie ein abstrahierter Nutzen durch eine konkrete Ausprägung des Produkts bzw. Leistungsbündels erzielt werden kann. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die berücksichtigten Elemente und Relationen nicht bis zu den Werthaltungen einzelner Kunden betrachtet werden, sondern dass die in der vorliegenden Arbeit adressierten Zusammenhänge einen stärkeren Fokus auf die Umsetzbarkeit von Leistungsbündeln legen. Um einer zu frühzeitigen Festlegung auf spezifische

Lösungsideen vorzubeugen, wird eine gewisse **Lösungsneutralität** durch die Verbindung des Konzept- und des Zielsystems über eine Funktionsbetrachtung eingebracht (beispielsweise analog zu PONN & LINDEMANN 2011 und SADEK & KÖSTER 2012).

Insgesamt werden im Rahmen des Ordnungsschemas **fünf Domänen** unterschieden, nämlich **Bedarfe/Rahmenbedingungen, Ziele, Funktionen, Lösungselemente und Parameter**. Die in den einzelnen Domänen hinterlegten Elemente sind domänenübergreifend durch spezifische Relationen verbunden. Um die aufgrund ihrer prinzipiellen Ausgestaltung anhand von Lösungselementen auftretenden Zielbeziehungen zu reflektieren, sind zunächst lediglich die Verbindungen zwischen den im Ordnungsschema jeweils direkt benachbarten Domänen zu berücksichtigen, da sich darüber wiederum weitere indirekte Beziehungen beispielsweise zwischen den Zielen ableiten lassen (Ausnahme: Abhängigkeiten innerhalb der Parameter-Domäne). Diese Zusammenhänge sind in der MDM farblich gekennzeichnet: dies betrifft einerseits die entsprechenden DMMs zur Kennzeichnung relevanter domänenübergreifender Zusammenhänge sowie die DSM der Parameter zur Kennzeichnung der innerhalb dieser Domäne zu berücksichtigenden Relationen.

Die Domänen der Systemelemente lassen sich – zum Teil in Anlehnung an PONN & LINDEMANN 2011 – wie folgt beschreiben:

- Ein **Bedarf bzw. eine Rahmenbedingung** stellt eine im Kontext der Planung antizipierte Gegebenheit im Unternehmen, Markt oder Umfeld dar, welche das zukünftig zu erbringende Leistungsbündel sowie seinen Lebenszyklus beeinflusst.
- Ein **Ziel** beschreibt den angestrebten Zustand des Leistungsbündels bzw. der mit dem Leistungsbündel assoziierten Lebenszyklusphasen.
- Eine **Funktion** beschreibt eine Operation eines Leistungsbündels bzw. eine Operation an/mit dem Leistungsbündel.
- Ein **Lösungselement** beschreibt eine Maßnahme zur Umsetzung des Leistungsbündels bzw. der assoziierten Lebenszyklusphasen.
- Ein **Parameter** stellt eine direkte oder indirekte Eigenschaft, d. h. ein direktes oder indirektes Merkmal sowie dessen Ausprägung dar.

Die zu berücksichtigenden Relationen lassen sich weiterhin wie folgt beschreiben:

- **Bedarf – Ziel** (bidirektional): Ein bzw. mehrere Bedarf(e)/Rahmenbedingung(en) wird/werden durch ein bzw. mehrere Ziel(e) beschrieben.
- **Ziel – Funktion** (bidirektional): Ein bzw. mehrere Ziel(e) wird/werden durch die Durchführung einer bzw. mehrerer Funktion(en) ermöglicht.
- **Funktion – Lösungselement** (bidirektional): Eine bzw. mehrere Funktion(-en) wird/werden durch ein bzw. mehrere zu dieser/diesen Funktion(en) beitragende(s) Lösungselement(e) ermöglicht.
- **Lösungselement – Parameter** (bidirektional): Ein bzw. mehrere Lösungselement(e) wird/werden durch einen bzw. mehrere Parameter beschrieben.
- **Parameter – Parameter** (bidirektional): ein bzw. mehrere Parameter bezüglich eines Lösungselements befindet/befinden sich in direkter Abhängigkeit zu einem/mehreren Parameter(n) eines anderen Lösungselements.

Das Ordnungsschema lässt sowohl eine am Konzeptsystem und seinen möglichen Lösungselementen (im Sinne von **Technology-Push**) als auch eine am Zielsystem orientierte Ausrichtung der Planung (im Sinne von **Market-Pull**) zu. Dies bedeutet, dass es in einigen Planungssituationen sinnvoll ist, ausgehend von möglichen Konzepten zu hinterfragen, welche Funktionen mit den entsprechend hinterlegten Lösungselementen erfüllt werden können, um so auf neue Ideen bezüglich zu befriedigender Ziele zu stoßen. In anderen, am tatsächlich schon vorhandenen Stakeholder ausgerichteten Planungssituationen kann es dagegen sinnvoll sein, zunächst Funktionen basierend auf den Zielen abzuleiten, um für diese Funktionen sinnvolle Lösungselemente zu identifizieren. Zudem ist auch eine Kombination der Ausrichtungen möglich, falls sowohl ein breiter Lösungsraum im Konzeptsystem als auch ein umfassendes Zielsystem gleichzeitig Berücksichtigung finden sollen. Somit sind prinzipiell verschiedenste Konstellationen möglich, in der vorliegenden Arbeit wird auf eine differenzierte dahingehende Auseinandersetzung jedoch verzichtet. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die auf den strukturbasierten Modellen aufbauenden Analysen für die verschiedenen Ausrichtungen gleichermaßen durchgeführt werden können.

Auf diese Darlegung der übergeordneten Zusammenhänge folgt nun schrittweise eine Erläuterung der Erstellung des Zielsystems, des Konzeptsystems sowie der diese Bereiche verknüpfenden Funktionen. Hierbei erfolgt zunächst eine Fokussierung auf die Zusammenhänge der Domänen bezüglich einer Lebenszyklusphase, bevor eine Erweiterung des Ansatzes hinsichtlich einer ganzheitlichen Lebenszyklusbetrachtung stattfindet.

4.4.2 Zielsystem

Das **Zielsystem** definiert sich über die in der Planung zu berücksichtigenden **Bedarfe und Rahmenbedingungen des Unternehmens, des Markts und des Umfelds** sowie den überwiegend daraus abgeleiteten **Zielen**. Vor dem Hintergrund, Konflikte zwischen den gesteckten Zielen an ein Leistungsbündel und den mit ihnen assoziierten Lebenszyklusphasen zu identifizieren, ist es jedoch nicht zwingend erforderlich, dass ein übergeordneter Bedarf artikuliert wird. Daher ist es möglich, dass Ziele direkt aus den in Kapitel 4.3 dargestellten Maßnahmen zur Informationsakquisition resultieren. Um den Unterschied zwischen Bedarfen/Rahmenbedingungen und Zielen darzulegen, sollen folgende Beispiele dienen:

- Beispiel 1 – Bezug zur Lebenszyklusphase Produktion:
 - *Bedarf/Rahmenbedingung*: Ökologisches Bewusstsein der Kunden;
 - *Abgeleitetes Ziel*: 10 % niedrigerer Energieverbrauch in der Herstellung des Produkts im Vergleich zum Vorgängerprodukt.
- Beispiel 2 – Bezug zur Lebenszyklusphase Nutzung:
 - *Bedarf/Rahmenbedingung*: Steigerung der durchschnittlichen Lebenserwartung;
 - *Abgeleitetes Ziel*: Altersgerechtere Gestaltung der Interaktion von Kunde und Produkt als beim Wettbewerberprodukt.
- Beispiel 3 – Bezug zur Lebenszyklusphase Recycling:
 - *Bedarf/Rahmenbedingung*: Neue, striktere Gesetzgebung zur Arbeitssicherheit;
 - *Abgeleitetes Ziel*: Vermeidung von Kontakt mit Gefahrenstoffen.

Auf eine spezifische Definition, welche Bestandteile eine Zielformulierung aufweisen muss, wird an dieser Stelle aufgrund der Heterogenität von Planungssituationen verzichtet. Wie aber bereits anhand der Beispiele angedeutet ist, können **Ziele** eine rein **qualitative Ausprägung** haben (Beispiel 3), während andere Ziele mit **quantitativen Informationen** hinterlegt sind (Beispiel 1). Zudem können Ziele auch so formuliert werden, dass diese in Relation zu einem anderen Betrachtungsgegenstand stehen (z. B. bezüglich des Vorgängerprodukts bzw. des Wettbewerberprodukts – siehe Beispiele 1 und 2). Eine quantitative Formulierung der Ziele kann die Überprüfung der Zielerreichung und Vorauswahl geeigneter Lösungselemente unterstützen, im Sinne der anstehenden strukturbasierten Analyse von Zielzusammenhängen ist eine quantitative Zielformulierung zunächst nicht erforderlich.

Zur Sammlung planungsrelevanter Ziele ist es in vielen Planungssituationen von Bedeutung, die entsprechenden **Stakeholder entlang des Lebenszyklus** einzubeziehen. Dies erst erlaubt eine umfassende Klärung der Ziele, da der Planer oftmals auf das entsprechende Fachwissen der Personen, welche die verschiedenen Lebenszyklusphasen verantworten bzw. dort eingebunden sind, angewiesen ist. Vor diesem Hintergrund wird an dieser Stelle auch nicht näher auf die Methoden zur Definition von Zielen auf Basis der identifizierten Bedarfe bzw. Rahmenbedingungen eingegangen. Diese Relationen werden zum Teil in den entsprechenden Fachabteilungen durch Erfahrungswissen abgeleitet bzw. können durch entsprechenden Methodeneinsatz (Brainstorming, Benchmarking, Expertengespräche, etc.) identifiziert werden. Zudem erlaubt eine frühzeitige Einbindung relevanter Stakeholder dem Planer einen Überblick, welche Personen im Falle eines Zielkonflikts zu dessen Klärung herangezogen werden sollten.

Aus dem sich aus allen Lebenszyklusphasen ergebenden Set an Zielen können sich bereits erste **widersprüchliche Zielsetzungen** ergeben, welche sich durch die unterschiedliche Festlegung der Ausprägung eines Ziels ergibt (siehe Beispiel A zu Beginn des Kapitels 4.4.1). Diese Art von Widerspruch wird in den strukturbasierten Analysen zur Überprüfung der Zielkompatibilität nicht adressiert. Hierbei ist es Aufgabe des Planers, mit den Stakeholdern bereits an dieser Stelle in Kontakt zu treten und sich auf ein dahingehend konsistentes Anforderungsset zu einigen, bevor weitere tieferegehende Analysen der Systemzusammenhänge durchgeführt werden.

Zudem ist bei der **Zieldefinition** zu beachten, dass Ziele, welche erst im Rahmen einer Gesamtbetrachtung aller Zusammenhänge reflektiert werden können, zunächst zurückzustellen sind. Ein Beispiel in diesem Zusammenhang sind Kostenziele bezüglich des gesamten Produkts bzw. Leistungsbündels. Die Reflexion solcher Ziele ist hinsichtlich der Umsetzbarkeit eines Leistungsbündels von großer Bedeutung, weshalb diese Ziele aber auch durchaus im Rahmen der in Kapitel 4.3.2 dargestellten Informationsakquisition aufgegriffen werden sollten. Nachdem sich diese Art von Zielen jedoch auf einen Großteil der verschiedenen Lebenszyklusphasen und damit verbundenen Funktionen niederschlägt, ist eine diesbezügliche Analyse im Rahmen der strukturbasierten Betrachtung einzelner Zielbeziehungen nicht zu verfolgen. Dennoch gilt es diese übergeordneten Ziele in weiteren bzw. parallel zur strukturbasierten Analyse laufenden Bewertungen einzubeziehen (siehe Kapitel 4.4.6).

Wie bereits hinsichtlich der Relationen zwischen Zielen und Bedarfen dargelegt, ist keine eins zu eins Übersetzung von Bedarfen in Ziele angestrebt, sondern es ist durchaus möglich, dass

ein Ziel mehrere Bedarfe betrifft, und umgekehrt, dass ein Bedarf durch mehrere Ziele adressiert wird. Die Relationen zwischen Bedarfen und Zielen gilt es für die strukturbasierte Analyse der Zielbeziehungen im **Strukturmodell der MDM** zu dokumentieren. Hierbei werden die Domänen der Ziele und Bedarfe gesondert berücksichtigt. Die weiter zu verfolgenden Ziele und Bedarfe werden als einzelne Elemente in den jeweiligen Domänen der MDM hinterlegt. Die Verknüpfung der beiden Domänen wird anhand der DMM zwischen Zielen und Bedarfen dargelegt, wobei lediglich berücksichtigt wird, ob eine Relation zwischen einem Ziel und einem Bedarf vorhanden ist oder eben nicht. Dies resultiert in einer 1 (Relation vorhanden) bzw. in einer 0 (Relation nicht vorhanden) in der entsprechenden Zelle der DMM.

4.4.3 Konzeptsystem

Das **Konzeptsystem** umfasst neben den **Lösungselementen** auch deren Charakterisierung anhand von **Parametern**. Die Lösungselemente können sich einerseits schon sehr konkret darstellen – z. B. als bereits erhältliche Zulieferkomponenten, Produktionsanlagen und am Markt eingesetzte Dienstleistungen. Andererseits können Lösungselemente als Bestandteil eines zukünftig zu erbringenden Leistungsbündels gegebenenfalls noch nicht so präzise beschrieben werden, aber einen ebenso wichtigen Input für die Identifikation planungsrelevanter Systemzusammenhänge darstellen. In diesem Kontext sind beispielsweise noch nicht marktfähig umgesetzte Technologien in der Vorentwicklung oder auch prinzipielle Mechanismen zur Erbringung von Dienstleistungen zu nennen. Lösungselemente spannen den Lösungsraum des zukünftig zu erbringenden Leistungsbündels auf und stellen somit das **Potenzial** dar, welches ein **Unternehmen** bzw. ein **Netzwerk aus Unternehmen** aufweist, um Ziele und im Endeffekt Bedarfe befriedigen zu können.

Die **Parameter zur Charakterisierung von Lösungselementen** definieren sich als Eigenschaften im Sinne von PONN & LINDEMANN 2011 (siehe auch Kapitel 2.5.1), d. h. ein Parameter ist durch ein Merkmal und eine Ausprägung gekennzeichnet. Als Parameter können sowohl direkte als auch indirekte Eigenschaften dienen. Dies entspricht im Wesentlichen der von WEBER 2005 vorgeschlagenen Unterscheidung zwischen Characteristics (Merkmale) welche vom Entwickler direkt beeinflusst werden, und den Properties (Eigenschaften), welche nicht unmittelbar gestaltbar sind. Im Kontext der Gegenüberstellung planungsrelevanter Informationen werden die Parameter herangezogen, um die Kompatibilität zwischen Lösungselementen über deren gemeinsamen Zugriff auf Parameter zu hinterfragen.

Eine Kopplung verschiedener Lösungselemente über einen **Parameter**, welcher anhand einer **direkten Eigenschaft** beschrieben ist, wird aufgrund dessen direkter Beeinflussbarkeit erleichtert. Hierfür müssen aber oftmals schon sehr detaillierte Kenntnisse über die konkrete Umsetzung vorliegen, um diese Zusammenhänge zu verstehen. Ein Beispiel hierfür ist die Kenntnis über die maximal fertigbare Breite eines Kraftfahrzeugs bedingt durch eine gewisse Produktionsanlage. Diese würde sich hinsichtlich der Kompatibilität mit der Mindestbreite eines Minivans über das Parametermerkmal Fahrzeugbreite sehr gut überprüfen lassen.

Im Kontext der Unterstützung planerischer Tätigkeiten wird in der vorliegenden Arbeit der Ansatz verfolgt, dass neben den direkten auch **indirekte Eigenschaften als Parameter** dienen können, da eine Kopplung von Lösungselementen auch auf dieser Ebene ermöglicht wer-

den kann. Ein Beispiel in diesem Zusammenhang wäre die Beschreibung eines Motors durch dessen erzeugtes Drehmoment und die Beschreibung der am Motorausgang befestigten Welle durch deren aufnehmbares Drehmoment.

Hinsichtlich der Festlegung der Ausprägung von Parametern können verschiedene Möglichkeiten unterschieden werden. Einerseits können Parameter – falls eine genaue Kenntnis über ihre Ausprägung vorliegt – **quantitativ** beschrieben werden. Hierbei lässt sich unterscheiden, ob ein gesamter **Wertebereich** oder ein **diskreter Wert** beachtet wird. Andererseits besteht vor dem Hintergrund planerischer Tätigkeiten die Möglichkeit, Parameter lediglich **qualitativ** zu beschreiben. Ein Wertebereich kann im qualitativen als auch im quantitativen Bereich einerseits dazu dienen, einen Potenzialrahmen aufzuzeigen, d. h. die Ober- und Untergrenze bezüglich eines Parameters darzulegen. Zudem kann die Beschreibung durch einen Wertebereich vor dem Hintergrund der Planungsunsicherheit auch dazu genutzt werden, um einen ungefähren Rahmen darzulegen, in welchem sich eine Ausprägung des Parameters bewegen wird. In diesem Kontext ist hervorzuheben, dass ein Lösungselement auch durch mehrere Wertebereiche gekennzeichnet sein kann. Folgend sind drei Beispiele dargelegt, um die unterschiedlichen Ausprägungsarten eines Parameters nachzuvollziehen, wobei mögliche Ausprägungen des Merkmals Nenndrehmoment M für das Lösungselement Motor beispielhaft dargelegt sind:

- Textuelle Beschreibung: Großes M ;
(Mögliche Wertebereiche: kleines M , mittleres M , großes M).
- Beschreibung mit Wertebereich: $351 < M [\text{Nm}] < 400$;
(Mögliche Wertebereiche: $250 < M < 300$; $301 < M < 350$; $351 < M < 400$).
- Beschreibung mit diskretem Wert: $M = 355$;
(Mögliche Wertebereiche: alle ganzzahligen Werte für M zwischen 250 und 400).

Um das Potenzial zur Leistungsbündelerbringung eines Unternehmens anhand des Konzeptsystems facettenreich zu gestalten, gilt es nicht nur jeweils eine Lösungsalternative bzw. ein Lösungselement pro Funktion zu berücksichtigen. Insofern ist insbesondere in der Planungsphase das **Denken in Alternativen** sehr wichtig, um einer zu frühzeitigen Festlegung auf ein Leistungsbündel und einen entsprechend gestalteten Lebenszyklus vorzubeugen. Mit dieser Herangehensweise steigen die möglichen Kombinationen, weshalb die Identifikation geeigneter Konzepte schnell unübersichtlich werden kann. In der vorliegenden Arbeit werden zwei Schritte zur Eingrenzung der in der strukturbasierten Analyse zu verfolgenden Lösungselemente und der dabei zu berücksichtigenden Parameter vorgeschlagen, ohne das Denken in Alternativen zu stark einzugrenzen.

Zum einen betrifft dies die **Auswahl der Parameter** zur Beschreibung des Lösungselements. Hierbei ist darauf zu achten, dass nicht alle möglichen Parameter, durch welche ein Lösungselement beschrieben werden kann, auch tatsächlich zur Charakterisierung herangezogen werden. Vielmehr ist ein Fokus auf die wesentlichen leistungsbeschreibenden sowie leistungslimitierenden Parameter zu legen. So ist beispielsweise bei der Betrachtung einer Batterientechnologie im Kontext der Planung von Kraftfahrzeugen von Interesse, welche Leistungsdichte und welche Energiedichte die Batterie als leistungsbeschreibende Parameter aufweist. Zudem sind als leistungslimitierende Parameter z. B. die maximale Anzahl an Ladezyklen

bzw. die Ladedauer von Interesse. Dagegen stellt das Material des Batteriegehäuses zunächst keinen wesentlichen leistungsbeschreibenden oder leistungslimitierenden Parameter dar und sollte vor dem Hintergrund des Umgangs mit einer großen Menge an Lösungsalternativen auf Gesamtfahrzeugebene zunächst zurückgestellt werden. Die Identifikation relevanter Parameter kann wiederum durch bestehende methodische Ansätze zur Informationsakquisition (z. B. Eigenschaftschecklisten, Expertengespräche, Einordnung in bestehende Technologiefelder) unterstützt werden. Dies wird an dieser Stelle nicht weiter vertieft, als Beispiel für die Unterstützung der Identifikation relevanter Parameter sei an dieser Stelle lediglich an das im Anhang 8.9 befindliche Schema der Beschreibungsgrößen zur Technologiecharakterisierung verwiesen (PRODUKTENTWICKLUNG 2010f).

Zum anderen kann eine Vorauswahl weiter zu verfolgender Lösungselemente dadurch erfolgen, ob ein **Lösungselement prinzipiell für die entsprechend aufgestellten Ziele einsetzbar** ist. Wie bereits als Beispiel der Zielbeziehungsart B zu Beginn von Kapitel 4.4.1 dargestellt, ist es gegebenenfalls sinnvoll, ein Lösungselement nicht weiter zu berücksichtigen, da dieses für das gewählte Set an Zielen an sich nicht geeignet ist. Dies betrifft in dem genannten Beispiel Motor A, welcher nur eines der beiden gesetzten Ziele erfüllen kann, nicht aber beide mit dem Motor assoziierten Ziele. Eine solche Vorauswahl kann den Umgang mit dem Lösungsraum erleichtern, birgt aber die Gefahr, Lösungselemente zu eliminieren, welche zwar nicht alle Ziele erfüllen, aber im Kontext eines weiter zu verfolgenden Gesamtkonzepts dennoch eine tragende Rolle spielen könnten.

Als Vorbereitung zur strukturbasierten Analyse werden die beiden Domänen der **Lösungselemente und Parameter** in einer DMM verknüpft. Hierbei ist es wiederum möglich, dass ein Parameter zur Charakterisierung eines oder mehrerer Lösungselemente herangezogen wird. Zudem ist es möglich, dass ein Lösungselement durch mehrere Parameter beschrieben wird. Um die Kompatibilität von Lösungselementen nicht nur hinsichtlich des Zugriffs auf das gleiche Merkmal, sondern auch hinsichtlich der Ausprägung zu hinterfragen, wird in der Domäne Parameter für jeden angelegten Wertebereich eines Parameters ein Element erstellt. Ist somit ein Lösungselement mit einem spezifischen Parameter verbunden, so wird in der entsprechenden Zelle der DMM der Wert 1 hinterlegt, ist dagegen der Wert(ebereich) hinsichtlich dieses Parametermerkmals für ein Lösungselement nicht zulässig, so wird in der entsprechenden Zelle der DMM der Wert 0 hinterlegt (siehe Bild 4-7).

Nachdem nicht alle Lösungselemente durch alle Parameter beschrieben werden, ist zunächst nur eine Befüllung der **Bereiche, welche der tatsächlichen Charakterisierung der Lösungselemente dienen**, erforderlich. In der graphenbasierten Darstellung (links in Bild 4-7) ist beispielhaft angedeutet, welche Parameter zur Beschreibung der jeweiligen Lösungselemente erforderlich sind. Die entsprechenden Relationen sind in der DMM (rechts in Bild 4-7) farbig hinterlegt. Nachdem die jeweils für ein Lösungselement nicht berücksichtigten Parameter für die Beschreibung dieses Lösungselements belanglos sind, wird für die Befüllung der DMM weiterhin unterstellt, dass das Lösungselement mit den weiteren Parametern kompatibel ist. Vor diesem Hintergrund wird den weiteren, bislang nicht betrachteten (weiß hinterlegten) Zellen der DMM jeweils der Wert 1 zugeordnet, um die weitere strukturbasierte Analyse zu gewährleisten.

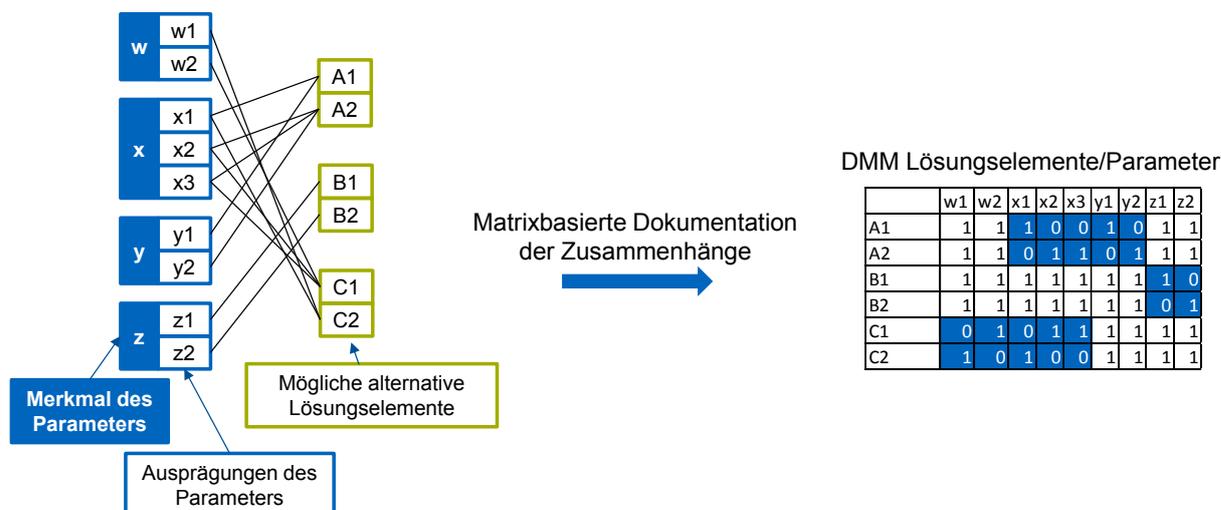


Bild 4-7: Matrixbasierte Dokumentation der Beschreibung von Lösungselementen

Im Rahmen der Erstellung der DMM ist darauf zu achten, dass so viele **Wertebereiche für ein Parametermerkmal** wie notwendig erstellt werden. Ist beispielsweise das Lösungselement L1 durch den Wertebereich 20-40 und das Lösungselement M2 durch den Wertebereich 30-50 gekennzeichnet (nicht in Bild 4-7 dargestellt), so sind insgesamt drei Elemente auf Seiten der Parameter zu berücksichtigen. Die Elemente würden demnach die Bereiche 20-29, 30-40, 41-50 umfassen, wobei das Lösungselement L1 durch die ersten beiden Bereiche und M2 durch die beiden letzteren Bereiche gekennzeichnet wäre. Ist ein Lösungselement aufgrund der Planungsunsicherheit nur qualitativ beschrieben, während das andere Lösungselement quantitativ beschrieben ist, so ist es möglich, den quantitativ beschriebenen Parameter anhand der qualitativen Werte zu adressieren. Sollten zahlreiche Lösungselemente durch das gleiche Parametermerkmal beschrieben werden und sowohl einige quantitative als auch einige qualitative Beschreibungen der Ausprägung vorliegen, so ist der Umgang mit dieser Konstellation vor dem Hintergrund des jeweiligen Planungszwecks situationsspezifisch zu klären (nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit).

Bei der Befüllung der DMM sollte weiterhin darauf geachtet werden, dass **die für ein Lösungselement herangezogenen Parameter zueinander kompatibel** sind. Ein Beispiel hierfür wäre, dass im Falle der Charakterisierung einer Batterie die Ladedauer sowie die durch die Batterie zur Verfügung stehende Energie zueinanderpassen und an sich konsistent sind. Zudem ist es möglich, dass bestimmte Parameter zueinander nicht kompatibel sind, welche nicht zur Beschreibung des gleichen Lösungselements dienen. Verfolgt man die Analyse von Kompatibilitäten auf Basis der Inkonsistenzen von Parametern untereinander, so ist für eine dahingehende strukturbasierte Analyse zudem die DSM zur Darstellung der Kompatibilität der Parameter untereinander zu befüllen (siehe Kapitel 4.4.6).

Durch die Ableitung der DMM zwischen Lösungselementen und Parametern sowie der DSM der Parameter ist bereits die **Grundlage für die strukturbasierte Reflexion der Kompatibilität von Lösungselementen** geschaffen. Um diese in den Kontext der zu erreichenden Ziele

zu stellen, wird im nächsten Unterkapitel die Kopplung von Lösungselementen und Zielen über eine Funktionsbetrachtung erläutert. Wie die Kompatibilitäten zwischen Lösungselementen durch Methodenunterstützung analysiert und darauf aufbauend Zielkonflikte eruiert werden können, wird in Kapitel 4.4.6 näher erläutert.

4.4.4 Funktionsorientierte Verknüpfung von Ziel- und Konzeptsystem

Während die im Zielsystem artikulierten Ziele einen angestrebten Zustand des Leistungsbündels bzw. der mit dem Leistungsbündel assoziierten Lebenszyklusphasen beschreiben, stellt ein Lösungselement gegebenenfalls eine sehr konkrete Umsetzungsmöglichkeit des Leistungsbündels dar. Um diesen Spannungsbogen zu schließen, wird eine **funktionsorientierte Kopplung der Domänen** eingeführt. Die funktionale Betrachtung erlaubt zum einen, die akquirierten Ziele mit einer ersten abstrakten Lösungsbeschreibung zu verknüpfen, ohne die Umsetzung vorwegzunehmen. Zum anderen wird die Möglichkeit geschaffen, dass die umsetzungsorientierte Beschreibung von Leistungsbündeln zunächst hinsichtlich ihrer Funktion hinterfragt werden kann, bevor spezifische Zielsetzungen mit diesen in Verbindung gebracht werden. Dies erlaubt in beiden Richtungen eine offenere Auseinandersetzung mit der Befriedigung von Zielsetzungen durch entsprechende Umsetzungsmöglichkeiten.

Zur **Funktionserhebung** können verschiedene existierende methodisch-systematische Ansätze herangezogen werden. Als Beispiele seien an dieser Stelle die relationsorientierte, die umsatzorientierte sowie die nutzerorientierte Funktionsmodellierung angeführt (PONN & LINDEMANN 2011). Viele der existierenden Funktionsmodelle gehen bereits auf die Verknüpfung der Funktionen untereinander ein – wie beispielsweise die umsatzorientierte Funktionsmodellierung den Stoff-, Material- und Signalumsatz durch die Folge und das Ineinandergreifen verschiedener Operationen darlegt. Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist eine solche Verknüpfung der Funktionen zunächst nicht näher zu betrachten, da die Zusammenhänge der Funktionen über die in Kapitel 4.4.1 dargelegten Relationen reflektiert werden. Für die Akquisition relevanter Funktionen ist daher insbesondere der den weiteren Funktionsmodellierungsansätzen zugrunde liegende Funktionsbaum von Bedeutung (PONN & LINDEMANN 2011, S. 71), wobei die Gesamtfunktion eines Systems in verschiedene Teilfunktionen hierarchisch heruntergebrochen wird. Hierbei können verschiedenste Hierarchieebenen adressiert werden, wobei eine Detaillierung der Funktionen oftmals mit einer Reduktion der Lösungsneutralität einhergeht.

Bei der Erarbeitung eines strukturbasierten Modells als Grundlage der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel ist darauf zu achten, die im weiteren Vorgehen zu berücksichtigenden Funktionen nicht zu detailliert zu erfassen. Neben der **Ermöglichung des Denkens in Alternativen** wird darüber hinaus gewährleistet, dass die Menge an Funktionen überschaubar bleibt und in der Folge durch den Planer Anwendung finden kann. Hierbei ist – ähnlich wie bei den in Kapitel 4.4.3 zu berücksichtigenden Parametern – eine Fokussierung auf die wesentlichen das Leistungsbündel beschreibenden Funktionen hilfreich. Nachdem sich spezifische Planungssituationen (z. B. Gesamt- oder Subsystemebene, inkrementell oder radikal, Neu- oder Anpassungsplanung, etc.) in der Praxis sehr stark unterscheiden, wird in der vorliegenden Arbeit auf eine spezifische Beschreibung zur Ableitung der Funktionen verzichtet.

Die identifizierten Funktionen gilt es für die strukturbasierte Analyse von Systemzusammenhängen wiederum in verschiedenen Matrizen mit weiteren Domänen in Relation zu stellen. Hierfür werden die **DMM zwischen Lösungselementen und Funktionen** und die **DMM zwischen Funktionen und Zielen** erstellt. Wiederum können beliebig viele Funktionen mit beliebig vielen Lösungselementen bzw. Zielen gekoppelt werden. Besteht eine Relation zwischen einer Funktion sowie einem entsprechend anderen Element, so erfolgt als Eintrag in der entsprechenden Zelle der Wert 1, ansonsten wird der Wert 0 eingetragen.

4.4.5 Erweiterung um Lebenszyklusperspektive

Obschon die bislang skizzierten Beispiele die Zusammenhänge zwischen Bedarfen bzw. Rahmenbedingungen, Zielen, Funktionen, Lösungselementen sowie Parametern überwiegend bezüglich der Nutzungsphase aufgezeigt haben, sind diese auch in einem weiter gefassten Kontext anwendbar. So kann eine Reflexion der Systemzusammenhänge innerhalb einer weiteren Phase durchgeführt werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit, welche die **lebenszyklusphasenübergreifende Planung von Leistungsbündeln** adressiert, gilt es insbesondere einen Rahmen für die Reflexion phasenübergreifender Systemzusammenhänge darzulegen. Dieser Aspekt wird anhand eines abstrahierten Beispiels in einer graphenorientierten Darstellung in Bild 4-8 näher dargelegt. Hierbei gehen neben der Nutzungsphase auch die sachleistungsorientierte Produktion sowie die Auflösungsphase ein.

Die **Kopplung der Lösungselemente mehrerer Lebenszyklusphasen** erfolgt über die jeweils zugeordneten Parameter und deren Wertebereiche sowie die Verknüpfung der Parameter untereinander. In Bild 4-8 ist die Gegenüberstellung der Wertebereiche eines Parameters anhand der schwarzen Balken, welche qualitativ den jeweils für ein Lösungselement relevanten Wertebereich skizzieren, dargelegt. Zwar werden in Bild 4-8 jeweils maximal zwei Lösungselemente einem Parameter zugeordnet, dies ist lediglich der übersichtlicheren Darstellung geschuldet. Tatsächlich können beliebig viele Lösungselemente mit einem Parameter assoziiert werden. Die in Kapitel 4.4.3 dargelegte Nutzung direkter und indirekter Eigenschaften spielt insbesondere in der lebenszyklusübergreifenden Planung eine wichtige Rolle. In diesem Kontext wurden im SFB 768 zunächst grundsätzliche Kommunikationswege zwischen Produkt- und Produktionstechnologieplanung und dabei zu berücksichtigende Informationen literaturbasiert reflektiert (BEHNCKE et al. 2011). Zudem konnte für verschiedene Fertigungsverfahren nach der DIN 8580 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2003a) die Ableitung leistungsbeschreibender Parameter und deren Relationen zu produktbeschreibenden Parametern dargelegt werden (PRODUKTENTWICKLUNG 2012).

Die **Parameter** der einzelnen Lebenszyklusphasen können einerseits so formuliert werden, dass der **Bezug zur jeweiligen Lebenszyklusphase** erkennbar bleibt. Ein Beispiel hierfür wäre, dass das produktionsbezogene Lösungselement „Bauteilzufuhr durch Roboter A“ durch das Parametermerkmal „maximale Reichweite“ angegeben ist. Andererseits kann ein Parameter so formuliert werden, dass sich dieser immer **direkt auf das Produkt bzw. Leistungsbündel** bezieht. In diesem Fall könnte anstatt dem Parametermerkmal „maximale Reichweite“ auch das Parametermerkmal „maximale Bauteilbreite“ artikuliert werden. Werden die Parameter allesamt direkt auf das Leistungsbündel bezogen, so erhöht sich die Durchgängigkeit der verwendeten Informationen und in der Folge wird dem Planer die Kopplung der Lö-

sungselemente unterschiedlicher Lebenszyklusphasen erleichtert. Dennoch ist auch der Umgang mit mehreren Bezugspunkten der Parameter möglich, da diese – wie in Kapitel 4.4.3 dargestellt – innerhalb der DSM der Parameter miteinander verknüpft werden können.

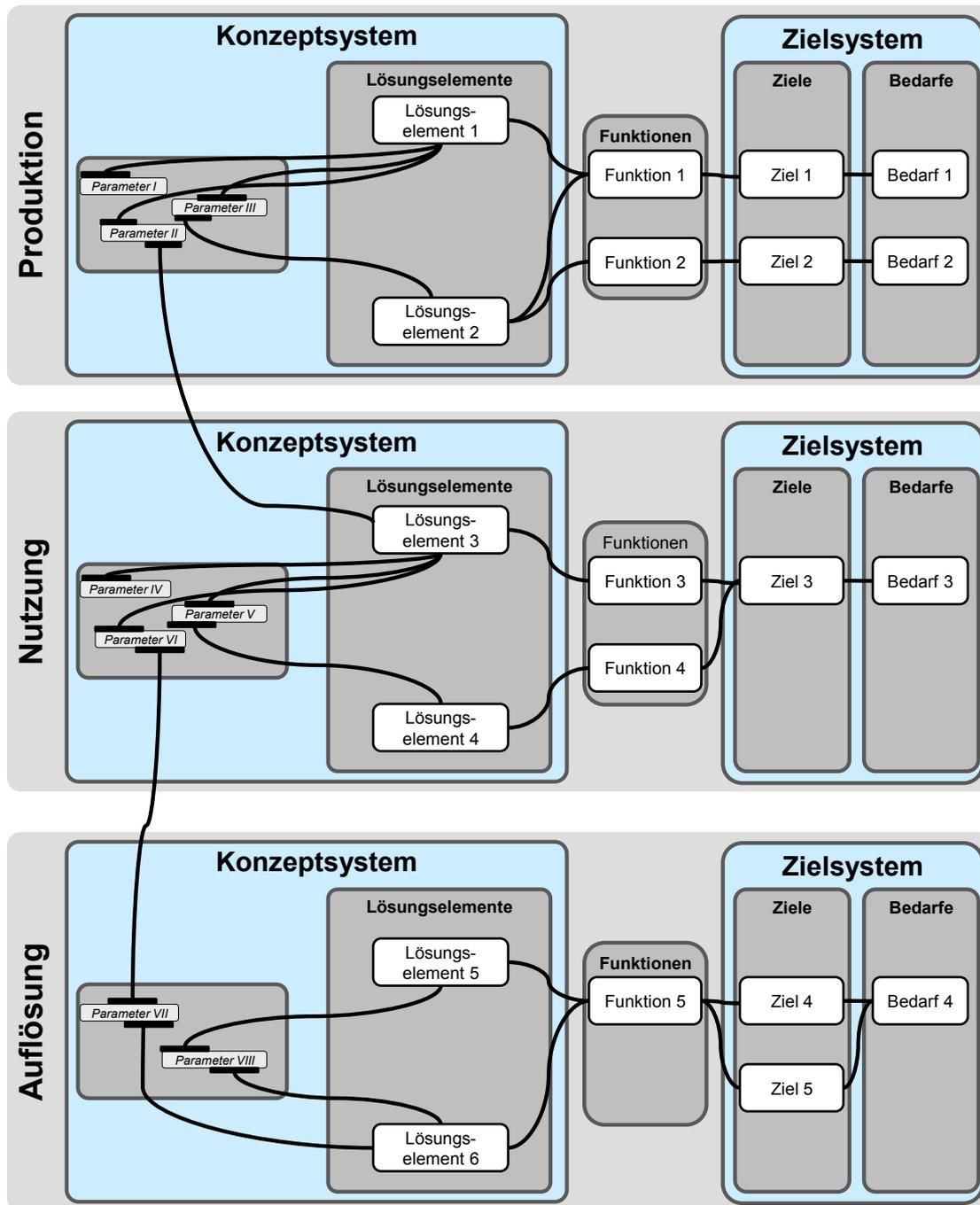


Bild 4-8: Schematische Darstellung lebenszyklusphasenübergreifender Zusammenhänge in Anlehnung an HEPERLE et al. 2011b

Hinsichtlich der **strukturbasierten Repräsentation der lebenszyklusübergreifenden Zusammenhänge** in einer MDM können verschiedene Maßnahmen zur Zuordnung der einzel-

nen Elemente zu den jeweiligen Lebenszyklusphasen ergriffen werden. Eine Möglichkeit ist die Einführung einer eigenen Domäne „Lebenszyklusphasen“, welche die Zuordnung der jeweiligen Elemente aus Konzept- und Zielsystem sowie der diese verbindenden Funktionen zu den einzelnen Lebenszyklusphasen erlaubt. Ein weiterer Ansatz ist es, den Elementen jeweils ein Attribut zuzuordnen, um die mit diesem Element assoziierte Lebenszyklusphase zu kennzeichnen. Beide Herangehensweisen lassen einen Rückschluss hinsichtlich der mit dem Element verknüpften Stakeholdern zu und ermöglichen dadurch dem Planer, beispielsweise bei Zielkonflikten zielgerichtet auf die entsprechenden Stakeholder zuzugehen.

4.4.6 Methodenunterstützung zur Kompatibilitätsanalyse

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln wesentliche Grundlagen zur Erstellung der MDM zur **Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge** aufgezeigt sind, werden in diesem Kapitel diesbezügliche **methodisch-systematische Analyseverfahren** adressiert. Ziel der Analysen ist es, die Identifikation vielversprechender Gesamtkonzepte und daraus resultierender Entwicklungsvorschläge zu unterstützen. Hierbei wird aufgezeigt, wie die Kompatibilität verschiedener Lösungselemente reflektiert werden kann. In diesem Kontext wird nicht lediglich der Ansatz verfolgt, komplett zueinander kompatible Lösungselemente und damit in sich konsistente Gesamtkonzepte zu definieren. Vielmehr gilt es aufzuzeigen, zu welchem Grad einzelne Konzepte zueinander kompatibel sind, warum einzelne Lösungselementkombinationen zueinander passen und warum spezifische Lösungselemente als Bestandteil von Gesamtkonzepten nicht kompatibel zueinander sind. Somit besteht ein wesentlicher Aspekt in der Darlegung der **Nachvollziehbarkeit von Lösungselementkombinationen** bei der Auswahl zukünftig zu erbringender Leistungsbündel. Hierbei gilt es auch die aus den Kompatibilitätsanalysen resultierenden Erkenntnisse in Kombination mit den weiteren in der MDM hinterlegten Informationen zu nutzen, um Zielkonflikte zu eruieren.

Für eine **Kompatibilitätsanalyse** von Lösungselementen kommen, wie in Kapitel 2.5.2 dargelegt, bereits **existierende, matrixbasierte Ansätze** in Frage. Eine Möglichkeit besteht in der Anwendung einer **Verträglichkeitsmatrix**, deren direkte Zusammenhänge zwischen Lösungselementen (siehe BIRKHOFER 1980) vom Planer intuitiv hinterfragt werden. Der Nachteil dieses Vorgehens besteht darin, dass nur bereits bekannte bzw. vom Planer angenommene Inkompatibilitäten berücksichtigt werden. Im Sinne der lebenszyklusgerechten Planung kann es aufgrund neuer Lösungskombinationen auch zu unbekanntem Kombinationen kommen, in denen der Planer einer weiteren Unterstützung zur Reflexion übergreifender Systemzusammenhänge bedarf. Wird dennoch der Weg der direkten Verknüpfung von Lösungselementen durch den Planer verfolgt, so kann eine **Clusteranalyse**, wie sie HELLENBRAND & LINDEMANN 2008 darlegen, dazu beitragen, in sich kompatible Lösungskonzepte zu identifizieren.

Eine weitere Alternative besteht im ebenfalls in Kapitel 2.5.2 dargelegten Vorgehen nach GORBEA 2011. Dieser nutzt die Clusteranalyse nach HELLENBRAND & LINDEMANN 2008, erweitert aber den Betrachtungshorizont um **Zusammenhänge** zwischen den **Lösungselementen** und den durch diese Lösungselemente zu erreichenden **Anforderungen** (Eigenschaften). Dabei verfolgt GORBEA 2011 ein zweistufiges Verfahren. Im ersten Schritt findet eine Vorauswahl von Lösungskonzepten statt. Dabei werden Lösungselemente – z. B. anhand von Diskussionen in Workshops – hinsichtlich ihrer direkten Kompatibilität überprüft. Diese

Überprüfung stützt sich dabei nicht auf formalisierte Wechselwirkungen der diese Lösungselemente beschreibenden Parameter bzw. Eigenschaften. Die Vorauswahl erfolgt demnach analog zu der von HELLENBRAND & LINDEMANN 2008 vorgeschlagenen Clusteranalyse mit den bereits oben dargelegten Nachteilen. Aus Planungssicht können dadurch schon Lösungskombinationen wegfallen, die im Sinne einer ganzheitlichen, lebenszyklusorientierten Planung dennoch zielführend wären. Der zweite wesentliche Schritt bei GORBEA 2011 erfasst eine erweiterte **Kompatibilitätsanalyse der Wertebereiche von Anforderungen**, welche es durch die Lösungselemente zu erfüllen gilt. Für diese Betrachtung adressiert GORBEA 2011 basierend auf dem oben dargelegten ersten Priorisierungsschritt nur mehr spezifische Lösungselemente. Die auf die Lösungselemente und Wertebereiche der Anforderungen angewendete Clusteranalyse liefert als Ergebnis eine Liste von kompletten Clustern, welche jeweils eine Gesamtzusammenstellung eines Lösungskonzepts mit den dafür assoziierten und auch zueinander kompatiblen Anforderungen (Eigenschaften) darlegen. Grundsätzlich ist das Konzept von GORBEA 2011 auch auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit – nämlich der Identifikation kompatibler Gesamtkonzepte aufgrund der Kompatibilität der Lösungselemente über ihre jeweiligen Parameterbereiche – anwendbar. Die Zielsetzung einer erhöhten Transparenz hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit, in welchem Bereich des Konzepts – d. h. an welchen Lösungselementen – es aufgrund welcher Eigenschaft (Parameter) zu Inkompatibilitäten kommt, ist im Ansatz nach GORBEA 2011 nicht gegeben.

Vor dem Hintergrund der lebenszyklusorientierten Planung – in welcher zunächst nicht von einer alle Ziele befriedigenden, sondern in gewissem Maße **kompromissorientierten Konzeptbildung** ausgegangen werden muss – wird im Folgenden ein **erweitertes Vorgehen zur Kompatibilitätsanalyse** vorgestellt. Die hierbei vorgeschlagene methodische Überprüfung der Kompatibilität von Lösungselementen aufgrund deren gemeinsamen Zugriffs auf Parameter wird anhand eines MS-Excel basierten, mehrstufigen Schemas erläutert (siehe Bild 4-9).

Schritt 1: Zunächst erfolgt die **Ableitung der DMM zwischen Lösungselementen und Parametern**, wie diese bereits in Kapitel 4.4.3 dargelegt wurde. Die DMM repräsentiert die Charakterisierung der Lösungselemente durch Parameter und damit verbundene Wertebereiche. In Bild 4-9 werden die alternativ einsetzbaren Lösungselemente für eine bzw. mehrere Funktionen gemeinsam gekennzeichnet, wobei unterstellt wird, dass lediglich jeweils eines der alternativen Lösungselemente als Funktionsträger in ein Gesamtkonzept eingeht. Dies sei an einem kurzen Beispiel erläutert: Für die Funktionen *Fahrzeug beschleunigen* sowie *Energie wandeln* stehen verschiedene Motoren zur Verfügung. *Motor A1* oder *Motor A2* können alternativ in einem Gesamtkonzept eingesetzt werden, während es für das Gesamtkonzept nicht sinnvoll ist, beide Motoren gleichzeitig einzusetzen. Dies wird über die Kennzeichnung *A* gewährleistet. Ein anderer Funktionsträger, z. B. das Getriebe zur Erfüllung der Funktion *Kraft übersetzen*, wird dagegen mit der Kennzeichnung *B* versehen, wobei wiederum lediglich eines der Getriebe (z. B. *Getriebe B1* oder *B2*) innerhalb eines Gesamtkonzepts berücksichtigt wird. Diese Kennzeichnung dient dazu, nur die relevanten Kombinationen an Lösungselementen zur Reflexion der Kompatibilität von Lösungselementen einzubinden.

Schritt 2: Aufbauend auf der abgeleiteten DMM der Lösungselemente und Parameter werden nun **Lösungselementpaare**, welche sich jeweils aus zwei Lösungselementen zusammensetzen, hinsichtlich ihrer **Kompatibilität** überprüft.

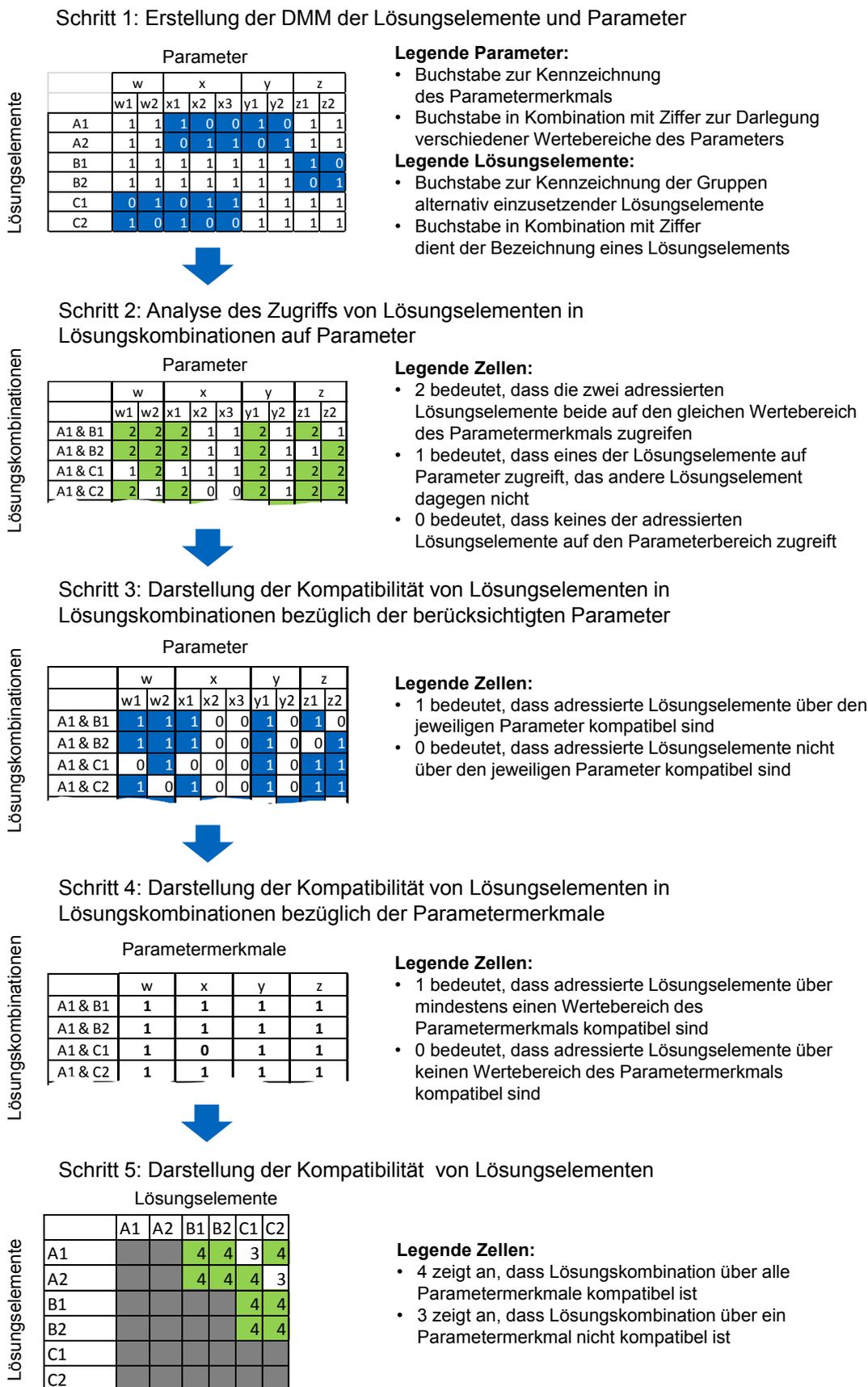


Bild 4-9: Analyse der Kompatibilität von Lösungselementen

Die in der Matrix hinterlegten Werte repräsentieren dabei, ob beide, nur eines oder keines der Lösungselemente eines Lösungselementpaares auf einen Parameter zugreift. So ist A1 durch den Parameter w1 gekennzeichnet und C2 ist ebenfalls durch den Parameter w1 gekennzeichnet. Daher erfolgt der Eintrag des Werts 2 für das Lösungselementpaar A1 & C2 bezüglich des Parameters w1. Da A1 auf w2 zugreift, aber C2 nicht auf diesen Parameter zugreift, erfolgt der Eintrag des Werts 1 für das Lösungselementpaar A1 & C2 bezüglich des Parameters w2. Nachdem weder A1 noch C2 durch den Parameter x2 charakterisiert sind, erfolgt der Eintrag des Werts 0 für das Lösungselementpaar A1 & C2 bezüglich des Parameters x2. Die Darstellung in Schritt 2 kann bei der Abwägung des weiteren Vorgehens im Umgang mit entsprechenden Inkompatibilitäten dazu dienen, spezifische Wertebereiche zu fokussieren.

Schritt 3: Da ein **Lösungselementpaar in sich nur kompatibel** ist, wenn **beide Lösungselemente auf den Parameter zugreifen**, wird die zuvor erstellte Matrix dahingehend überführt, dass lediglich dargestellt wird, ob die Lösungselemente zueinander kompatibel sind oder nicht. Daher erfolgt für Zellen, welche in Schritt 2 den Eintrag 1 bzw. 0 haben, in Schritt 3 der Eintrag des Werts 0 (z. B. A1 & C2 für Parameter w2 bzw. x2). Für Zellen, welche in Schritt 2 den Eintrag 2 haben, erfolgt dagegen in Schritt 3 der Eintrag des Werts 1 (z. B. A1 & C2 für Parameter w1).

Schritt 4: Nun findet eine weitere Überführung der zuvor errechneten Kompatibilitäten für einzelne Parameter statt. In diesem Schritt wird die Annahme getroffen, dass **zwei Lösungselemente zueinander kompatibel sind**, wenn diese zumindest **über einen gemeinsamen Wertebereich eines Parametermerkmals** miteinander kombinierbar sind. Die Lösungselemente A1 und C1 sind hinsichtlich des Parameters w2 kompatibel, während sie über w1 nicht kompatibel sind (siehe Schritt 3). Daher erfolgt in der Matrix in Schritt 4 für das Lösungselementpaar A1 & C1 bezüglich des Parametermerkmals der Eintrag des Werts 1. Dagegen sind die Lösungselemente A1 und C1 weder für den Parameter x1, x2 oder x3 zueinander kompatibel. Daher besteht für das Parametermerkmal x keinerlei Kompatibilität für die zwei Lösungselemente A1 und C1, weshalb in der entsprechenden Zelle in Schritt 4 der Eintrag des Werts 0 für dieses Lösungselementpaar erfolgt.

Schritt 5: Die zuvor dargelegten **Kompatibilitäten der einzelnen Lösungselementpaare** werden nun **zusammengefasst** und die daraus abgeleiteten Kompatibilitäten zwischen jeweils zwei Lösungselementen werden dargestellt. Hierfür werden die in Schritt 4 in den jeweiligen Zeilen dargestellten Werte für jedes Lösungselementpaar addiert und die errechnete Summe wird in die entsprechende Zelle der **Kompatibilitätsmatrix der Lösungselemente** eingetragen. Nachdem in Bild 4-9 insgesamt vier verschiedene Parametermerkmale zur Beschreibung der verschiedenen Lösungselemente herangezogen wurden, ist in Schritt 5 der maximal zu erreichende Wert 4. Dies trifft beispielsweise auf das Lösungselementpaar A1 & B1 zu. Dagegen wird für das Lösungselementpaar A1 & C1 nur der Wert 3 hinterlegt, da diese – wie oben beschrieben – über keinen Wertebereich des Parametermerkmals x zueinander kompatibel sind.

Basierend auf dem in Bild 4-9 dargelegten Vorgehen können somit **spezifische Gesamtkonzepte reflektiert** werden. Auf diese Weise lassen sich, aufbauend auf der ursprünglich ausgefüllten DMM, über entsprechende Berechnungen die Kompatibilitäten von Lösungselementpaaren darlegen. Der bisherige Rechenweg unterstellt jedoch, dass keine Abhängig-

keiten zwischen den Parametern adressiert werden. Wenn dieser Aspekt zusätzlich berücksichtigt werden soll, so kann auf Schritt 5 aufbauend ein spezifisches Konzept ausgewählt werden und basierend auf der Kapitel 4.4.3 eingeführten **DSM der Parameter hinsichtlich weiterer Abhängigkeiten** reflektiert werden. Dieser Schritt erfolgt in der vorliegenden Arbeit manuell, kann aber auch durch entsprechende Berechnungen in die Kompatibilitätsanalyse einbezogen werden.

Zwei Beispiele welche sich anhand des in Bild 4-9 vorgestellten Vorgehens zunächst als vollständig kompatible Konzepte darstellen, repräsentieren die Lösungskombinationen A1 & B2 & C2 sowie die Lösungskombinationen A2 & B2 & C1 dar. Für diese Beispiele wird folgend eine erweiterte Kompatibilitätsanalyse durchgeführt, welche auch Inkompatibilitäten der Parameter untereinander erfasst (siehe Bild 4-10). Zunächst ist es von Bedeutung, dass ähnlich wie bei der Erstellung der DMM Lösungselemente/Parameter nicht alle Parameterkombinationen hinsichtlich ihrer Kompatibilität einzeln zu hinterfragen sind. So sind zunächst lediglich die Bereiche zu befüllen, bei welchen ein Zusammenhang zwischen den Parametern besteht (farbig hinterlegt). Besteht beispielsweise zwischen dem Parametermerkmal *Achsdurchmesser* und dem Parametermerkmal *Raddurchmesser* ein Zusammenhang, so sind dahingehend entsprechende Parameterkombinationen durchzugehen. Dagegen ist das Parametermerkmal *Raddurchmesser* in der Regel nicht direkt an das Parametermerkmal *Motorleistung* gekoppelt, weshalb für dahingehende Parameterkombinationen pauschal der Eintrag 1 erfolgen kann.

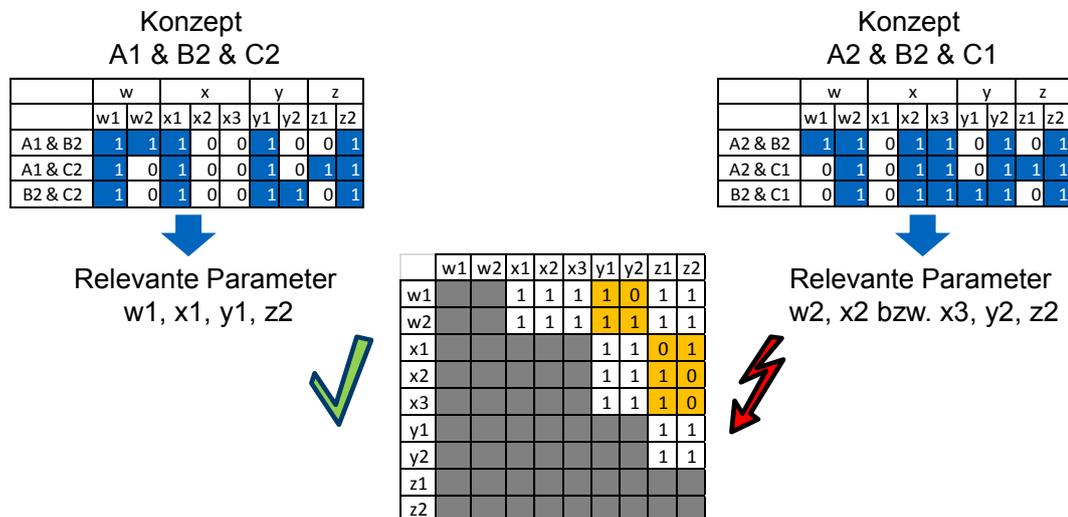


Bild 4-10: Kompatibilitätsprüfung über die DSM der Parameter

Für diese genannten Lösungskombinationen können anhand des Schritts 3 in Bild 4-9 die mit diesen Konzepten assoziierten Parameter identifiziert werden. In Bild 4-10 ist dies übersichtlich dargestellt: demnach sind für das Konzept A1 & B2 & C2 die Parameter w1, x1, y1 und z2 sowie für das Konzept A2 & B2 & C1 die Parameter w2, x2 bzw. x3, y2 und z2 relevant. Für das Konzept A1 & B2 & C2 ergeben sich keine weiteren Inkompatibilitäten, da die Parameter, wie der DSM der Parameter zu entnehmen ist, untereinander nicht im Konflikt stehen. Hinsichtlich des Konzepts A2 & B2 & C1 ergibt sich jedoch ein Konflikt aufgrund der

Inkompatibilität der Parameter x2 und z2 bzw. x3 und z2. Dabei wird das Parametermerkmal z zur Charakterisierung von B2 und das Merkmal x zur Charakterisierung der Lösungselemente A2 und C1 herangezogen (siehe Schritt 1 in Bild 4-9).

Die **Erstellung von Gesamtkonzepten durch Verknüpfung jeweils in sich kompatibler Paare an Lösungselementen** – auch unter Berücksichtigung der Kompatibilität der Parameter untereinander – lässt dennoch **nicht den Schluss zu, dass das Gesamtkonzept als solches in sich kompatibel ist**. Das folgende, vereinfachte Beispiel soll diesen Zusammenhang darlegen: ein kleiner Kfz-Hersteller plant die Nachfolgeneration eines Sportwagens und will dabei auf bereits existierende Zulieferer und eigene Produktionsmöglichkeiten zurückgreifen. Der Sportwagen umfasst das Lösungselement Karosserie, welches entweder aus Aluminium oder aus Faserverbundwerkstoff bestehen soll. Die unternehmensinterne Lackiererei kann hingegen lediglich eine Stahl- oder Aluminiumkarosserie qualitativ hochwertig lackieren. Der Karosseriehersteller, auf den bislang zugegriffen wird, ist neben der Herstellung von Stahlkarosserien auch Spezialist für die Herstellung von Faserverbundwerkstoffen. Insofern sind die einzelnen „Lösungselemente“ folgendermaßen miteinander kombinierbar:

- Lackiererei und Karosserie über den Parameter „Werkstoff Aluminium“;
- Fertigung und Karosserie über den Parameter „Werkstoff Faserverbundwerkstoff“;
- Fertigung und Lackiererei über den Parameter „Werkstoff Stahl“.

Die Kombinierbarkeit aller Lösungselemente ist dagegen über keinen Parameter gegeben. Für die Überprüfung einer solchen Konstellation kann eine weitere Plausibilitätsprüfung des Gesamtkonzepts basierend auf den bereits akquirierten Informationen durchgeführt werden. In Bild 4-11 ist ein Beispiel zur Überprüfung der Kompatibilität des Gesamtkonzepts bezüglich der übergreifenden Definition von Parametern aufgezeigt.

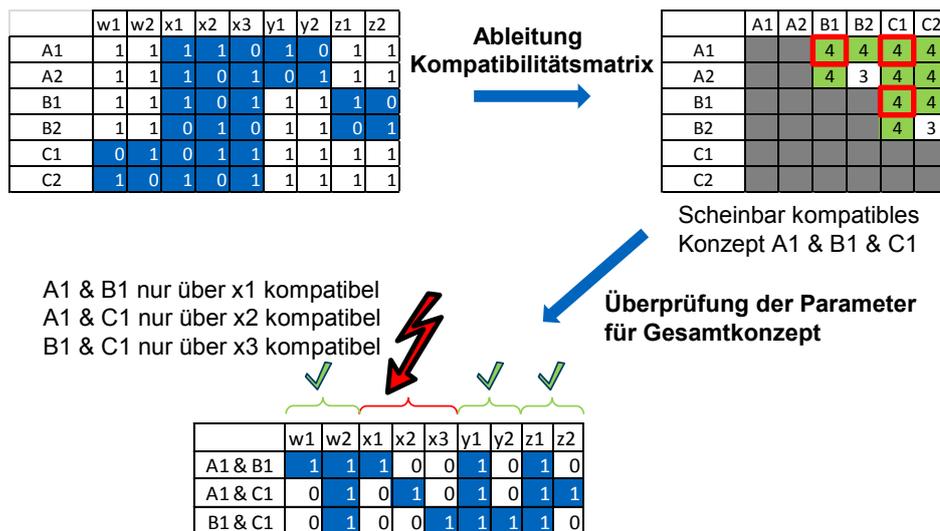
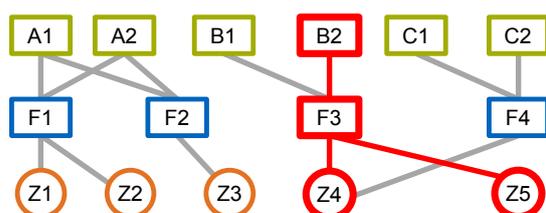


Bild 4-11: Überprüfung der Parameterdefinition für Gesamtkonzept

Die Ableitung der Kompatibilitätsmatrix basiert auf dem bereits oben dargestellten Vorgehen. Durch Überprüfung der jeweils in sich kompatiblen Paare an Lösungselementen wird das

scheinbar in sich kompatible Gesamtkonzept A1 & B1 & C1 abgeleitet. Für die Parametermerkmale w, y und z steht jeweils eine Parameterausprägung zur Verfügung (w2, y1, z1), die für alle Lösungselementpaare anwendbar ist. Die nähere Betrachtung hinsichtlich des Parametermerkmals x zeigt jedoch, dass die einzelnen Lösungselementpaare nur hinsichtlich unterschiedlicher Parameterausprägungen kompatibel sind. Insofern gibt es keine Parameterausprägung, die ein in sich kompatibles Gesamtkonzept A1 & B1 & C1 zulässt.

Für die Fragestellung, welche **Ziele aufgrund einer Nicht-Berücksichtigung eines bzw. mehrerer Lösungselemente im Gesamtkonzept betroffen sind** und welche Ziele dadurch im Konflikt stehen, können weitere strukturbasierte Analysen erfolgen. Hinsichtlich der in Bild 4-10 inkompatiblen Lösungselementkombination A2, B2 und C1 ist beispielsweise von Interesse, welche möglichen Konflikte bezüglich der zuvor artikulierten Ziele eintreten können, wenn entweder die Lösungselemente A2 und C1 oder das Lösungselement B2 im Gesamtkonzept nicht berücksichtigt werden. Zur Beantwortung dieser Fragestellung kann eine auf der bereits erstellten MDM aufbauende Distanzmatrix herangezogen werden. Das Strukturmerkmal *Distanz* beschreibt, wie viele Zwischenschritte (Relationen) benötigt werden, um den kürzesten Weg zwischen zwei Elementen zu beschreiben (LINDEMANN et al. 2008).



Links oben: Graphenbasierte Darstellung der Zusammenhänge zwischen Lösungselementen, Funktionen und Zielen

Links unten: MDM der Zusammenhänge

Rechts unten: Distanzmatrix zur MDM

Beispiel: Identifikation von Zielen, die mit dem Lösungselement B2 zusammenhängen

MDM		Lösungselemente						Funktionen				Ziele								
		A1	A2	B1	B2	C1	C2	F1	F2	F3	F4	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5				
Lösungselemente	A1	1																		
	A2		1																	
	B1			1																
	B2				1															
	C1					1														
	C2						1													
Funktionen	F1						1	1												
	F2							1												
	F3								1	1										
	F4										1									
Ziele	Z1											1	1							
	Z2												1							
	Z3													1	1					
	Z4															1				
	Z5																	1		

Errechnete Distanzmatrix		Lösungselemente						Funktionen				Ziele				
		A1	A2	B1	B2	C1	C2	F1	F2	F3	F4	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Lösungselemente	A1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	2	0	0	
	A2		0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	2	0	0	
	B1			0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	
	B2				0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	2	
	C1					0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	
	C2						0	0	0	1	0	0	0	2	0	
Funktionen	F1						0	0	0	1	1	0	0	0		
	F2							0	0	0	0	1	0	0		
	F3								1	1	0	0	0	1	1	
	F4										0	0	0	1	0	
Ziele	Z1											0	0	0	0	
	Z2												0	0	0	
	Z3													0	0	
	Z4														0	
	Z5															0

Bild 4-12: Zusammenhänge zwischen Zielen und Lösungselementen

Die jeweils für zwei spezifische Elemente errechnete Distanz wird in der entsprechenden Zelle einer **Distanzmatrix** hinterlegt. Aufgrund der Systematik bei der Erstellung der MDM zur Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge (siehe Kapitel 4.4.1) sind die Ziele mit den für sie relevanten Funktionen über entsprechende Relationen mit der Distanz 1 verknüpft. Die Funktionen wiederum sind mit den jeweils für sie relevanten Lösungselementen mit der Distanz 1 miteinander verknüpft. Somit ergibt sich für ein Lösungselement über eine Funk-

tion eine indirekte Verknüpfung mit einem Ziel, wobei die Distanz 2 beträgt. Nachdem nur die jeweils miteinander in Beziehung stehenden Elemente verknüpft werden, kann für ein spezifisches Lösungselement in der Distanzmatrix schnell identifiziert werden, welche Ziele mit diesem Lösungselement aufgrund des Distanzwerts 2 in Verbindung stehen. Dies wird insbesondere dadurch erleichtert, wenn lediglich die Domänen Ziele, Funktionen und Lösungselemente für diese Betrachtung herangezogen werden.

Hierbei wird das Beispiel der Lösungselemente erweitert, indem vier Funktionen und fünf Ziele, welche im Endeffekt durch die Lösungselemente erbracht werden sollen, eingebracht werden (siehe Bild 4-12). Neben der MDM zur Verknüpfung der Lösungselemente, Funktionen und Ziele ist diese auch graphenbasiert dargestellt. Sowohl in der Distanz-Matrix als auch in der graphenbasierten Darstellung ist erkennbar, dass die Ziele 4 und 5 davon betroffen wären, wenn Lösungselement B2 nicht im Gesamtkonzept berücksichtigt wird. Wenn dagegen die Lösungselemente A2 und C1 nicht berücksichtigt werden, dann schlägt sich dies in diesem vereinfachten Beispiel auf die Ziele Z1 bis Z4 nieder, lediglich Z5 wäre davon nicht betroffen.

Wie bereits in Kapitel 4.4.2 zur Erstellung des Zielsystems dargelegt, liegt der Schwerpunkt auf der Analyse von Zielen, welche spezifischen Funktionen zugeteilt werden können und weniger auf Zielen, welche das Verhalten eines Leistungsbündels im Gesamten betreffen (z. B. Kostenziele). Dennoch kann die Reflexion derartiger **gesamtsystembezogener Ziele** basierend auf den identifizierten Systemzusammenhängen erfolgen, da nun ein transparenteres Bild des Zusammenspiels und der Kombinierbarkeit der Leistungsbündel- und einhergehender Lebenszykluselemente gegeben ist.

Zusammenfassend erlauben die in diesem Kapitel aufgezeigten methodisch-systematischen Ansätze die **Erhöhung der Transparenz planungsrelevanter Systemzusammenhänge**. Dadurch werden dem Planer strukturbasierte Hilfsmittel zur Verfügung gestellt, welche zum einen aufzeigen, welche alternativen Lösungskonzepte zu welchem Grad miteinander kompatibel sind. Hierbei dient die Kompatibilitätsanalyse durch die **Nachvollziehbarkeit zu berücksichtigender Inkompatibilitäten** als Grundlage, geeignete Handlungsalternativen abzuleiten. So stellen die gewonnenen Erkenntnisse eine **Grundlage für den Planer** dar, welche Maßnahmen einzuleiten sind, so dass im Endeffekt doch alle Ziele erreicht werden können. Der Planer wird unterstützt, indem er darauf hingewiesen wird, aufgrund welcher Inkompatibilitäten unter Einbeziehung welchen Parameters und welcher spezifischer Lösungselementpaare bestimmte Konzepte nicht realisierbar sind.

Zum anderen erlaubt die dargestellte Vorgehensweise einen Rückschluss darauf, welche **Zielkonflikte** zu berücksichtigen sind, falls ein spezifisches Konzept aufgrund anderweitiger Vorteile (z. B. unter Betrachtung der Gesamtkosten) trotz der Inkompatibilität einiger Lösungselemente weiterverfolgt werden soll. Hierbei wird aufgezeigt, welche Ziele betroffen sind, wenn spezifische Lösungselemente aufgrund einer nicht ausräumbaren Inkompatibilität keine Berücksichtigung im Gesamtkonzept finden können. Bei mehreren alternativen kompromissbehafteten Konzepten kann somit durch eine Priorisierung von Zielen geschlussfolgert werden, welches der Konzepte am geeignetsten für eine weitere Verfolgung ist. Zudem kann der Planer gegebenenfalls Maßnahmen einleiten, um den Zielkonflikt auszuräumen, indem das Konzeptsystem um geeignete Lösungselemente gezielt erweitert wird.

Die dargestellten Methoden zielen nicht darauf ab, bestehende Planungsmethoden zu ersetzen, sondern dem Planer eine zusätzliche **Möglichkeit zur Durchdringung der Systemzusammenhänge** aufzuzeigen. So wird durch die strukturellen Betrachtungen der tatsächliche Zielerfüllungsgrad nicht aufgezeigt, und auch die eigentliche Bewertung der Lösungskonzepte findet nicht statt. Die Durchdringung der Systemzusammenhänge im Sinne einer **vertieften Eigenschaftsanalyse** trägt jedoch dazu bei, dass eine verbesserte Grundlage zur Ableitung von Handlungsoptionen und zur Bewertung geschaffen ist und in der Folge die Entscheidung über vielversprechende, zukünftig zu erbringende Leistungsbündel unterstützt wird.

4.5 Erweiterung der Kompatibilitätsanalyse für die multiple Zukunft

Aufbauend auf dem in Kapitel 4.4 entwickelten Strukturmodell werden nun weitere die Leistungsbündelplanung unterstützende Methoden vorgestellt. Während das Strukturmodell in Kapitel 4.4 zur Darstellung der Systemzusammenhänge innerhalb eines Lebenszyklusszenarios herangezogen wird, stehen in Kapitel 4.5 Ansätze zur **Erhöhung der Systemzusammenhänge mehrerer Szenarios und Planungshorizonte** im Vordergrund. Die Methoden in Kapitel 4.5 grenzen sich von jenen in Kapitel 4.4.6 insofern ab, dass nicht die Systemelemente innerhalb eines Strukturmodells (einer MDM), sondern über die verschiedenen, mit den jeweiligen Szenarios und Planungshorizonten assoziierten Strukturmodelle reflektiert werden. Diese Herangehensweise dient dazu, Gemeinsamkeiten zwischen verschiedenen Szenarios zu identifizieren um u. a. eine erweiterte Planungsgrundlage zur Priorisierung weiterzuverfolgender Lösungselemente zu schaffen. Kapitel 4.5.1 beschäftigt sich zunächst mit der Konsistenz verschiedener Szenarios, während Kapitel 4.5.2 den Schwerpunkt auf die Konsistenz mehrerer Planungshorizonte legt.

4.5.1 Konsistenzanalyse unterschiedlicher Szenarios

Im Sinne der **multiplen Zukunft** ist es von großer Bedeutung, **alternative Projektionen** der Zukunft zuzulassen. Eine Möglichkeit besteht darin, verschiedene Szenarios in der Leistungsbündelplanung zu berücksichtigen. Wie in Kapitel 2.2.3 dargelegt, ist die Anzahl der Szenarios nicht zu hoch zu wählen. Dennoch gilt es durch die Bildung unterschiedlich ausgeprägter Szenarios sowohl erwartete Projektionen im Rahmen von Referenzszenarios als auch weniger wahrscheinliche und zum Teil überzeichnete Projektionen im Rahmen von Extremszenarios zu berücksichtigen. Die **Gemeinsamkeiten und Unterschiede der verschiedenen erstellten Szenarios** repräsentieren weitere planungsrelevante Systemzusammenhänge, welche den Planer in der Auswahl weiter zu verfolgender Entwicklungsvorschläge unterstützen können. So kann sich beispielsweise ein Planer in der Automobilindustrie durch diesbezügliche Kenntnisse ein Bild davon machen, welche Motorentchnologien zukünftig hinsichtlich verschiedener Szenarios, und welche sich nur für spezifische Projektionen eignen.

Die in der vorliegenden Arbeit dahingehend entwickelten Methoden nutzen wiederum das bereits in Kapitel 4.4.1 dargestellte **Strukturmodell der Verknüpfungen von Bedarfen, Zielen, Funktionen, Lösungselementen und Parametern** (HEPPERLE et al. 2012, PRODUKT-ENTWICKLUNG 2011a). Weiterhin bauen die folgend erläuterten Ansätze insbesondere auf den in Kapitel 2.5.2 dargelegten Erkenntnissen zur Δ -DSM sowie zur Σ -DSM auf. Die in Kapitel

4.4.6 vorgestellten Methoden zur Kompatibilitätsanalyse von Lösungselementen und Zielen sind nicht direkt mit den anstehenden Konsistenzanalysen der multiplen Zukunft verbunden. Dennoch können die zuvor entwickelten Methoden die Vorauswahl von Lösungskonzepten, welche innerhalb der Konsistenzanalyse von Lösungskonzepten über mehrere Szenarios und Planungshorizonte weiter berücksichtigt werden sollen, unterstützen.

Aufgrund der in der Regel niedrig zu wählenden Anzahl an Szenarios werden in der vorliegenden Arbeit zur Vorstellung des Ansatzes beispielhaft drei Szenarios – ein **Referenz- und zwei Extremszenarios** – gegenübergestellt, da die prinzipielle Wirkungsweise dadurch bereits erläutert werden kann. Bei Anwendung des Vorgehens für eine andere Anzahl an Szenarios ist der Ansatz entsprechend anzupassen. Zudem wird ein stark vereinfachtes Beispiel im Kontext der Automobilbranche für die Funktion *Energie wandeln* und einhergehenden Zielen und Lösungselementen herangezogen, um die Mechanismen der Analyse der Konsistenz verschiedener Szenarios aufzuzeigen.

Zunächst wird für jedes der Szenarios das Strukturmodell der MDM – wie in Kapitel 4.4 dargelegt – erfasst. Um die verschiedenen Matrizen für weitere Berechnungen heranziehen zu können, werden diese in ihrem **Layout** zunächst **angepasst**. Hierfür werden beispielsweise in der MDM zum Referenzszenario die Elemente, welche ausschließlich in den beiden MDMs der Extremszenarios 1 und 2 aufgeführt sind, um entsprechende Zeilen und Spalten ergänzt. Die Zellen in den ergänzten Zeilen und Spalten bleiben dagegen leer (siehe Bild 4-13).

Farbliche Hinterlegung der Zellen und Spalten zeigt zusätzlich in der jeweiligen MDM zu berücksichtigende Elemente

Beispiel: In Extremszenario 1 werden initial nur die Lösungselemente Synchronmotor und Reluktanzmaschine adressiert, daher werden die Elemente Gleichstrommotor und Verbrennungsmotor als Elemente ergänzt

MDM Extremszenario 1		Z1	Z2	F1	L1	L2	L3	L4
Ziele	Geringer E-Verbrauch	Z1	1					
	Hohe Reichweite	Z2	1	1				
Funktionen	Energie wandeln	F1	1	1		1	1	
	Gleichstrommotor	L1			1			
Lösungselemente	Synchronmotor	L2		1		1		
	Verbrennungsmotor	L3					1	
	Reluktanzmaschine	L4		1				1

MDM Referenzszenario		Z1	Z2	F1	L1	L2	L3	L4
Ziele	Geringer E-Verbrauch	Z1	1					
	Hohe Reichweite	Z2	1	1				
Funktionen	Energie wandeln	F1	1	1	1	1	1	
	Gleichstrommotor	L1			1			
Lösungselemente	Synchronmotor	L2		1		1		
	Verbrennungsmotor	L3			1		1	
	Reluktanzmaschine	L4		1				1

MDM Extremszenario 2		Z1	Z2	F1	L1	L2	L3	L4
Ziele	Geringer E-Verbrauch	Z1	1					
	Hohe Reichweite	Z2	1	1				
Funktionen	Energie wandeln	F1	1	1		1	1	
	Gleichstrommotor	L1			1			
Lösungselemente	Synchronmotor	L2		1		1		
	Verbrennungsmotor	L3			1		1	
	Reluktanzmaschine	L4		1				1

Bild 4-13: Prinzip der Angleichung des Layouts der MDMs als Grundlage für weitere Berechnung in Anlehnung an PRODUKTENTWICKLUNG 2011a

Basierend auf dem angeglichenen Layout lassen sich nun beispielsweise in MS-Excel Berechnungen durchführen, welche die Gemeinsamkeiten und Unterschiede für die verschiedenen Szenarios aufzeigen. Zunächst wird – wie in Bild 4-14 dargestellt – die MDM des Referenzszenarios jeweils von den beiden Extremszenarios abgezogen. Die sich daraus ergebenden Werte werden addiert und in der sogenannten Δ MDM zusammengefasst. Die in der Δ MDM hinterlegten ganzzahligen Werte bewegen sich aufgrund der insgesamt drei einbezogenen Szenarios im Wertebereich von -2 bis 2. Aufgrund der gewählten **Berechnungsvor-**

schrift haben die hinterlegten Werte jeweils eine **spezifische Bedeutung**, wie die Tabelle in Bild 4-14 zeigt. Der Wert 1 in einer Zelle beispielsweise bedeutet, dass die entsprechende Relation zwischen zwei Elementen lediglich in einem Extremszenario berücksichtigt wird. Der Wert 0 dagegen bedeutet, dass die Relation in allen Szenarios vorhanden ist. Diese zeigen dem Planer nun deutlich die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der in den jeweiligen Szenarios berücksichtigten Elemente und Relationen auf. Dadurch liegt es nahe, Elemente mit Bezug zum Referenzszenario sowie Elemente, welche in den verschiedenen Szenarios gehäuft vorkommen, mit Nachdruck im **weiteren Produktentstehungsprozess** zu verfolgen. Als Beispiel sei wiederum auf die aus lediglich einer Zeile bzw. Spalte bestehende DMM, welche die Relationen zwischen der Funktion *Energie wandeln* mit möglichen Lösungselementen darlegt, erläutert. Hierbei ist in der errechneten ΔMDM auf einen Blick zu erkennen, dass der Synchronmotor in allen Szenarios vorkommt, während die Reluktanzmaschine lediglich in einem Extremszenario berücksichtigt wird. Eine mögliche Schlussfolgerung für einen Planer hinsichtlich der **Weiterverfolgung von Technologien** könnte sein, dass die Reluktanzmaschine zunächst zurückgestellt wird, während der Synchronmotor weiterhin im Fokus der Vorentwicklung stehen sollte.

Beispiel: Konsistenz der Szenarios hinsichtlich der Lösungselemente zur Erfüllung der Funktion „Energie wandeln“

	1	2	3	4	5	
Energie wandeln	1	0	-2	0	-1	1
Gleichstrommotor	2	-2	0	0	0	0
Synchronmotor	3	0	0	0	0	0
Verbrennungsmotor	4	-1	0	0	0	0
Reluktanzmaschine	5	1	0	0	0	0

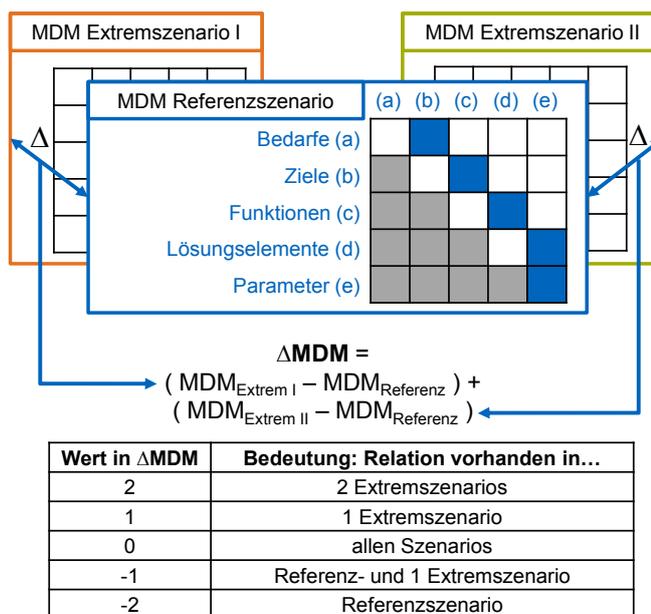


Bild 4-14: Analyse der Konsistenz von Lösungselementen dreier unterschiedlicher Szenarios (HEPPERLE et al. 2012)

Hinsichtlich des vorgestellten Vorgehens sei darauf verwiesen, dass eine solch **strukturba-**
sierte Betrachtung insbesondere als unterstützende Analyse dient und die daraus gewon-
 enen Erkenntnisse nicht als alleiniges Entscheidungskriterium über weiter zu verfolgende
 Lösungsalternativen herangezogen werden sollten. Das dargestellte Vorgehen und somit auch
 die entsprechend in der Tabelle in Bild 4-14 aufgezeigten Interpretationen sind grundsätzlich
 auch auf weitere im Strukturmodell hinterlegte Elemente und Relationen anwendbar. Auf eine
 vertiefte Betrachtung entsprechender Zusammenhänge wird an dieser Stelle aufgrund der He-
 terogenität der daraus ableitbaren Schlussfolgerungen verzichtet.

4.5.2 Konsistenzanalyse unterschiedlicher Planungshorizonte

Da es die Aufgabe der Planungsabteilung ist, verschiedene Leistungsbündelgenerationen zu antizipieren, wird die **Planung mit unterschiedlichen Fristigkeiten** durchgeführt (siehe 2.2.3). Damit sich ein Planer ein besseres Bild machen kann, welche Ziele und damit verbundene Lösungselemente sich über der Zeit weiterentwickeln bzw. verändern, geht dieses Kapitel auf die strukturbasierte Konsistenzanalyse für verschiedene Planungshorizonte ein.

Es wird wiederum das **bekannte Strukturmodell** der Bedarfe, Ziele, Funktionen, Lösungselemente und Parameter (siehe Kapitel 4.4.1) **als Grundlage für die methodische Unterstützung zur Analyse dieser Systemzusammenhänge** herangezogen. Das Vorgehen wird beispielhaft anhand zweier Planungshorizonte (Langfrist- und Mittelfristplanung) für jeweils drei Szenarios je Planungshorizont vorgestellt. Es wird wiederum der Ausschnitt der Relationen zwischen Lösungselementen und der Funktion *Energie wandeln* adressiert, wobei das in Kapitel 4.5.1 dargestellte Beispiel als Repräsentation für die drei Langfristszenarios herangezogen wird. Diese Langfristszenarios werden mit bereits in vorher bzw. parallel zur Langfristplanung erstellten Mittelfristplanungszenarios gegenübergestellt. Um die MDMs der unterschiedlichen Szenarios durch entsprechende Berechnungen in MS-Excel weiterverarbeiten zu können, gilt es diese analog zu Kapitel 4.5.1 (siehe Bild 4-13) in ihrem Layout anzupassen.

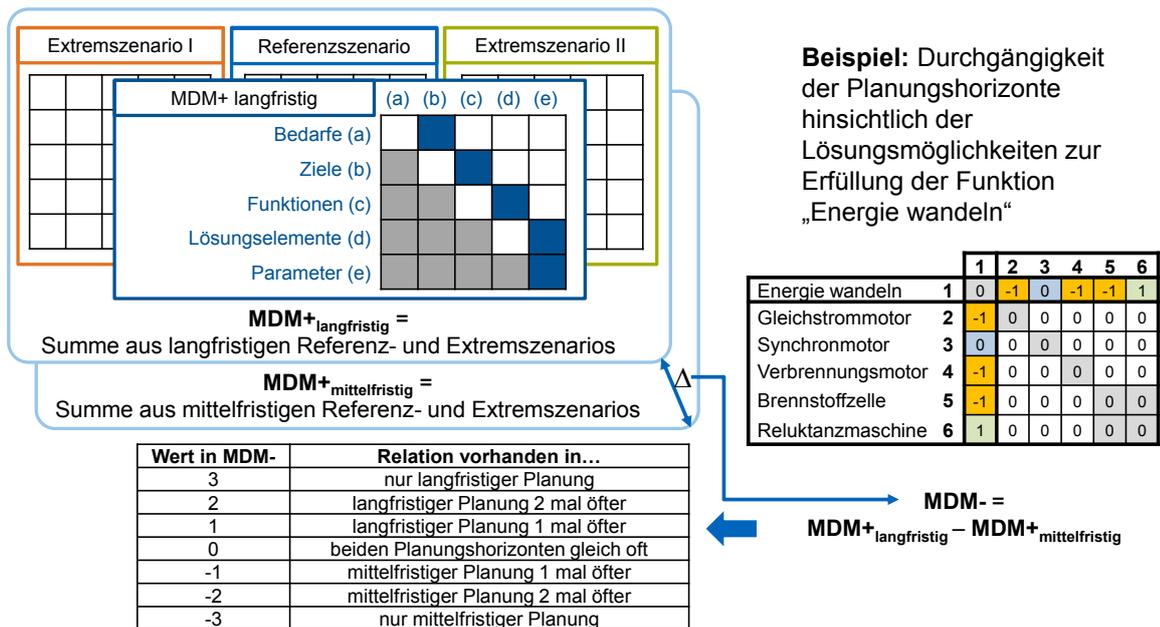


Bild 4-15: Analyse der Konsistenz zwischen Szenarios unterschiedlicher Planungshorizonte (HEPPERLE et al. 2012)

Zur **Analyse der Konsistenz der Planungshorizonte** werden zunächst die drei mit einem Planungshorizont assoziierten MDMs jeweils in einer **MDM+** aggregiert. So stellt die $MDM+_{\text{langfristig}}$ dar, wie oft ein Lösungselement zur Erbringung der Funktion *Energie wandeln* in der Langfristplanung berücksichtigt wird. Die ganzzahligen Werte in einer $MDM+$ weisen in dem gewählten Setting mit jeweils drei Szenarios einen theoretischen Wertebereich von 0 bis 3 auf.

Im nächsten Schritt wird die Differenz der $MDM^{+}_{\text{langfristig}}$ und der $MDM^{+}_{\text{mittelfristig}}$ gebildet. Die in der daraus resultierenden **MDM-** hinterlegten ganzzahligen Werte bewegen sich wiederum unter Berücksichtigung des gewählten Settings in einem Wertebereich von -3 bis 3. Die ermittelten Werte erlauben nun **Aussagen**, wie **konsistent zwei Planungshorizonte** hinsichtlich des **Vorkommens der in ihnen berücksichtigten Elemente und Relationen** sind. Die **Interpretationen** der verschiedenen Werte werden in der Tabelle in Bild 4-15 adressiert, wobei diese stets angeben, wie sich der eine Planungshorizont im Vergleich zum anderen berücksichtigten Planungshorizont verhält. Beispielsweise zeigt der Wert 2 an, dass die Relation in der Langfristplanung zweimal häufiger als in der Mittelfristplanung vorkommt. Der Wert -1 stellt hingegen dar, dass die Relation in der Mittelfristplanung einmal häufiger als in der Langfristplanung Berücksichtigung findet. In Bild 4-15 sind diese Zusammenhänge für die Funktion *Energie wandeln* dargestellt. Hierbei ist zu sehen, dass ein weiteres Lösungselement – nämlich die Brennstoffzelle – für die Funktion *Energie wandeln* angeführt wird, wobei diese in der Mittelfristplanung einmal häufiger Berücksichtigung gefunden hat. Nachdem diese in der Langfristplanung (siehe Bild 4-14) noch nicht berücksichtigt wurde, kann auch geschlussfolgert werden, dass diese in den drei Szenarios der Mittelfristplanung genau einmal vorkommt.

Um die Ergebnisse der **Konsistenzanalysen** innerhalb **eines Planungshorizonts** sowie über **mehrere Planungshorizonte** dem Planer übersichtlich zugänglich zu machen, kann ein entsprechendes **Portfolio** zur Darstellung der Werte der Analysen aus Kapitel 4.5.1 sowie 4.5.2 herangezogen werden. Dieses ist für die Funktion *Energie wandeln* sowie mit dieser assoziierten Lösungselemente in Bild 4-16 dargestellt.

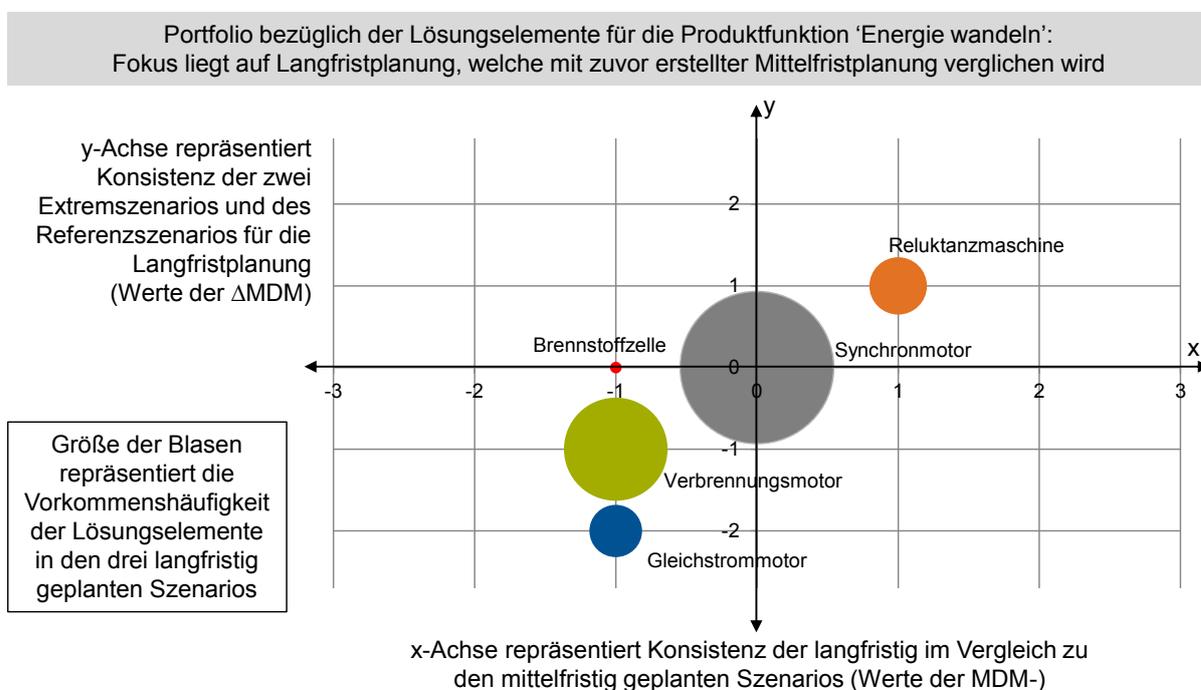


Bild 4-16: Portfolio zur übersichtlichen Darstellung der Konsistenzanalysen bezüglich verschiedener zu berücksichtigender Szenarios und Planungshorizonte (HEPPERLE et al. 2012)

Der Wert auf der x-Achse spiegelt wider, **wie oft ein Lösungselement in der Langfristplanung** öfter bzw. seltener als in der Mittelfristplanung berücksichtigt wird (Werte abgeleitet aus Bild 4-15). Die y-Achse zeigt dagegen nur für Langfristplanung an, **in welchen Szenarios ein Lösungselement** berücksichtigt wird (Werte abgeleitet aus Bild 4-14). Basierend auf der in diesem Kapitel adressierten Werte der $MDM^{+}_{\text{langfristig}}$ kann anhand der Blasengröße der Lösungselemente zudem angezeigt werden, **in wie vielen Langfristszenarios** das jeweilige Lösungselement vorkommt. So kann aus dem Portfolio beispielsweise gelesen werden, dass der Synchronmotor sowohl in der Langfrist- als auch in der Mittelfristplanung jeweils in allen drei abgeleiteten Szenarios berücksichtigt wird. Dagegen kommt der Gleichstrommotor in der Langfristplanung lediglich einmal – nämlich im Referenzszenario – vor, wird in der Mittelfristplanung jedoch einmal häufiger berücksichtigt. Soll die Mittelfristplanung in den Mittelpunkt gerückt werden, so kann das gezeigte Vorgehen analog durchgeführt werden, nur dass in diesem Fall die jeweils dafür berechneten Werte Eingang in das Portfolio finden.

Durch die ermittelten Zusammenhänge wird wiederum die **Erkenntnisgrundlage des Planers zur Bewertung und Auswahl weiterzuverfolgender Lösungselemente** gestärkt. So können die Aussagen zur Konsistenz der Szenarios über mehrere Planungshorizonte beispielsweise die Entscheidung unterstützen, welche Lösungselemente aufgrund ihrer für das Unternehmen voraussichtlich kontinuierlich vorhandenen Bedeutung nachhaltig weiterverfolgt werden sollten. Dadurch wird der Planer in der Erstellung der Roadmap zukünftig zu erbringender Leistungsbündel unterstützt, wobei er die Roadmap mit wichtigen Zusatzinformationen der Analysen für die Weiterverfolgung der Konzepte hinterlegen kann. Dennoch ist hervorzuheben, dass eine Entscheidung alleine auf Basis der strukturbasierten Betrachtung nicht erfolgen kann, sondern weitere Mechanismen der Auswahl und Bewertung einbezogen werden sollten.

Neben der Konsistenzanalyse bezüglich der Lösungselemente unterschiedlicher Planungshorizonte kann das in Kapitel 4.5.2 vorgestellte Vorgehen auch auf **weitere Konsistenzanalysen** übertragen werden. Einerseits kann es grundsätzlich auch auf weitere Domänen und mit diesen verbundenen Elemente und Relationen angewendet werden (siehe z. B. ORAWSKI et al. 2012). Andererseits kann dieses Vorgehen auch auf die Analyse der Konsistenz **wiederkehrender**, zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführter **Planungen** übertragen werden. Ein dritter Anwendungsbereich liegt darin, nicht alle Szenarios eines Planungshorizonts aggregiert mit weiteren Planungshorizonten gegenüberzustellen, sondern die Durchgängigkeit spezifischer Szenarios in den unterschiedlichen Planungshorizonten zu reflektieren. Da die weiteren Anwendungsfälle sich ähnlich zu dem in diesem Kapitel gezeigten Vorgehen verhalten, wird auf eine detaillierte, dahingehende Ausführung an dieser Stelle verzichtet.

4.6 Diskussion der Methodik im Kontext existierender Planungsverfahren

Die in Kapitel 4 erläuterte Methodik ist als **unterstützende Maßnahmensammlung zur Leistungsbündelplanung** unter Berücksichtigung des Leistungsbündellebenszyklus und damit einhergehender planungsrelevanter Systemzusammenhänge zu sehen. Dies bedeutet, dass die Methodik in bestehende Planungsprozesse einzubetten ist, so dass durch die **komplementäre Anwendung verschiedener Methoden** ein verbessertes Planungsergebnis erzielt wird.

Vor diesem Hintergrund wird in den folgenden Kapiteln die erarbeitete Methodik mit ihren Einzelmethoden in den Kontext existierender Vorgehensmodelle und Methoden zur Produkt- und Leistungsbündelplanung gestellt. Neben der Darstellung von Anknüpfungspunkten werden auch die Alleinstellungsmerkmale der Methodik diskutiert.

4.6.1 Überblick über Methoden und Modelle der entwickelten Methodik

Durch die Vielseitigkeit der in Kapitel 4 erarbeiteten Methoden eröffnen sich **zahlreiche Anknüpfungspunkte** zu den elementaren **Aufgaben der Produkt- bzw. Leistungsbündelplanung**. Neben der Identifikation und Antizipation relevanter, das zukünftige Leistungsbündel determinierender Potenziale und Bedarfe wird insbesondere die Gegenüberstellung dieser Informationen in der vorliegenden Arbeit diskutiert. Die entwickelten Methoden und damit einhergehenden Modelle tragen zu einer erhöhten Transparenz planungsrelevanter Informationen und ihrer Zusammenhänge bei. In der Folge wird eine verbesserte **Grundlage für die Entscheidungsfindung** über weiter zu verfolgende Leistungsbündelkonzepte geschaffen. Die entwickelten Methoden und Modelle sind in Bild 4-17 zusammengefasst dargestellt.

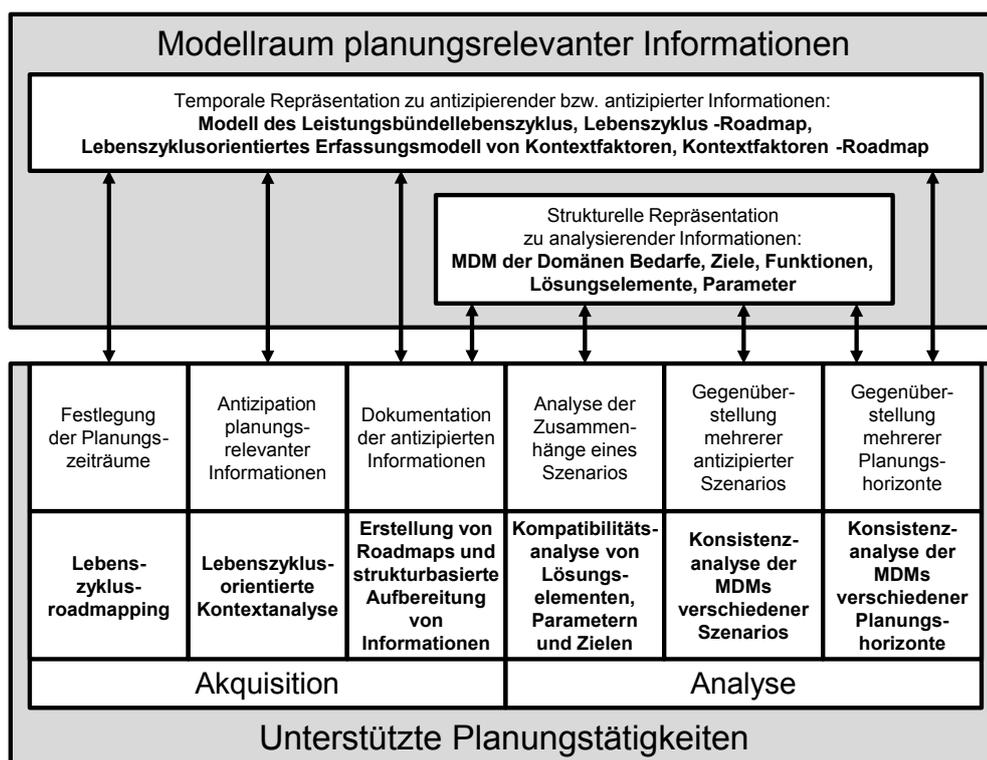


Bild 4-17: Überblick über entwickelte Methoden und damit einhergehende Modelle

4.6.2 Anknüpfung an Aktivitäten zur Informationsakquisition

Bezüglich der Akquisition planungsrelevanter Informationen gibt es Anknüpfungspunkte zu den Roadmap-Techniken sowie zu Methoden im Bereich der Anforderungsklä rung. Das vor-

geschlagene **Lebenszyklus-Roadmapping**, welches zur Visualisierung aufeinander folgender Lebenszyklusphasen von mehreren Leistungsbündelgenerationen herangezogen werden kann, greift zum einen auf das in Kapitel 3.2 vorgestellte Modell des Leistungsbündellebenszyklus zurück. Zudem kann zur Ermittlung der Dauer der Lebenszyklusphasen auf bereits im Unternehmen bestehendes Wissen zurückgegriffen werden. So ist für viele Produkte und Dienstleistungen bereits bekannt, wie sich entsprechende Vorgängergenerationen und mit diesen einhergehende Lebenszyklusphasen zeitlich verhalten haben. Zudem kann der ökonomische Lebenszyklus vergangener Leistungsbündelgenerationen herangezogen werden, um die Dauer des Vertriebs der Leistungsbündelelemente besser abschätzen zu können. Die visualisierten Ergebnisse des Lebenszyklus-Roadmappings können zudem mit bestehenden Ansätzen zur Identifikation geeigneter Planungsverfahren abgestimmt werden. Dies erlaubt die Kombination der erarbeiteten Methoden mit existierenden Ansätzen zur zielgerichteten Auswahl von Antizipationsverfahren bezüglich der lebenszyklusgerechten Leistungsbündelplanung.

Um als Planer Unterstützung bei der Identifikation lebenszyklusbezogener Potenziale und Bedarfe zu erhalten, wird die Methode der **lebenszyklusorientierten Kontextanalyse** vorgeschlagen. Diese greift in ihren Dimensionen auf bekannte Prinzipien zur Kontextanalyse zurück, wie beispielsweise auf die Suchmatrix zur Anforderungsklä rung nach ROTH 2000. Im Gegensatz zu bestehenden Ansätzen wird diese durch das Modell des integrierten Leistungsbündellebenszyklus signifikant erweitert und kombiniert die Leistungsbündelperspektive mit dem nach LANGER & LINDEMANN 2009 konsolidierten Modell zur Identifikation unternehmens-, markt- und umfeldrelevanter Kontextfaktoren. Das entwickelte **Erfassungsmodell** verzichtet auf checklistenorientierte Einträge zur Identifikation spezifischer Kontextfaktoren. Die Kopplung des erarbeiteten Erfassungsmodells zu weiteren checklistenbasierten Ansätzen, wie sie beispielsweise MÜLLER et al. 2010 zur Erfassung von Leistungsbündelanforderungen einführen, ist dennoch möglich. Zudem können in der Konstruktionsmethodik verbreitete Methoden zur Informationsakquisition (z. B. Brainstorming, Benchmark, Funktionsmodellierung) zur Befüllung einzelner Suchfelder herangezogen werden. Die lebenszyklusorientierte Kontextanalyse kann als unterstützende Maßnahme für die Identifikation relevanter Faktoren im Rahmen der Szenariofeld-Analyse beim Szenario-Management (GAUSEMEIER et al. 1995) gesehen werden. Methoden der Antizipation bzw. Projektion der Faktoren selbst werden in der vorliegenden Arbeit nur randständig betrachtet, da diese in der Literatur sehr ausführlich behandelt sind und zudem für die verschiedenen Planungsprojekte unterschiedlich zu wählen sind. Dennoch geht die Berücksichtigung mehrerer Szenarios zum Umgang mit alternativen Projektionen im Sinne der multiplen Zukunft (GAUSEMEIER et al. 1995) in die Methodik ein, das Festlegen der Szenarios selbst wird aber nicht näher betrachtet.

Im nächsten Schritt der Methodik – nämlich der Aufbereitung und Dokumentation der akquirierten planungsrelevanten Informationen – wird zum einen wiederum die **Kopplung an Techniken des Roadmappings** angesprochen. In diesem Kontext sei die Möglichkeit adressiert, die gesammelten Informationen in entsprechenden Innovationsdatenbanken, wie sie beispielsweise von BRINK & IHMELS 2007 vorgeschlagen werden, abzulegen. Diese ermöglichen einerseits den Zugriff auf die Informationen durch die verschiedenen an der Planung beteiligten und einzubindenden Stakeholder. Zum anderen stehen die Informationen auch in den weiteren Phasen des Innovationsprozesses zur Verfügung, so dass die Informationsakquisition nicht unnötigerweise redundant erfolgt. Da die folgenden Schritte der Methodik insbe-

sondere auf die strukturbasierte Analyse der akquirierten Informationen abzielen, wird die Form der Dokumentation in Roadmaps und Innovationsdatenbanken lediglich angedeutet, jedoch nicht vertieft betrachtet.

Die **strukturbasierte Aufbereitung und Analyse akquirierter Informationen** baut direkt auf den Modellen und Techniken des strukturellen Komplexitätsmanagements – nämlich den DSM-, DMM- und MDM-basierten Ansätzen – auf. Die in die Modellerstellung einbezogenen Domänen der Bedarfe/Rahmenbedingungen, Ziele, Funktionen, Lösungselemente und Parameter orientieren sich hierbei an weiteren bestehenden Ansätzen zur Planung bzw. Konzepterstellung von Leistungsbündeln. Die Kopplung der jeweils direkt benachbarten Domänen ist beispielsweise analog zu den im Produktmanagement bzw. Marketing angesiedelten Ansätzen zur Means-End-Kette (HERRMANN & HUBER 2009) zu sehen. Zur Unterstützung der Zuordnung von Lösungselementen zu Funktionen können wiederum Ansätze aus der Konstruktionsmethodik wie der Morphologische Kasten in Erwägung gezogen werden. Die Zusammenfassung der Domänen in einem Konzept- und Zielsystem ist wiederum an die Terminologie des Ansatzes zur Zielkonfliktdarstellung nach EILETZ 1999 angelehnt. Die Verbindung des Konzept- und Zielsystems orientiert sich – beispielsweise in Anlehnung an PONN & LINDEMANN 2011 und SADEK & KÖSTER 2012 – an Ansätzen zur Repräsentation und Modellierung von Leistungsbündeln im Rahmen der Konzepterstellung. Durch die **Orientierung** der in der Arbeit herangezogenen **Terminologie** an bereits **bestehenden planungsassoziierten Ansätzen** wird die Anwendung der weiteren existierenden Methoden vereinfacht und die Nutzung der akquirierten Informationen für verschiedene Planungszwecke ermöglicht.

Die Akquisition und Aufbereitung der Informationen kann sich – insbesondere bei einer erstmaligen Erstellung des Strukturmodells – aufwändig gestalten. Daher ist die erarbeitete Methodik so flexibel ausgelegt, dass der **Aufbau des Strukturmodells** hinsichtlich zu berücksichtigender Betrachtungsgegenstände **schrittweise** erfolgen kann. So kann sich die Fokussierung auf spezifische Domänen bzw. Lebenszyklusphasen als ausreichend darstellen. Zudem ist die Einbindung verschiedener Stakeholder nochmals hervorzuheben, so dass der Planer selbst auf das Wissen von Fachpersonen entlang des Lebenszyklus zurückgreifen kann. Ist das Strukturmodell einmal erstellt, so muss dieses zudem nicht bei jeder Planung bzw. für jedes Szenario komplett neu aufgestellt werden, sondern es bietet sich an, lediglich die sich jeweils weiterentwickelten Bereiche des Strukturmodells zu aktualisieren. Zudem kann die erarbeitete Methodik auch an **weitere existierende und etablierte Methoden zur Gegenüberstellung planungsrelevanter Informationen** gekoppelt werden. Obschon beispielsweise die in Kapitel 2.2.3 vorgestellten, matrizenbasierten Techniken des Quality Function Deployments sowie des Technology Roadmap Deployments andere Schwerpunkte als die in der vorliegenden Arbeit gezeigten Ansätze verfolgen, gestaltet sich die Aufbereitung der Informationen teilweise ähnlich zum methodischen Ansatz dieser Arbeit. Insofern bietet sich die Möglichkeit, die aufbereiteten Informationen für unterschiedliche planungsrelevante Analysen zu nutzen.

4.6.3 Anknüpfung an Aktivitäten zur Analyse planungsrelevanter Informationen

Die Unterstützung der Gegenüberstellung planungsrelevanter Informationen durch die vorgestellten **Kompatibilitäts- und Konsistenzanalysen** zeigt ebenfalls verschiedene Anknüp-

fungspunkte zu vor- und nachgelagerten Schritten im Innovationsprozess sowie komplementär einsetzbaren Methoden auf. Hierbei dienen die durch die Analysen gewonnenen Erkenntnisse im Sinne einer erweiterten Eigenschaftsanalyse zukünftig zu erbringender Leistungsbündel als Eingangsinformation für **Auswahl- und Entscheidungsprozesse** in der Planung. Beispielsweise können die Erkenntnisse zu einer fundierteren Anwendung bekannter Bewertungsmethoden herangezogen werden – wie zum Vorteil-Nachteil-Vergleich oder der gewichteten Punktbewertung (siehe Kapitel 2.2.3). Zudem kann die Reihenfolge zu treffender Entscheidungen im Planungsprozess durch die Kenntnis kritischer Inkompatibilitäten systematisch reflektiert und angepasst werden (LEDERER et al. 2010, PRODUKTENTWICKLUNG 2010b). Weiterhin können auch systematische Herangehensweisen zum Aufspannen und insbesondere zur Eingrenzung des Lösungsraums (wie z. B. nach LENDERS 2009) durch die entwickelten Methoden unterstützt werden. Weiterhin können die gewonnenen Erkenntnisse auch zu einer verbesserten **Abschätzung wirtschaftlicher Zusammenhänge** herangezogen werden. So können die dargelegten Systemzusammenhänge vor dem Hintergrund einer lebenszyklusorientierten Planung die Abschätzung über zu erwartende Lebenszykluskosten sowie zu erwartende Gewinne unterstützen. Hierbei sei als Anknüpfungspunkt die nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgerichtete Arbeit zur lebenszyklusorientierten Produktplanung nach MATEJKA 2005 genannt. Zudem ermöglicht die **Kenntnis über zu erwartende Zielkonflikte** eine verbesserte Abschätzung darüber, welche Investitionen bzw. Aufwendungen zur Behebung von Zielkonflikten sich aufgrund einer erweiterten Zielerreichung finanziell amortisieren könnten. In diesem Kontext sei an dieser Stelle zudem auf die Kopplung an weitere Mechanismen im Bereich des Zielkonfliktmanagements – wie beispielsweise nach EILETZ 1999 detailliert dargelegt – verwiesen.

Auch die **Konsistenzanalysen über mehrere Szenarios und Planungshorizonte** können die Auswahl wirtschaftlich nachhaltiger Investitionen unterstützen, indem aufgezeigt wird, welche Elemente unter verschiedensten Rahmenbedingungen erwartet werden und welche eher als randständig im Sinne einer Szenario- und Zeithorizont-übergreifenden Planung zu werten sind. Die im Innovationsprozess an die Planung anschließende Phase der Leistungsbündelentwicklung kann ebenfalls auf die ermittelten Erkenntnisse zurückgreifen. Hierbei bietet es sich an, die planungsrelevanten Informationen und daraus resultierenden Systemzusammenhänge in die entsprechenden **Entwicklungsvorschläge bzw. Lastenhefte** einzubetten. Dies beugt einer unnötig redundanten Informationsakquisition vor und Entwickler können die Entscheidungen der Planung besser nachvollziehen und zudem Knackpunkte in der Entwicklung frühzeitig identifizieren. Folgend werden für die erläuterten Kompatibilitäts- und Konsistenzanalysen weitere spezifische Anknüpfungspunkte und Alleinstellungsmerkmale dargelegt.

Hinsichtlich der in der vorliegenden Arbeit vorgeschlagenen **Kompatibilitätsanalyse** ist hervorzuheben, dass sich diese durch die Erhöhung der **Nachvollziehbarkeit spezifischer Inkompatibilitäten** von weiteren dahingehend bestehenden struktur- und matrizenbasierten Ansätzen (siehe Kapitel 2.5.2) differenziert. Dadurch wird für den Planer eine Grundlage geschaffen, **Handlungsoptionen zum Umgang** mit Inkompatibilitäten zielgerichtet aufzuspannen und umzusetzen. Dennoch sein an dieser Stelle darauf verwiesen, dass die Kompatibilitätsanalysen der vorliegenden Arbeit beispielsweise mit dem House of Quality des QFD oder entsprechenden Clusteranalysen nach HELLENBRAND & LINDEMANN 2008 sowie GORBEA 2011 punktuell sinnvoll kombiniert werden können. Ist der Planer lediglich an einem ersten

Überblick über die Kompatibilität einzelner Lösungskombinationen interessiert, so bietet sich beispielsweise der Einsatz der Clusteranalyse an. Wird dagegen ein tieferes Durchdringen von planungsrelevanten Systemzusammenhängen hinsichtlich zukünftiger Lösungskonzepte verfolgt, erlaubt der vorliegende Ansatz einen detaillierteren Einblick in spezifische Inkompatibilitäten des Konzeptsystems und die daraus resultierenden Konflikte des Zielsystems.

Die Weiterentwicklung bestehender strukturbasierter Methoden zur Aggregation bzw. Subtraktion verschiedener matrizenbasierter Strukturmodelle (z. B. nach EBEN et al. 2008, GAUSEMEIER et al. 2007, DE WECK 2007, BRAUN et al. 2007) trägt der Analyse der **Konsistenz verschiedener entwickelter Szenarios sowie verschiedener Planungshorizonte** bei. Die Kenntnisse über derartige Zusammenhänge können wiederum im Bereich des **Variantenmanagements** zukünftig zu erbringender Leistungsbündel im Rahmen eines sogenannten Leistungsspektrums, wie bereits von ORAWSKI et al. 2010a sowie ORAWSKI et al. 2010b diskutiert, Eingang finden. Die ermittelten Zusammenhänge können zum einen aufzeigen, welche Funktionen oder Lösungselemente bei der Generierung einer Leistungsbündel-Plattform- bzw. Baukastenentwicklung zukünftig zu erbringender Leistungsbündel in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt werden sollten. Dies kann in der Folge auch eine Aussage über schwerpunktmäßig zu verfolgende Technologien in der Vorentwicklung bzw. auszuarbeitende Dienstleistungsideen liefern. Für die Aufbereitung der Erkenntnisse aus den Konsistenzanalysen liefert die vorliegende Arbeit ein an weitere **Portfoliotechniken** angelehntes Layout, um einen Überblick über die komplexen Zusammenhänge zu erhalten. Die vorgestellten Analysetechniken stellen zudem eine Ergänzung der im Rahmen des Technology-Roadmap-Deployments nach ZERNIAL 2007 konzipierten, QFD- und Roadmapping-gestützten Gegenüberstellung von Planungshorizonten dar. Zum einen wird der Ansatz von ZERNIAL 2007 um die angedeuteten, aber nicht ausgearbeiteten Konsistenz- und Kompatibilitätsanalysen erweitert (siehe Kapitel 2.2.3). Zum anderen werden verschiedene Szenarios im Sinne einer multiphase Zukunft nach GAUSEMEIER et al. 1995 in der vorgestellten Methodik berücksichtigt.

4.6.4 Werkzeugunterstützung der Methodenumgebung

Neben der Nutzung von Synergien mit weiteren existierenden planungsassoziierten Methoden spielen in **IT-unterstützten Planungs- und Entwicklungstätigkeiten** rechnergestützte Werkzeuge zur Erleichterung der Methodenanwendung eine wichtige Rolle. In der vorliegenden Arbeit sind dahingehend bereits erste prototypische Werkzeuge, welche insbesondere auf den weit verbreiteten Microsoft Office Produkten aufbauen, dargelegt. Hierbei sei nochmals auf die auf MS-Excel sowie auf MS-Visio aufbauende Software zur Errechnung und Visualisierung von Lebenszyklus-Roadmaps verwiesen. Auch die vorgestellten Methoden zur MDM-gestützten Kompatibilitäts- und Konsistenzprüfung sind in MS-Excel prototypisch implementiert. Diese entwickelten Werkzeuge dienen in erster Linie dazu, die grundsätzlichen Zusammenhänge der erläuterten Methodik zu verfeinern und die entsprechenden Einzelmethoden hinsichtlich der prinzipiellen Anwendbarkeit und Nützlichkeit zu reflektieren.

Um den Einsatz entwickelter Methoden durch Planer in der Industrie zu erleichtern, ist denkbar, die dargestellten Zusammenhänge zwischen Bedarfen, Zielen, Funktionen, Lösungselementen und Parametern an weitere bereits **existierende Softwaretools zu koppeln**. Dahingehend sind im Kontext dieser Arbeit neben rein MS-Excel-basierten Herangehensweisen zur

Identifikation der Ziel- und Lösungskompatibilität folgende Softwaretools in PRODUKTENTWICKLUNG 2011d exemplarisch angewendet worden:

- *Booggie* (BOOGGIE 2012) unter Anwendung von *Graph Grammatiken*;
- *Protégé* (PROTÉGÉ 2012) unter Anwendung der *Web Ontology Language*;
- *MS-Access* (MICROSOFT 2012a) unter Anwendung *Relationaler Datenbanken*;
- *Looméo* (TESEON 2012) unter Anwendung der *Multiple Domain Matrix*.

Die genannten Softwaretools, welche sich in ihrem Funktionsumfang und ihrer Nutzerfreundlichkeit u. a. aufgrund der unterschiedlichen Kommerzialisierungsgrade stark unterscheiden, konnten allesamt genutzt werden, um Zusammenhänge zwischen den Elementen zielgerichtet zu hinterfragen. Insofern bietet es sich für Unternehmen an, auf Umsetzungen durch entsprechende Softwaretools zurückzugreifen. Die Auswahl und softwareorientierte Ausarbeitung entsprechender Datenverwaltungs- und Abfragemechanismen kann jedoch nur vor dem Hintergrund der **spezifischen Planungssituation sowie entsprechend vorhandenen Ressourcen** erfolgen. Daher wird in dieser Arbeit auf eine weitere Vertiefung der Umsetzung rechnergestützter Werkzeuge verzichtet.

4.7 Zusammenfassung der Ausführungen zur Planungsmethodik

Aufbauend auf den in Kapitel 4.1 vorgestellten Anforderungen ist eine **umfangreiche und vielseitige Methodik zur Unterstützung der Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel** entwickelt worden. Einerseits wurden Methoden zur Identifikation und Antizipation planungsrelevanter Informationen vorgestellt. Andererseits erlauben die Ausführungen in Kapitel 4 einen detaillierten Einblick in die Identifikation und Interpretation planungsrelevanter Systemzusammenhänge. Der gewählte **Ansatz strukturbasierter Analysen** führt zu einer hohen Nachvollziehbarkeit der Systemzusammenhänge unter Berücksichtigung der Domänen Bedarfe, Ziele, Funktionen, Lösungselemente und Parameter hinsichtlich zu erbringender Leistungsbündel.

Dieser **neuartige Methodenmix vernetzt zentrale Sichtweisen der Leistungsbündelplanung**, nämlich die Integration von Sach- und Dienstleistungsinformationen, ein durchgängiges Lebenszyklusverständnis, den Abgleich von Bedarfen und Potenzialen sowie die Herausforderungen verschiedener Planungshorizonte und Szenarios. Damit ist es Planern nun möglich, Wechselwirkungen planungsrelevanter Informationen frühzeitig zu identifizieren und Entscheidungen über weiter zu verfolgende Entwicklungsvorschläge zielgerichteter zu treffen.

Die Möglichkeit der **Kopplung vorgestellter Methoden und Modelle** an weitere Ansätze erlaubt einen flexiblen und modularen Einsatz der Methodik in bestehende Planungsprozessen, sowohl hinsichtlich der Informationsakquisition als auch hinsichtlich der Einsteuerung der ermittelten Systemzusammenhänge in weitere Bewertungsverfahren im Rahmen der strategischen Leistungsbündelplanung. Um einerseits die Anwendbarkeit der Methodik und andererseits deren Einbettung und Nützlichkeit in industriellen Planungsprozessen aufzuzeigen, wird der im Rahmen von Kapitel 4 dargelegte Ansatz anhand zweier Fallbeispiele in Kapitel 5 reflektiert.

5. Evaluation der Methodik zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung

Der systematisch im vorangegangenen Kapitel erarbeitete Ansatz wird nun abschließend bezüglich seiner Anwendbarkeit anhand zweier ausgewählter Fallbeispiele evaluiert. Zunächst wird auf die im Rahmen des Verbundprojekts SFB 768 als Demonstrationsbeispiel verwendete Waschmaschine sowie auf diese abgestimmte Dienstleistungen eingegangen. In diesem Fallbeispiel stehen insbesondere die durchgängige, mehrere Lebenszyklusphasen berücksichtigende Anwendbarkeit der Methodik sowie die Plausibilitätsprüfung identifizierter Systemzusammenhänge im Vordergrund. Das zweite Fallbeispiel fokussiert die industrielle Anwendbarkeit des Methodenrahmens anhand der Planung von Großdieselmotoren im Unternehmen MAN Diesel und Turbo SE. Hierbei wird insbesondere die Methode der Kompatibilitätsanalyse unter Berücksichtigung vorwiegend nutzungsrelevanter Informationen hinterfragt. In diesem Fallbeispiel werden speziell der durch die Industrie empfundene Nutzen sowie die Verankerung der Methodik in existierenden Planungsprozessen abgefragt.

5.1 Demonstrationsbeispiel Waschmaschine

Das Fallbeispiel beschäftigt sich mit dem im Sonderforschungsbereich 768 adressierten Demonstrator eines Waschmaschinen-assozierten Leistungsbündels. Dieses Demonstrationsbeispiel zielt darauf ab, die Durchgängigkeit sowie **grundsätzliche Anwendbarkeit der Methodik** zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung an einem praxisnahen Planungsprojekt aufzuzeigen. Zudem wird berücksichtigt, inwieweit die Erreichung der Anforderungen, welche in Kapitel 4.1 an die entwickelte Methodik gestellt wurden, erfolgt. Im Sinne einer Plausibilitätsanalyse werden die im Rahmen der Informationsakquisition sowie der Anwendung der entwickelten Analyseverfahren ermittelten Ergebnisse zudem auf ihre Sinnhaftigkeit hinterfragt.

Das Beispiel ist selbst nicht direkt der Planungsabteilung eines Hausgeräteherstellers entnommen, sondern wurde vom Autor der vorliegenden Arbeit erstellt. Im Rahmen der Informationsakquisition wurde überwiegend auf **öffentlich zugänglichen Dokumenten** aufgebaut. Zudem wurden bei der Erarbeitung des Beispiels weitere Mitarbeiter des Verbundprojekts SFB 768 zur Informationserhebung eingebunden. Weiterhin sind die akquirierten Informationen zum Teil in Expertengesprächen mit planerisch tätigen Mitarbeitern eines Hausgeräteherstellers sowie begleitendem Informationsmaterial erhoben worden. Somit stellt das Fallbeispiel ein an der Realität orientiertes, aber nicht vollständig in der industriellen Praxis erarbeitetes Fallbeispiel dar.

Das Demonstrationsbeispiel ist hinsichtlich der Anwendung der Methodik mit verschiedenen Randbedingungen verknüpft. Bei der Durchführung des Planungsbeispiels wurde darauf geachtet, dass neben dem Verkauf einer Waschmaschine auch vornutzungs-, nachnutzungs- und nutzungsbegleitende Dienstleistungen im Sinne einer integrierten Leistungsbündelplanung eingehen. Das Geschäftsmodell selbst ist nicht Bestandteil der Planungsmethodik und ist daher als gegeben anzusehen. Im Demonstrationsbeispiel gestaltet sich das Geschäftsmodell so,

dass die Waschmaschine weiterhin als Sachleistung verkauft wird, jedoch um entsprechend auf diese bereits in der Planung abgestimmte Dienstleistungen ergänzt wird. Somit ist die Auseinandersetzung mit einem **Leistungsbündel** nach den Ausführungen in Kapitel 2.3.1 grundsätzlich gegeben, wobei es sich nach TUKKER 2004 um ein produktorientiertes Leistungsbündel handelt.

Als Betrachtungsgegenstände der Informationsakquisition werden Kontextfaktoren entlang des gesamten Leistungsbündellebenszyklus eingebunden. Hinsichtlich des Planungshorizonts ist als Erstverkaufszeitpunkt für die Waschmaschine das Jahr 2016 gewählt. Zur Durchführung der entwickelten Konsistenzanalysen wird zudem ein zweiter Planungshorizont mit dem Jahr 2018 einbezogen. Die Antizipation bzw. Projektion im Sinne des Szenario-Managements ist nicht Schwerpunkt der Methodik, weshalb die jeweils für 2016 sowie 2018 berücksichtigten Szenarios basierend auf den zuvor identifizierten Kontextfaktoren im Demonstrationsbeispiel als gegeben angesehen werden. Im Bereich der Kompatibilitäts- und Konsistenzanalysen werden zum Teil nur spezifische Lebenszyklusphasen adressiert, um die Flexibilität der Methodik im Umgang mit Betrachtungsgegenständen darzulegen. Folgend werden die einzelnen Schritte der Methodik für das Demonstrationsbeispiel Waschmaschine durchlaufen.

Lebenszyklus-Roadmapping und lebenszyklusorientierte Kontextanalyse

Um die Identifikation planungsrelevanter Informationen vorzubereiten, wird zunächst der in Kapitel 4.3.1 erläuterte Ansatz zum Lebenszyklus-Roadmapping angewendet. Aufbauend auf den abgeschätzten Zeiten der einzelnen Lebenszyklusphasen werden unter Berücksichtigung eines Facelifts der Waschmaschinen-Generation entsprechende **Lebenszykluskonstellationen** der Waschmaschine abgeleitet (siehe Bild 5-1). Die Anwendung wird mithilfe von MS-Excel und MS-Visio durchgeführt. Die Zeiten, welche für die einzelnen Lebenszyklusphasen veranschlagt werden, werden zunächst in das Eingabeformular (Ausschnitt siehe Bild 5-1 oben) eingetragen. Im Fallbeispiel wird unterstellt, dass die **Entwicklungszeit** der Waschmaschine, da diese bereits auf einer bestehenden Plattform aufbaut, zwölf Monate beträgt. Um die Abstimmung der Entwicklung verschiedener Leistungsbündelbestandteile von Beginn an zu ermöglichen, werden sowohl Sach- als auch Dienstleistungsbestandteile im gleichen Zeitraum entwickelt. Die angenommene **Nutzungsdauer** wird zur übersichtlicheren Darstellung auf fünf Jahre begrenzt. Gemeinsam mit dem veranschlagten Verkaufszeitraum der Waschmaschine von insgesamt 24 Monaten (inkl. der Facelift-Version) ergibt sich für die zu planende Waschmaschine ein zu berücksichtigender Zeitraum von insgesamt mehr als acht Jahren. Wird der **Erstverkaufszeitpunkt** der Waschmaschine für das Jahr 2016 veranschlagt, so ist beispielsweise die Projektion entwicklungsseitiger Kontextfaktoren für das Jahr 2015 und für das Facelift auf das Jahr 2016 anzusetzen. Hinsichtlich der Nutzungsphase sind dagegen Projektionen bis mindestens in das Jahr 2023 einzubeziehen. Neben der dargestellten Waschmaschinen-Generation ist es auch möglich, mehrere Generationen darzustellen, um zeitliche Überschneidungen der entsprechenden Lebenszykluskonstellationen im Rahmen der Planung differenzierter zu berücksichtigen. Hinsichtlich des Umstands, dass es sich bei einer Waschmaschine um ein **mechatronisches Produkt** handelt, sind neben den sachleistungs- und dienstleistungsbezogenen Phasen auch verschiedene IT-Versionen und einhergehende Entwicklungszeiträume in der Lebenszyklus-Roadmap berücksichtigt. Die erstellten Lebenszykluskonstellationen der Waschmaschine und assoziierter Dienstleistungen unterstützen den

Planer in der Auswahl geeigneter Projektionsverfahren. Die Projektion und Ableitung verschiedener Szenarios selbst wird im Folgenden nicht detailliert. Die Unterstützung der Identifikation planungsrelevanter Kontextfaktoren des Waschmaschinenleistungsbündels wird dagegen anhand des entwickelten Erfassungsmodells folgend näher erläutert.

	Basic-Product	1. Facelift
Development time Product: (months)	12	after prev.
Development time Services: (months)	12	6
Pre-Production (= pilot run, if required)	1	1
Production lead time: (months before distribution begin)	2	2
End of production: (months ± distribution end)	0	-2
Distribution lead time: (months before utilisation begin, if required)	1	1
Distributiontime (without overlap): (months)	12	12
Distribution Overlap old product/facelift -> new product/facelift: (months)	0	0
Utilization time of one product: (months, if predictable)	60	60
Disposal Time for customers: (total number of months)	72	72
Beginning Pre-product-use services: (months before distribution begin)	2	2
End Pre-product-use services: (months before distribution-end)	0	0
Services during product use: (months)	60	60
After-product-use services: (months)	72	72

IT:	1. IT-Version	IT-Updates
Development time IT: (months, if made in company)	8	2
Utilizationtime IT: (months, till next IT version is available)	12	5

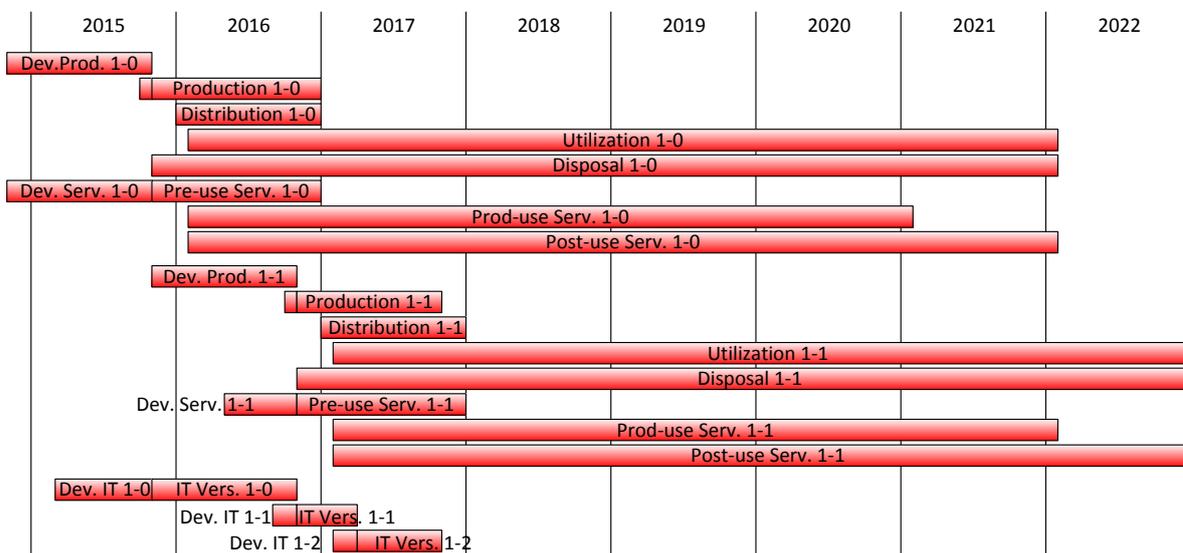


Bild 5-1: Lebenszyklus-Roadmapping für eine Generation einer neuen Waschmaschine, Eingabemaske und Ausgabe der Lebenszyklus-Roadmaps

Das im Rahmen der **Waschmaschinenplanung ausgefüllte Erfassungsmodell** umfasst mehr als 170 Kontextfaktoren, welche sich auf verschiedenste Lebenszyklusphasen sowie unterschiedlichste Kategorien an **Kontextfaktoren** beziehen (siehe Anhang 8.10). Durch den Zugriff auf Ersatzteillisten von Waschmaschinen sowie waschmaschinenbezogene Funktions-

modelle eines Hausgeräteherstellers wird ein umfassendes produktseitiges Wissen in die Identifikation der Kontextfaktoren eingebracht. Das ausgefüllte Erfassungsmodell bezieht **sowohl unternehmens-, markt- als auch Umfeldbezogene Kontextfaktoren** ein. Zudem umfasst es sowohl potenzielseitige als auch bedarfsseitige Faktoren, wodurch eine umfassende Planungsgrundlage zur Projektion der Faktoren geschaffen ist. Einige Beispiele seien an dieser Stelle angeführt, um die Vielfältigkeit der Faktoren zu zeigen. Für das Feld Standards/Regularien bezüglich der Nutzungsphase spielt der Kontextfaktor „Stiftung Warentest“ eine wichtige Rolle. Für das Feld Infrastruktur bezüglich der Transportphase wird u. a. der Faktor „Transportart“ und für das Feld Politik im Bereich Fertigung wird der Faktor „Forderung nach energieeffizienten Produktionsverfahren (Grüne Produktion)“ berücksichtigt. Hinsichtlich des sozialen Kontexts im Bereich der nachnutzungsbezogenen Dienstleistungen ist der Faktor „Bedarf nach Wiederverkaufsplattform und Abholservice“ berücksichtigt. Und im Bereich der Technologien wird hinsichtlich der Produktwartung der Faktor „Remotetechnologien“ in die Planung einbezogen. Die Nutzung des entwickelten Erfassungsmodells kann in realen Prozessen zur Unterstützung der Informationsakquisition und Szenario-Bildung herangezogen werden. Zudem dienen die gesammelten Informationen als Grundlage für weitere Analysen zur Durchdringung planungsrelevanter Systemzusammenhänge, weshalb diese folgend in matrizenbasierte Strukturmodelle überführt werden.

Erstellung und Analyse des Strukturmodells zukünftig zu erbringender Waschmaschinen

Um die ermittelten Kontextfaktoren in den entwickelten **Kompatibilitäts- und Konsistenzanalysen** heranziehen zu können, wird schrittweise das dafür **geeignete Strukturmodell** abgeleitet. Zunächst werden die Kontextfaktoren danach unterteilt, ob diese zu einer zukünftigen Lösung beitragen oder ob diese einen Bedarf an die Lösung darstellen. Die ermittelten Bedarfe werden zunächst in einzelne Ziele an den mit der Waschmaschine assoziierten Leistungsbündellebenszyklus überführt. So wird die Rahmenbedingung „ökologisches Bewusstsein“ hinsichtlich der Produktnutzung in die Ziele „Senkung des Energieverbrauchs im Betrieb“, „niedrigerer Wasserverbrauch“ sowie „nachhaltige Materialwahl“ überführt. Um Redundanzen der Ziele zu vermeiden, werden diese untereinander abgeglichen, so dass daraus eine konsolidierte Liste mit insgesamt **44 angestrebten Zielen** bezüglich des Waschmaschinenleistungsbündels resultiert (siehe Anhang 8.10). Im Konzeptsystem werden dagegen basierend auf der Kontextanalyse insgesamt **77 verschiedene Lösungselemente** (Fertigungsverfahren, Technologien, Recyclingverfahren, etc.) entlang des Lebenszyklus zusammengetragen (siehe Anhang 8.10). Insgesamt 49 dieser Lösungselemente fließen in die Kompatibilitätsanalyse für das Referenzszenario des Planungshorizonts 2016 ein, während die weiteren Faktoren auch in den unterschiedlichen weiteren Szenarios der Jahre 2016 und 2018 Eingang finden. Für die Charakterisierung dieser 49 Lösungselemente werden insgesamt 53 verschiedene Parametermerkmale herangezogen, welche beispielhaft jeweils über zwei bzw. drei verschiedene Ausprägungen verfügen.

Um das **Konzeptsystem mit dem Zielsystem zu verbinden**, werden **44 Funktionen** (siehe Anhang 8.10) in die Betrachtung einbezogen, welche Operationen am Waschmaschinenleistungsbündel bzw. durch das Leistungsbündel entlang des Lebenszyklus beschreiben. Um die Analyse der Zusammenhänge der verschiedenen Domänen zu ermöglichen, werden die **DMM**

Auf Basis der erstellten Strukturmodelle wird zunächst die **Kompatibilitätsanalyse des Waschmaschinenleistungsbündels** vorgestellt. Einerseits zur übersichtlicheren Darstellung, andererseits um die Flexibilität der Methodik anzudeuten, wird der Fokus lediglich auf die zwei Lebenszyklusphasen der Produktion sowie der Nutzung inklusive nutzungsbegleitender Dienstleistungen gelegt. Zudem erfolgt eine Einschränkung der Anzahl an Lösungselementen auf wesentliche nutzungsassoziierte Lösungselemente und Fertigungsschritte (siehe Bild 5-2 oben). Bei den Lösungselementen wird zudem zur übersichtlicheren Darstellung der Funktionsweise der Kompatibilitätsanalyse teilweise nur ein Parameter zur Charakterisierung herangezogen. Aufgrund der immer noch umfangreichen Berücksichtigung von 17 Lösungselementen sowie 40 Parametern ist die Plausibilität der entwickelten Methode dennoch überprüfbar.

Die Erstellung der DMM zwischen Lösungselementen und Parametern ist hinsichtlich des Aufwands trotz der theoretisch insgesamt 680 zu befüllenden Zellen überschaubar, da lediglich die wesentlichen – die Lösungselemente beschreibenden – Parametermerkmale für eine planungsseitige Kompatibilitätsanalyse von Belang sind. Somit werden nur die farblich hinterlegten Zellen im Planungsprozess ermittelt, während die weiteren Einträge (weiß hinterlegt) pauschal mit dem Wert 1 erfolgen. Anschließend wird die Kompatibilitätsanalyse nach den in Kapitel 4 (Bild 4-9) dargestellten Schritten durchgeführt. Das Ergebnis ist die in Bild 5-2 (unten) gezeigte **Kompatibilitätsmatrix**.

Hierbei ist zu sehen, welche Lösungselementpaare über alle 23 betrachteten Parametermerkmale kompatibel sind (siehe Eintrag Wert 23). Zudem wird angezeigt, welche Lösungselementpaare nicht kompatibel sind und **über wie viele Parametermerkmale diese Inkompatibilität** zustande kommt. Beispielsweise ist hinsichtlich der Waschmaschine zu sehen, dass die „Edelstahltrommel 8 kg“ weder über „Fertigungstechnologiekette für Trommel A“ noch über „Fertigungstechnologiekette für Trommel B“ umsetzbar ist, und die Lösungselemente jeweils über zwei Parametermerkmale inkompatibel sind (erkennbar durch Wert 21). Das Lösungselement „Kommunikation Smart-Grid“ ist dagegen mit dem Lösungselement „Servicekräfte für Nutzungsoptimierung“ über ein Parametermerkmal inkompatibel (Wert 22).

Durch das Hinterlegen der einzelnen Zwischenergebnisse in MS-Excel kann nun identifiziert werden, **welche Parametermerkmale für die Inkompatibilität verantwortlich sind** (siehe Anhang 8.10). Im Falle der Lösungselemente „Kommunikation Smart-Grid“ und „Servicekräfte für Nutzungsoptimierung“ ist diese auf das Parametermerkmal „Kom-Ste“ zurückzuführen, was bedeutet, dass die beiden Lösungselemente auf unterschiedliche Arten der *Kommunikationsschnittstelle zur Steuerung* zwischen Lösungselement und Waschmaschine zugreifen. Im Falle der Trommel ist die Inkompatibilität dagegen einmal auf die Parametermerkmale „Durchmesser der Trommel“ (*d-Tro*) und „Werkstoff der Trommel“ (*W-Tro*) bzw. auf die Parametermerkmale „Genauigkeit der Trommel“ (*Gen-Tro*) und „Werkstoff der Trommel“ (*W-Tro*) zurückzuführen.

Der Planer hat nun die **Nachvollziehbarkeit über die Systemzusammenhänge** und kann das weitere Vorgehen unter erweiterter Berücksichtigung der Abhängigkeiten zwischen den Parametern (nicht dargestellt) abstecken. Einerseits besteht die Möglichkeit, die Lösungselemente so zu entwickeln, dass diese über entsprechende Parametermerkmale kompatibel werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, auf alternative Lösungen auszuweichen bzw. auf Lösungselemente zu verzichten. Hinsichtlich der Trommel besteht zur Auflösung der Inkom-

Dies kann Auswirkungen auf die **Erreichung der mit den ursprünglich verfolgten Lösungselementen assoziierten Ziele** haben, weshalb an dieser Stelle auf den in Bild 5-3 dargestellten Ausschnitt aus der **Distanzmatrix** der Relationen zwischen Lösungselementen, Funktionen und Zielen verwiesen wird. Entschließt sich der Planer beispielsweise hinsichtlich der Inkompatibilität „*Kommunikation Smart-Grid*“ und „*Servicekräfte für Nutzungsoptimierung*“ auf das „*Kommunikation Smart-Grid*“ zu verzichten, so kann das Folgen für insgesamt acht artikulierte Ziele haben, u. a. für das Ziel „*Senkung des Energieverbrauchs*“.

Die dargestellte **Distanzmatrix** bezieht sich – zur Übersicht über alle für das Jahr 2016 berücksichtigten Lösungselemente – wiederum auf den **gesamten Lebenszyklus**. Will der Planer lediglich einen Überblick bekommen, welche Ziele an den verschiedenen Lösungselementen über die entsprechenden funktionalen Verknüpfungen hängen, so kann die Distanzmatrix auch unabhängig von der zuvor vorgestellten Kompatibilitätsmatrix genutzt werden.

Als Zwischenfazit hinsichtlich der entwickelten strukturbasierten Analysen kann gezogen werden, dass die Kompatibilitätsmatrix und die Distanzmatrix insbesondere aufgrund der Nachvollziehbarkeit der Zusammenhänge die **Eigenschaftsanalyse von Leistungsbündelkonzepten unterstützen**. Hierbei stellt sich der angeleitete Aufbau des Strukturmodells als sehr hilfreich dar, um systematisch die Zusammenhänge in der Folge abfragen zu können.

Konsistenz mehrerer Szenarios und mehrerer Planungshorizonte

Neben der gezeigten Kompatibilitätsanalyse innerhalb eines Szenarios werden nun die **mehrere Szenarios und Planungshorizonte umfassenden Konsistenzanalysen** am Demonstrationsbeispiel Waschmaschine vorgestellt. Zur Durchführung der Analysen findet zunächst eine Einschränkung auf die Betrachtung von Lösungselementen bezüglich nutzungsphasenbezogener Funktionen statt – analog zu Kapitel 4.5. In den **jeweils drei Szenarios der Planungshorizonte für die Jahre 2016 und 2018** finden insgesamt 38 verschiedene Lösungselemente Eingang. Für jedes Szenario wird eine eigene DMM als Ausschnitt aus der gesamten MDM zur Verknüpfung der Lösungselemente mit den Funktionen aufgebaut. Wie in Kapitel 4.5 dargelegt, werden diese in ihrem spezifischen Layout angeglichen, so dass entsprechende Subtraktionen und Additionen mit diesen durchgeführt werden können. Im Demonstrationsbeispiel der Waschmaschine wird für die insgesamt sechs verschiedenen Szenarios das jeweils gleiche Set an Funktionen hinterlegt. In der Praxis muss dies nicht der Fall sein, dennoch kann die Plausibilität auch im Rahmen dieser Einschränkung bezüglich der Konsistenz relevanter Lösungselemente in der vorliegenden Arbeit evaluiert werden. Insgesamt werden 24 nutzungsphasenbezogene Funktionen berücksichtigt. Der gewählte Umfang an Lösungselementen sowie Funktionen ist den Zeilen und Spalten der in Bild 5-4 abgebildeten Matrix zu entnehmen. An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass trotz der Fokussierung auf die jeweiligen DMMs die Nomenklatur der errechneten Matrizen an die übergeordnete MDM angelehnt ist. Zunächst sind für die Planung des Waschmaschinenleistungsbündels die Ergebnisse der **Konsistenzanalyse zur Gegenüberstellung der drei für den Planungshorizont 2016** relevanten Szenarios erläutert. Die in Bild 5-4 dargestellte Δ MDM leitet sich auf Basis des in Kapitel 4.5.1 aufgezeigten Berechnungsschemas ab.

ΔMDM 2016

	Wäsche zuführen und entnehmen	Bauteile schützen	Wäscheart ermitteln (Verschmutzungsgrad, Menge, Material)	Wäsche speichern	Wäsche reinigen	Wäsche entwässern und trocknen	Feuchtigkeitsgrad messen	Wasser zuführen	Wasserhärte messen	Lauge mischen und speichern	Lauge erwärmen	Wasser abpumpen	Waschmittel zuführen und speichern	Elektrische Energie in thermische Energie wandeln (heizen, trocknen)	Elektrische Energie in rotatorische Energie wandeln (in Lauge bewegen, entwässern)	Elektrische Energie in rotatorische Energie wandeln (abpumpen)	Waschprogramm steuern und regeln	Umfeld gegen Schäden sichern	Produkt inbetriebnehmen	Leistungsbündel modernisieren	Produkt warten	Betrieb dokumentieren	Energieverbrauch senken	Produkt(-teile) ersetzen (Ersatzteile liefern und einbauen)
Bürstenmotor (inkl. Antriebssteuerung)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bürstenloser Motor (inkl. Antriebssteuerung)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bürstenloser Motor mit Rekuperation (inkl. Antriebssteuerung)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bürstenloser Motor mit hoher Drehzahl (inkl. Antriebssteuerung)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standard-Stahlgehäuse lackiert	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stahlgehäuse-breit-flach	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kunststoffgehäuse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Widerstandsheizung (Heizspirale)	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Induktionsheizung	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infrarotheizung	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Türelement klassisch (Türe mit gegossenem speziell geformtem Glas)	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Türelement groß ohne Glas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Türelement mit automatisierter Wäschentrennung	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kunststoff-Laugenbehälter klassisch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kunststoff-Laugenbehälter groß	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Laugenbehälter dünnwandig aus Stahl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Laugenpumpe A mit Spaltpolmotor	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Laugenpumpe B als Magnetpumpe	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aquastop	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
Bedien-/Leistungsmodul A - klassisches einfarbiges Display zur Programmauswahl mit Knopf zur Programmwahl	0	0	0	0	0	-2	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0
Bedienmodul B - mehrfarbiges, multifunktionales TouchPad (Verbrauch, etc), remotefähig, Zusatzfunktionen zur Dokumentation	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0
Bedienmodul C - Smartphone-Kopplung, remotefähig, Zusatzfunktionen zur Dokumentation	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Wasser-/Waschmittelzufuhr A - Kaltwasser, Waschmittel eigenhändig	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wasser-/Waschmittelzufuhr B - Kaltwasser, Waschmittel Auto	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wasser-/Waschmittelzufuhr C - Kalt- und Warmwasser, Waschmittel Auto	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Edelstahltrommel 6 kg	0	0	0	-2	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Edelstahltrommel 8 kg	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Glasfaserverstärkte Kunststofftrommel 9 kg	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Servicekräfte zur Nutzungsoptimierung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-2	0	0
Remotetechnologien zur Wartung und zur Dokumentation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	0
Servicekräfte für Wartung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
Cloudcomputing zur Datenspeicherung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
Enges Vertriebsnetz zur Wartung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Kommunikation Smartgrid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	-2	0
Remotetechnologien zum Upgrade von Programmen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
Waschmaschinen-spezifische Funktechnik bei Zulieferer verfügbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Smartphone-Verbreitung bei Kunden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Möglichkeiten der Garantie-/Kulanzenerweiterung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1

Bild 5-4: ΔMDM zur Darstellung der Konsistenz der Szenarios für den Planungshorizont 2016

Nachdem analog zu Kapitel 4.5 ein Referenzszenario und zwei Extremszenarios in die Analyse einbezogen sind, ist auch das bereits bekannte **Interpretationsschema** auf die vorliegende Δ MDM anwendbar. Demnach erlauben die Werte folgende Aussagen in Bezug auf die jeweils betrachtete Funktion:

- 2: Lösungselement wird in zwei Extremszenarios berücksichtigt;
- 1: Lösungselement wird in einem Extremszenario berücksichtigt;
- 0: Lösungselement wird in allen bzw. in keinem Szenario berücksichtigt;
- -1: Lösungselement wird in einem Referenz- und einem Extremszenario berücksichtigt;
- -2: Lösungselement wird im Referenzszenario berücksichtigt.

Zwar ist hinsichtlich des Werts 0 die Interpretation, ob das Lösungselement in allen oder keinem Szenario berücksichtigt wird, schon in der Δ MDM für den Planer durch die jeweils benachbarten Felder oftmals ableitbar. Zusätzlich kann noch die **MDM+** herangezogen werden (siehe Anhang 8.10), da aus dieser hervorgeht, **in wie vielen Szenarios das jeweilige Lösungselement** berücksichtigt wird. Als Beispiel sei an dieser Stelle wiederum die Trommel aufgegriffen. Wie zu sehen ist, wird die „Edelstahltrommel 6 kg“ für die Funktion „Wäsche reinigen“ nur im Referenzszenario berücksichtigt, während die „Edelstahltrommel 8 kg“ Eingang in ein Referenz- und ein Extremszenario findet. Das alternativ zu wählende Lösungselement „Glasfaserverstärkte Kunststofftrommel 9 kg“ wird dagegen nur in den beiden Extremszenarios berücksichtigt.

Neben der Konsistenzanalyse mehrerer Szenarios wird folgend noch die **Konsistenzanalyse verschiedener Planungshorizonte des Waschmaschinenleistungsbündels** zusammengefasst. In Anlehnung an das Berechnungsschema in Kapitel 4.5.2 werden zunächst jeweils die **MDM+** für den Planungshorizont 2016 sowie für den Planungshorizont 2018 abgeleitet. Da im Demonstrationsbeispiel das Ziel verfolgt wird, die mittelfristige Planung für das Jahr 2016 in den Mittelpunkt der Betrachtung zu stellen und diese mit den Szenarios des Jahres 2018 zu vergleichen, wird die **MDM+** des Jahres 2018 von der **MDM+** des Jahres 2016 subtrahiert (Ergebnis siehe Anhang 8.10). In der Folge ergeben sich – aufgrund der analog zu Kapitel 4.5.2 jeweils drei berücksichtigten Szenarios je Planungshorizont – eine **MDM-**, welche folgende Werte ausgibt und darauf aufbauende **Interpretationen** zulässt:

- 3: Lösungselement wird nur im Planungshorizont 2016 berücksichtigt;
- 2: Lösungselement wird im Planungshorizont 2016 zweimal häufiger berücksichtigt;
- 1: Lösungselement wird im Planungshorizont 2016 einmal häufiger berücksichtigt;
- 0: Lösungselement wird in beiden Planungshorizonten gleich häufig berücksichtigt;
- -1: Lösungselement wird im Planungshorizont 2018 einmal häufiger berücksichtigt;
- -2: Lösungselement wird im Planungshorizont 2018 zweimal häufiger berücksichtigt;
- -3: Lösungselement wird nur im Planungshorizont 2018 berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Konsistenzanalysen für die Planung des Waschmaschinenleistungsbündels sind in Bild 5-5 für die Funktion „Betrieb dokumentieren“ dargestellt. Insgesamt sieben verschiedene Lösungselemente werden hierbei berücksichtigt, wobei sich deren Positionierung im Portfolio teilweise überlagert.

Um zwei Beispiele aus dem Portfolio herauszugreifen, seien die Lösungselemente „*Remotetechnologien zur Wartung und zur Dokumentation*“ sowie „*Bedienmodul C*“ erläutert. Durch den Wert 1 auf der x-Achse sowie den Wert -1 auf der y-Achse und die Blasengröße 2 ist hinsichtlich der Remotetechnologien folgende Interpretation zu treffen:

- Lösungselement wird in der Planung für das Jahr 2016 einmal häufiger als für das Jahr 2018 berücksichtigt;
- Lösungselement wird in den Szenarios des Planungshorizonts 2016 zweimal berücksichtigt, nämlich in einem Referenz- und einem Extremszenario.

Durch den Wert -2 auf der x-Achse sowie den Wert 1 auf der y-Achse und die Blasengröße 1 ist für das Bedienmodul C folgende Interpretation zu treffen:

- Lösungselement wird in der Planung für das Jahr 2018 zweimal häufiger als für das Jahr 2016 berücksichtigt;
- Lösungselement wird in den Szenarios des Planungshorizonts 2016 einmal berücksichtigt, nämlich in einem Extremszenario.

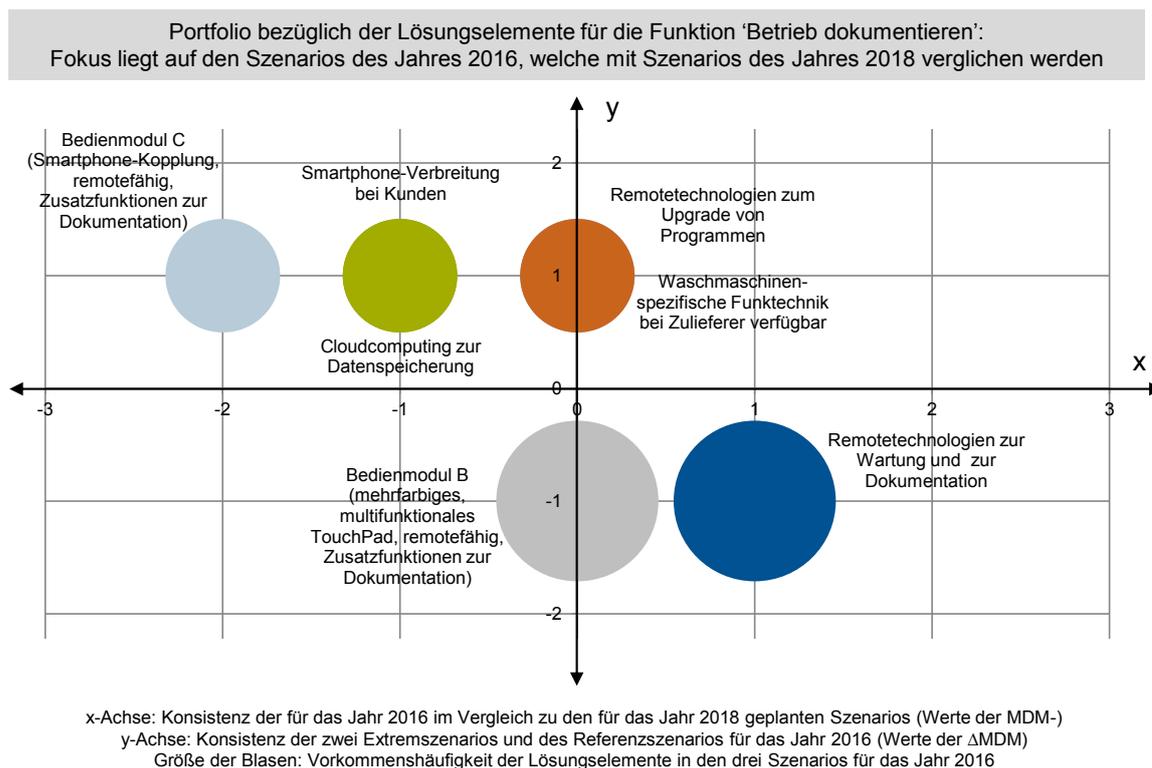


Bild 5-5: Portfolio zur übersichtlichen Darstellung der Konsistenzanalysen der Szenarios

Diese Aussagen **unterstützen die Entscheidung** über die weitere **Ausrichtung von Entwicklungsschwerpunkten**. Beispielsweise ist „*Bedienmodul B*“ sowohl für die Planungshorizonte 2016 und 2018 relevant und ist auch in zwei Szenarios des Planungshorizonts 2016 berücksichtigt. Dies kann dem Planer aufzeigen, in welche technologische Richtung Bedien-

module weiterzuentwickeln sind und welche alternativen Zukunftsprojektionen diese abdecken können. Somit zeigt sich auch für die Konsistenzanalysen über mehrere Zeithorizonte der Mehrwert für die Planung zukünftig zu erbringender Waschmaschinenleistungs-bündel durch die Berücksichtigung dahingehender Zusammenhänge.

Fazit zum Demonstrationsbeispiel Waschmaschine

Das Demonstrationsbeispiel zeigt die **Vielseitigkeit der entwickelten Methoden** an einem praxisnahen Planungsprojekt einer Waschmaschine und einhergehender Dienstleistungen auf. Anhand eines zahlreiche Elemente umfassenden Strukturmodells, welches auf der lebenszyklusorientierten Kontextanalyse aufbaut, wurde die **Durchgängigkeit in der Anwendung** der entwickelten Methoden aufgezeigt. Die Ergebnisse erweisen sich als **glaubhaft und sinnvoll**, weshalb von inhaltlicher Seite die **Plausibilität der entwickelten Methoden am Demonstrationsbeispiel gezeigt werden konnte**. Werden die hinsichtlich der Methodik in Kapitel 4.1 artikulierten Anforderungen reflektiert, so zeigt das Demonstrationsbeispiel, dass diese weitestgehend durch die Methodik sowie die entsprechenden Einzelmethode erfüllt werden. Auf die zusammenfassende Reflexion der Methodik sei auf Kapitel 5.3 verwiesen, welches an das folgende Fallbeispiel im Bereich der Planung von Großdieselmotoren anschließt.

5.2 Fallstudie Großdieselmotor

Der Umgang mit **planungsrelevanten Systemzusammenhängen von Großdieselmotoren** beim Unternehmen **MAN Diesel & Turbo SE** (folgend MDT genannt) dient als zweites Fallbeispiel zur Evaluierung der Methodik. Während das Demonstrationsbeispiel der Waschmaschine auf die Darstellung der Ergebnisplausibilität sowie der Durchgängigkeit der Methodik abzielt, adressiert diese Fallstudie die **expertenbasierte, qualitative Evaluierung der Anwendbarkeit sowie des erwarteten Nutzens in der industriellen Praxis**. Auch die Einbettung der Methodik in reale Planungsprozesse wird anhand des Beispiels zur Planung von Großdieselmotoren reflektiert.

In diesem Fallbeispiel wird aufgrund der Fokussierung auf planungsrelevante Systemzusammenhänge nicht die gesamte Methodik, sondern lediglich die Durchführung der Identifikation und Analyse konsistenter Produktkonzepte für Großdieselmotoren betrachtet. Die Fallstudie wurde im Jahr 2011 durch den Autor der vorliegenden Arbeit koordiniert und in Kooperation mit der Abteilung zur strategischen Produktplanung bei MDT durchgeführt. Die Reflexion der methodischen Unterstützung zur Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge erfolgte in gemeinsamen **Workshops** sowie **bilateralen Gesprächen** mit **Mitarbeitern der Planungsabteilung** und den eingebundenen Mitarbeitern der **Vorentwicklung**. Die Fallstudie wurde durch die Erarbeitung einer Studienarbeit (PRODUKTENTWICKLUNG 2011c) begleitet, auf welche sich die folgenden Ausführungen zur Fallstudie maßgeblich stützen.

Zunächst werden die spezifischen Rahmenbedingungen zur Durchführung der Fallstudie bei MDT dargestellt. Anschließend wird gezeigt, wie der Methodenrahmen in bestehende Planungsprozesse bei MDT eingebunden wurde, um abschließend den Mehrwert der Berücksichtigung von Systemzusammenhängen in den frühen Planungsphasen zu reflektieren.

Rahmenbedingungen der Fallstudie zu Großdieselmotoren

Zum besseren Verständnis der **Rahmenbedingungen und Prozesse bei MDT** ist zunächst kurz die Unternehmensstruktur dargelegt. MDT gliedert sein Leistungsspektrum in die vier strategischen Geschäftsbereiche Engines & Marine Systems, Turbomachinery, Power Plants sowie After Sales. Neben den Geschäftsbereichen existieren im Unternehmen verschiedene Zentralbereiche, die sogenannten Group Functions, welche eine **Querschnittsfunktion** innehaben. Der Zentralbereich „**Strategy and Development**“, in welchem diese Fallstudie schwerpunktmäßig durchgeführt wurde, ist unter anderem für Marktanalysen sowie die strategische Produktplanung zuständig. Auch innerhalb der einzelnen strategischen Geschäftsbereiche werden weiterhin produktplanende Tätigkeiten – jedoch mit Schwerpunkt auf der Technologieforschung und Vorentwicklung – durchgeführt. Nachdem in der Fallstudie der Fokus auf der Planung zukunftsweisender 4-Takt-Großdieselmotoren liegt, besteht daher ein Anknüpfungspunkt zur Abteilung „Support Function Engineering Four Stroke“ (EE) innerhalb des strategischen Geschäftsbereichs „Engines & Marine Systems“.

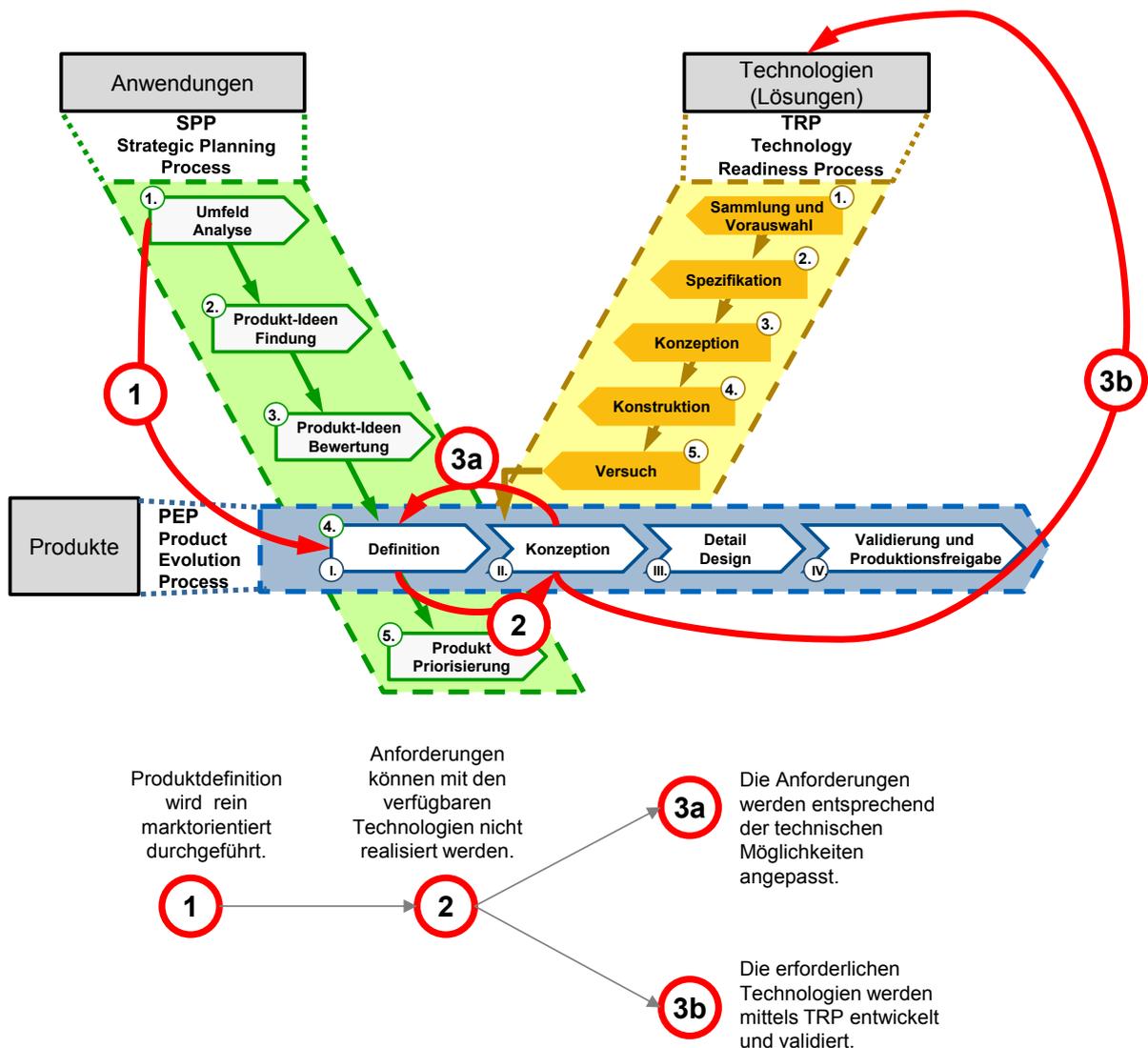


Bild 5-6: Planungsrelevante Prozesse und Herausforderungen bei MAN Diesel & Turbo SE in Anlehnung an PRODUKTENTWICKLUNG 2011c

In den an der **Produkt- und Technologieplanung** beteiligten Abteilungen sind zu Beginn der Fallstudie bereits verschiedene unternehmensintern festgelegte, standardisierte Prozesse verankert. So durchläuft die strategische Produktplanung (GS) den „**Strategic Planning Process (SPP)**“ und die Vorentwicklung (EE) zur Erarbeitung marktreifer Technologien den „**Technology Readiness Process (TRP)**“, wobei diese Prozesse direkt in den „**Product Evolution Process (PEP)**“ einfließen. Eine mit den Prozessen einhergehende Problematik besteht darin, dass die planerischen Tätigkeiten im Unternehmen von Marktseite (durch den SPP) und von Technologieseite (TRP) oftmals erst in den frühen Phasen dieses PEP abgeglichen werden. Durch die späte prozessual formal definierte Kopplung sieht man sich in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses verschiedenen Herausforderungen gegenübergestellt, welche gemeinsam mit den entsprechenden Prozessen in Bild 5-6 dargestellt sind.

Eine **Problemstellung** in einem wie in Bild 5-6 dargestellten Market-Pull orientierten Szenario besteht darin, dass es passieren kann, dass Anforderungen eines im SPP geplanten marktorientierten Großdieselmotors nicht durch die entsprechend (vor-)entwickelten und zur Verfügung stehenden Technologien erfüllt werden können. In Konsequenz müssen die Anforderungen so angepasst werden, dass die zur Verfügung stehenden Technologien ausreichend sind bzw. dass der TRP nochmals für weitere Technologien durchlaufen werden muss, so dass schließlich im Entwicklungsprozess alle Anforderungen erfüllt werden können. Beide Alternativen können zu nachteiligen Effekten führen: auf der einen Seite werden die **Kundenanforderungen nicht ausreichend gewürdigt**, im anderen Fall kommt es aufgrund des neuerlichen Durchlaufs des TRP zu **erheblichen Zeitverzögerungen** im PEP. Eine weitere Problemstellung in der späten Kopplung von TRP und SPP besteht auch im Falle eines Technologie-Push orientierten Vorgehens, nämlich dann, wenn **Technologien** bis zur Marktreife fertigentwickelt werden, welche schlussendlich **keinen spezifischen Mehrwert hinsichtlich des Lebenszyklus** aufweisen.

Diese Ausgangssituation hat auf Seiten MDT den Bedarf nach einer abgestimmten, systematisch erstellten Markt-Technologie-Roadmap aufgedeckt. An diesem Bedarf knüpft der Einsatz von spezifischen Aspekten des in Kapitel 4 erstellten methodischen Ansatzes an, indem folgende seitens MDT artikulierten **Ziele** angegangen werden (PRODUKTENTWICKLUNG 2011c):

- *„Klare Festlegung des Vorgehens, der Schnittstellen und der Verantwortlichkeiten: Um die Abstimmung und Dokumentation systematisch abzuwickeln und dadurch nachvollziehbar und wiederholbar zu machen, müssen die einzelnen Schritte, Schnittstellen und Verantwortlichkeiten klar definiert sein.*
- *Vorwärtsgerichtete Technologieentwicklung ermöglichen: Zur langfristigen Sicherung der Marktposition durch die Entwicklung und Umsetzung von Innovationen, soll die Abstimmung zwischen TRP und SPP eine marktorientierte und vorwärtsgerichtete Technologieentwicklung ermöglichen. Dies dient zur Sicherstellung, dass die notwendigen Technologien zur Realisierung von nachgefragten Produkten rechtzeitig zur Verfügung stehen.*
- *Berücksichtigung der zeitlichen Dimension: Abgesehen von der Analyse und Prognose zukünftiger Entwicklungen zur strategischen Planung einzelner Produkte, sollen die Entwicklungen des Marktes und des Unternehmensumfeldes erfasst und dargestellt*

werden. Daneben sollen die technologischen Potentiale der Zukunft ermittelt werden und den Bedarfen des Marktes gegenübergestellt werden.

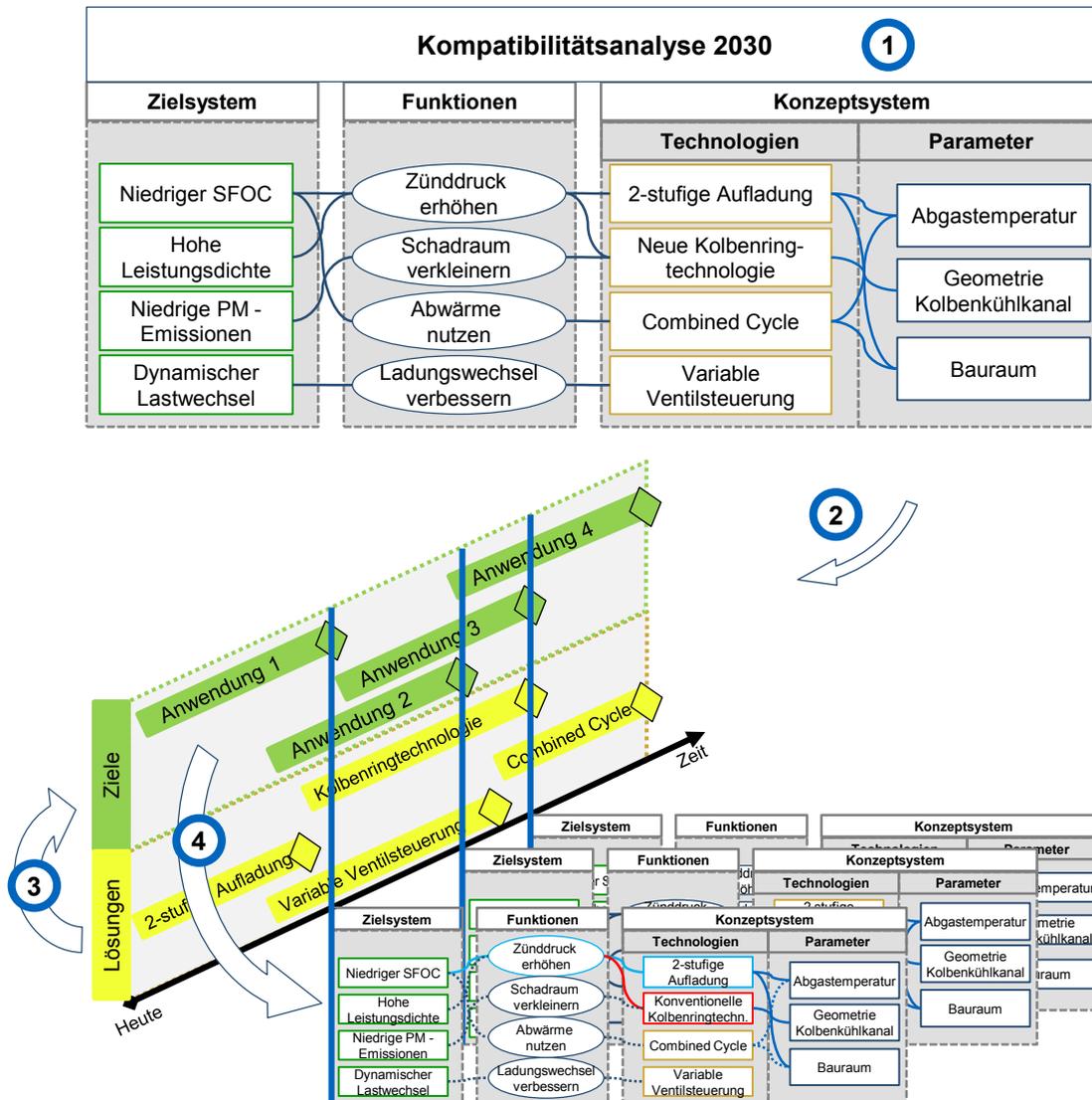
- *Vorgehen zur Erstellung konsistenter Produktkonzepte: Hierin liegt die Hauptaufgabe bei der konkreten Abstimmung zwischen SPP und TRP. Dazu ist ein Vorgehen zur Verknüpfung zwischen Marktbedarfen und Technologiepotentialen notwendig. Dabei müssen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den Elementen berücksichtigt werden, um schließlich konsistente Produktkonzepte zu erstellen.*
- *Langfristige Planung des gesamten Produktportfolios ermöglichen: Die derzeitigen Prozesse der MDT fokussieren meist nur einzelne Produkte. Zukünftig sollte es möglich sein, das gesamte Produktportfolio strategisch aufzustellen, wozu die Einbeziehung aller Produkte in die strategische Produktplanung notwendig ist.*
- *Langfristige Synchronisation von Produktplanung und Technologieentwicklung: Dies kann als das übergeordnete Ziel der Erstellung einer Markt-Technologie-Roadmap bezeichnet werden. Am Ende soll ein Vorgehensmodell bestehen, welches aufgrund der Abstimmung zwischen SPP und TRP eine synchronisierte Produkt- und Technologieroadmap für das Unternehmen generiert.*
- *Realisierung einer durchgängigen Technologieanwendung: Die langfristige Synchronisierung von Produktplanung und Technologieentwicklung soll eine durchgängige Technologieanwendung ermöglichen. D. h. wird eine Technologie zur Realisierung eines bestimmten Marktbedarfes entwickelt, so soll diese nicht nur in einem Produkt Einsatz finden, sondern möglichst durchgängig im gesamten Produktportfolio eingesetzt werden, sofern dies möglich und sinnvoll ist.“*

Einbettung der Kompatibilitätsanalyse in die Prozessumgebung bei MDT

Zur Erfüllung der im industriellen Umfeld bei MDT artikulierten Bedarfe wurde der in Kapitel 4 dargestellte **methodische Rahmen zur Kompatibilitätsanalyse** leicht angepasst und in einem **vierstufigen Vorgehen**, welches an die bereits bei MDT bestehenden Prozesse anknüpft, zusammengefasst (siehe Bild 5-7). Aufbauend auf der Erstellung eines Zielsystems im SPP sowie des Konzeptsystems im TRP werden für ein Produkt und einen Planungshorizont die beiden Systeme anhand von Funktionen miteinander in Verbindung gesetzt. Im Anschluss erfolgen die **Kompatibilitätsanalyse von Produktkonzepten** sowie die Überprüfung der Erfüllung des Zielsystems (Schritt 1). Im nächsten Schritt wird das Thema der sich über die Zeit entwickelnden Technologien, Ziele sowie Produkte adressiert. Aufgrund dessen, dass im Großdieselmotorenbereich insbesondere **inkrementelle Innovationen** vorangetrieben werden, kann das in den vorigen Schritten identifizierte **Zielsystem sowie das Konzeptsystem für zusätzliche Zeithorizonte weiterentwickelt** werden.

Hierzu stellt die für die Technologieplanung verantwortliche Abteilung EE eine Technologie-Roadmap für den Entwicklungsstand der zuvor als sinnvoll identifizierten Technologien auf (Schritt 2). Daran anschließend werden unter Berücksichtigung der von GS identifizierten Produktziele entsprechende sinnvolle Produktvorschläge entwickelt (Schritt 3). Diese Produktkonzepte werden im Anschluss **für bestimmte (Markteinführungs-)Zeitpunkte** entlang

der Produkt-Roadmap einzelnen **Kompatibilitäts- und einhergehenden Zielbeziehungsanalysen** unterzogen (Schritt 4).



- 1 Erstellen eines Produktkonzepts durch Unterstützung der Kompatibilitätsanalyse für einen zukünftigen Zeitpunkt als Basis für die Technologieentwicklung
- 2 Entwickeln einer Technologie-Roadmap unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen
- 3 Entwickeln einer strategischen Produkt-Roadmap unter Berücksichtigung der verfügbaren Technologien
- 4 Weitere Kompatibilitätsprüfungen für verschiedene Anwendungen

Bild 5-7: Anwendung der Kompatibilitätsanalyse bei MAN Diesel & Turbo SE in Anlehnung an PRODUKTENTWICKLUNG 2011c

Im Folgenden wird die Einbettung des Vorgehens in die Prozessumgebung unter Darlegung spezifischer Methoden zur Kompatibilitätsanalyse vorgestellt. Hierbei treten die beiden Pro-

zesse des SPP sowie des TRP nicht erst an der gemeinsamen Schnittstelle im PEP in Kontakt, sondern gleichen die jeweils entlang der Einzelprozesse erzielten Erkenntnisse kontinuierlich ab. Die organisatorische Einheit GS verantwortet, koordiniert und moderiert die verschiedenen Schritte und bindet hierbei insbesondere die relevanten Stakeholder der Vorentwicklung (Abteilung EE) ein. Für die in Schritt 1 anstehende Gegenüberstellung von marktassoziierten Zielen und Technologiepotenzialen legt GS zunächst den relevanten Planungshorizont fest. Für diesen Planungshorizont werden analog zum vorgeschlagenen Vorgehen in Kapitel 4.4 zunächst das Konzept-, das Zielsystem sowie deren Verknüpfung über Funktionen erarbeitet.

Zur **Erstellung des Zielsystems** kann auf Seiten des SPP auf eine unternehmensintern gepflegte Liste zukünftig angestrebter Anwendungen zurückgegriffen werden. Im Bereich der **Erstellung des Konzeptsystems** wird auf eine Technologiedatenbank seitens EE zurückgegriffen. Die Erstellung relevanter **Funktionen** sowie deren Verknüpfung mit den Technologien erfolgt aufgrund der technologischen Expertise ebenfalls durch EE. Zudem ist EE auch für die Identifikation relevanter Parameter zur Beschreibung der Technologien verantwortlich. Gemeinsam ordnen GS und EE die Funktionen nun den akquirierten Zielen hinzu. Nun zeigt sich bereits, ob alle Ziele durch die von EE erhobenen Funktionen ausreichend bedient werden und in der Folge Lösungselemente für die entsprechenden Ziele zur Verfügung stehen. Falls nicht, ist es bereits an dieser Stelle möglich, einerseits gewisse Ziele zurückzustellen bzw. andererseits weitere Funktionen und Lösungselemente in die Kompatibilitätsanalyse einzubeziehen.

Im Rahmen der bei MDT durchgeführten **Kompatibilitätsanalyse** werden die ausschließlich nutzungsphasenbezogenen Funktionen hierbei als Operationen betrachtet, welche zur Verbesserung des Großdieselmotors beitragen. So ergeben sich beispielsweise die Zusammenhänge, dass das Lösungselement „*Neue Kolbenringtechnologie*“ zur Funktion „*Zünddruck erhöhen*“ eingesetzt werden kann, welche im Endeffekt dem Ziel „*Niedriger SFOC*“ (SFOC = Specific Fuel Oil Consumption) sowie dem Ziel „*Hohe Leistungsdichte*“ beiträgt. Über die Parameter zur Charakterisierung der Lösungselemente (in diesem Fall Technologien) ist es möglich, dass einzelne Lösungselemente in Beziehung stehen und sich aufgrund einer Inkompatibilität gegenseitig ausschließen. So stehen das Lösungselement „*2-stufige Aufladung*“ mit dem Lösungselement „*Combined Cycle*“ beispielsweise über die Parametermerkmale „*Bauraum*“ und „*Abgastemperatur*“ in Beziehung. Auf eine detaillierte Auseinandersetzung mit der Ableitung kompatibler Produktkonzepte wird an dieser Stelle verzichtet, da dahingehende spezifische Mechanismen bereits im Demonstrationsbeispiel zur Waschmaschine dargelegt sind.

In Schritt 2 werden nun auf Basis der für den **zunächst gewählten Planungszeitpunkt präferierten Konzepte** die Prozesse SPP und TRP **weiter verfolgt**. Im TRP werden durch die Abteilung EE zunächst für die zu verfolgenden Technologien weitere Rahmenbedingungen und Spezifikationen in Projektplänen definiert. Darauf basierend werden die Einzeltechnologien in einer Technologie-Roadmap hinterlegt. Hat die Technologieplanung die Spezifikationen und Zeitpunkte der Einzeltechnologien festgelegt, so wird u. a. darauf aufbauend von Seiten GS die **Produkt-Roadmap** in Schritt 3 festgelegt. Neben den in der **Technologie-Roadmap** dokumentierten Informationen gilt es für GS wiederum, die auf Seiten GS akquirierten Produktideen und Anwendungsszenarios in die Erstellung der Produkt-Roadmap einfließen zu lassen. Für die in der Produkt-Roadmap hinterlegten Anwendungen sollte GS entsprechende

Kurzlastenhefte entwerfen, so dass diese im nächsten Schritt wiederum hinsichtlich ihrer technologischen Umsetzbarkeit analysiert werden können.

In Schritt 4 findet für die verschiedenen Anwendungen und einhergehenden **Markteinführungszeitpunkte jeweils eine Kompatibilitätsanalyse** statt. Diese dienen der Überprüfung, ob die in der Technologie-Roadmap für einen bestimmten Zeitpunkt hinterlegten Technologien in der Lage sind, die durch GS verfolgte Anwendung zu erfüllen. Dies ist in Bild 5-7 unten dargestellt, wobei beispielsweise für Anwendung 1 die drei Lösungselemente „*Neue Kolbenringtechnologie*“, „*Combined Cycle*“ sowie „*Variable Ventilsteuerung*“ noch nicht zur Verfügung stehen. Dagegen sind lediglich das Lösungselement „*2-stufige Aufladung*“ sowie die „*Konventionelle Kolbenringtechnologie*“ einsetzbar, um der Funktion „*Zünddruck erhöhen*“ beizutragen. Auch im Zielsystem werden für Anwendung 1 des Großdieselmotors nicht so hohe Ansprüche gestellt, so dass lediglich das Ziel „*Niedriger SFOC*“ einzuhalten ist. Für dieses reduzierte Set an Elementen kann nun die Kompatibilitätsanalyse für Anwendung 1 durchgeführt werden und entsprechende Handlungsoptionen können durch die Abteilungen GS und EE abgeleitet werden.

Fazit zum Fallbeispiel Großdieselmotor

Die **Darlegung der Zusammenhänge** zwischen einerseits zukünftig zu erreichenden, marktorientierten Zielen und andererseits zukünftig einsetzbaren Technologien ist **von Seiten der eingebundenen Mitarbeiter bei MDT als sehr hilfreich empfunden worden**, um aufeinander abgestimmte Markt- und Technologieroadmaps zu erstellen. Obschon eine ausgereifte Softwareunterstützung hinsichtlich der Kompatibilitätsanalyse noch nicht vorhanden ist, wurde von den eingebundenen Mitarbeitern bei MDT durch die Methodenanwendung **ein deutlicher Mehrwert hinsichtlich der Durchdringung komplexer, planungsrelevanter Zusammenhänge** wahrgenommen. Auch die herangezogenen Domänen der Ziele, Funktionen, Lösungselemente (Technologien) sowie Parameter konnten **direkt an die in den existierenden Prozessen zur Produktplanung und Technologieentwicklung** erarbeiteten Erkenntnisse **gekoppelt werden**. Als wesentlicher Aspekt hat sich zudem gezeigt, dass die Einbindung **verschiedener Stakeholder** einer klaren Zuordnung von Verantwortlichkeiten bedarf, wobei sich die strategische Planung als Schnittstellenfunktion im Unternehmen besonders zur Koordination und Moderation der Kompatibilitätsanalysen eignet. Somit kann basierend auf dieser Fallstudie hinsichtlich der industriellen Anwendbarkeit ein positives Fazit gezogen werden – insbesondere was den Nutzen des methodischen Rahmens sowie dessen Einbettbarkeit in bestehende Planungsprozesse angeht.

5.3 Zusammenfassende Reflexion der Planungsmethodik

Aufbauend auf den in Kapitel 4 dargelegten Zusammenhängen zur Anwendung der Methodik sowie den in Kapitel 5 dargestellten Fallbeispielen erfolgt in diesem Kapitel eine zusammenfassende Reflexion der Methodik zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung. Die kritische Betrachtung des Ansatzes greift auf die in Kapitel 4.1 qualitativ artikulierten Anforderungen zurück (in diesem Kapitel *kursiv* dargestellt). Grundsätzlich wurden, wie bereits den verschiedenen Kapiteln zur Darstellung der Einzelschritte der Methodik entnommen werden kann, **die gestellten Anforderungen weitestgehend erfüllt**. Im Folgenden wird an-

hand einer kritischen Zusammenfassung reflektiert, inwieweit die Anforderungen durch die entwickelte Methodik adressiert und umgesetzt sind.

Zu unterstützende Planungstätigkeiten

Die Methodik zur lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung leistet einen großen Beitrag zur *Identifikation planungsrelevanter Informationen*. Durch die Nutzung des in Kapitel 3 vorgestellten **Lebenszyklusmodells** unter Berücksichtigung weiterer Dimensionen planungsrelevanter Kontextfaktoren wird eine **strukturierte Informationsakquisition** bezüglich zukünftig zu erbringender Sach- und Dienstleistungskombinationen ermöglicht. Die Tätigkeit der *Antizipation planungsrelevanter Informationen* wird zum Teil unterstützt, fokussiert sich hierbei auf die Auswahl geeigneter Projektionsverfahren und stellt dadurch wesentliche Anknüpfungspunkte zu den bereits ausgereiften existierenden Antizipationsverfahren her. Die *Identifikation und Interpretation planungsrelevanter Systemzusammenhänge* wird durch die detailliert dargelegten Methoden der **Kompatibilitäts- und Konsistenzanalysen** sowohl innerhalb eines Szenarios als auch hinsichtlich verschiedener Szenarios und Planungshorizonte sehr gut unterstützt. Hierbei befähigt die detaillierte Darlegung von **Auswertungsmechanismen und Interpretationsschemata** den Planer zur Deutung der anhand der Analyseverfahren ermittelten Erkenntnisse. Die *Dokumentation und Ablage erzielter Ergebnisse und Zwischenergebnisse* kann aus zweierlei Perspektiven betrachtet werden. Die Kopplung der akquirierten Informationen an bestehende Datenmanagementsysteme und Datenaufbereitungswerkzeuge – wie beispielsweise in spezifischen Technologie-Roadmaps und Innovationsdatenbanken – wird zwar angedeutet, jedoch nicht spezifisch ausgearbeitet. Dagegen wird hinsichtlich der **strukturbasierten Dokumentation ein detailliertes Ordnungsschema** dargelegt, so dass entsprechende Analysen zur Identifikation planungsrelevanter Systemzusammenhänge durchführbar sind.

Zu berücksichtigende Informationen

Die *Berücksichtigung unternehmens-, markt- und umfeldrelevanter Faktoren* wird im Bereich des **Erfassungssmodells** zur Akquisition planungsrelevanter Informationen adressiert. Insofern ist diese Anforderung grundsätzlich erfüllt, eine detaillierte Auseinandersetzung, inwieweit sich spezifische Unterschiede in der Repräsentation und im Umgang mit den verschiedenen Informationsfeldern ergeben, wird jedoch nicht aufgezeigt. Die *Berücksichtigung von Sach- und Dienstleistungskombinationen* bei der Ermittlung zukünftig anzubietender Leistungsbündel wird wiederum über das entwickelte Modell des **Leistungsbündellebenszyklus** erfüllt. Auch bei der Festlegung der Domänen wurde darauf geachtet, dass **sowohl dienstleistungs- als auch sachleistungsbezogene** Elemente Eingang finden können. Dennoch besteht für eine durchgängige Anwendung der Methodik hinsichtlich überwiegend dienstleistungsgetriebener Leistungsbündel weiterer Handlungsbedarf. Zum einen ist die im Bereich der Leistungsbündelplanung relevante Thematik der Geschäftsmodellentwicklung nur randständig möglich, zum anderen ist der Ansatz hinsichtlich leistungsbündelspezifischer Modellierungsverfahren weiter zu verfeinern.

Die *Berücksichtigung aller Phasen im Leistungsbündellebenszyklus* wird in der vorliegenden Arbeit umfassend ausgearbeitet. Das in Kapitel 3.2 vorgestellte Modell des Lebenszyklus

wird in verschiedenen Abstraktionsstufen entlang der Methodik aufgegriffen, um den Planer hinsichtlich unterschiedlicher Tätigkeiten zu unterstützen. Der Planer wird zu einer ganzheitlichen Erfassung von Kontextfaktoren hinsichtlich des zukünftig zu erbringenden Leistungsbündels befähigt. Dies erlaubt in der Folge die **Durchdringung lebenszyklusbezogener Systemzusammenhänge in den entsprechenden Kompatibilitätsanalysen**. Um die relevanten Informationen zu erfassen sowie darauf basierende Analyseergebnisse und abzuleitende Entwicklungsvorschläge zu reflektieren, wird an verschiedenen Stellen der Arbeit die *Einbindung unterschiedlicher Stakeholder* adressiert. Die Hinterlegung der akquirierten Informationen und der daraus abgeleiteten Elemente mit entsprechenden Attributen befähigt den Planer zur zielgerichteten **Einbindung der Stakeholder**, wobei es im Rahmen der vorliegenden Arbeit aber nicht das Ziel war, spezifische Kommunikationswege mit entsprechenden Stakeholdern aufzuzeigen.

Berücksichtigung planungsspezifischer Dimensionen

Die Anforderung zur *Berücksichtigung und Kopplung von Potenzialen und Bedarfen zur Definition erster grundlegender Leistungsbündelkonzepte* wird an verschiedenen Stellen der Planungsmethodik umgesetzt. Bei der Erfassung planungsrelevanter Informationen wird durch die lebenszyklusorientierte Herangehensweise ein **sowohl bedarfs- als auch potenzialorientierter Ansatz** vorgeschlagen. In der Folge werden im Strukturmodell durch die Erstellung eines **Konzept- und eines Zielsystems** die Potenzial- und Bedarfsseite adressiert. Dies erlaubt eine Gegenüberstellung der entsprechenden Faktoren in den darauf folgenden Kompatibilitäts- und Konsistenzanalysen. Der Aspekt der *Konzentration auf wesentliche, das zukünftig zu erbringende Leistungsbündel definierende Eckpunkte* wird sowohl hinsichtlich der Erstellung des Konzept- als auch des Zielsystems artikuliert. Detaillierte Handlungsanweisungen zur Vorauswahl und Filterung der Informationen werden jedoch nicht vorgeschlagen.

Die Methodik erlaubt den *Umgang mit unscharf definierten und qualitativ geprägten Informationen*. In diesem Kontext findet eine Auseinandersetzung mit Wertebereichen zur Formulierung der die Lösungselemente charakterisierenden Parameter statt. Auch der *Umgang mit Unsicherheit hinsichtlich zu antizipierender Informationen durch Berücksichtigung unterschiedlicher Szenarios und deren Kopplung* wird umfassend beleuchtet. Hierbei steht weniger die Methodenunterstützung zur Erstellung von Szenarios, als vielmehr der **Umgang mit verschiedenen Szenarios** im Vordergrund. Im Rahmen der dahingehend durchgeführten **Konsistenzanalysen** wird auch die Anforderung der *Gegenüberstellung verschiedener Planungshorizonte* erfüllt. Hierbei wird unterstellt, dass die den Analysen mehrerer **Planungshorizonte** zugrundeliegenden Informationen eine ähnliche Qualität aufweisen, um diese anhand adäquat aufgebauter Strukturmodelle analysieren zu können. Dies ist auch in einem gewissen Rahmen möglich, für die Gegenüberstellung weit auseinanderliegender Planungshorizonte (z. B. kurzfristige gegenüber langfristige Planung) sind jedoch weitere Mechanismen zu entwickeln. Die *Kopplung wiederkehrender Planungen* steht in der vorliegenden Arbeit zwar nicht im Vordergrund, dennoch unterstützen die vorgeschlagenen Konsistenzanalysen auch diesen Aspekt. So können die Konsistenzanalysen nicht nur zur Reflexion verschiedener Planungshorizonte, sondern auch zur Gegenüberstellung der Ergebnisse wiederkehrender Planungsprozesse herangezogen werden.

In den entwickelten Einzelmethoden wird die Anforderung der *Lösungsneutralität und des Denkens in Alternativen* immer wieder aufgegriffen. So erlaubt das Erfassungsmodell durch die lebenszyklusübergreifende Perspektive zunächst die Akquisition von Potenzialen, welche bislang gegebenenfalls nicht im Mittelpunkt der Betrachtung des Planers standen. Zudem wird durch die **funktionsorientierte Verknüpfung** von Konzept- und Zielsystem **einer zu frühzeitigen Lösungsfixierung vorgebeugt**. Die Anforderung, sowohl eine *technologieorientierte (Technology-Push)* wie auch eine *marktorientierte Planung (Market-Pull)* zu ermöglichen, wird durch die dargelegte Methodik grundsätzlich unterstützt. Da die Akquisition planungsrelevanter Informationen sowohl aus dem Konzept- als auch aus dem Zielsystem heraus vorangetrieben werden kann, sind beide Richtungen zur Planung denkbar, wobei auf eine differenzierte Ausarbeitung der Herangehensweisen in der Arbeit verzichtet wird.

Anforderungen hinsichtlich der Anwendbarkeit des Ansatzes

Die Methodik ist so gestaltet, dass die *Anwendbarkeit unabhängig von Branche, Art des Leistungsbündels, sowie Innovationsgrad* grundsätzlich gegeben ist. Durch das zugrunde liegende Modell des Leistungsbündellebenszyklus, dessen Phasen im Kontext produzierender Unternehmen abgeleitet sind, wird durch die Methodik **die Planung in unterschiedlichsten Branchen ermöglicht**. Zwar wurde in den Beispielen insbesondere der Umgang mit inkrementell gekennzeichneten Innovationen aufgezeigt. Dennoch ist der Umgang mit radikalen Innovationen nicht ausgeschlossen, da grundsätzlich auch radikale Innovationen über die gezeigten Strukturmodelle repräsentiert und darauf aufbauende Analysen durchgeführt werden können.

Wie in Kapitel 4.6 aufgezeigt, ist die Methodik so ausgelegt, dass deren *Einbettung in bestehende Planungsprozesse* durchaus möglich ist. Die Erfüllung der Methodik und ihrer Einzelmethoden hinsichtlich der *Koppelbarkeit an weitere etablierte Methoden* sowie der *Eigenständigkeit der Methoden* trägt stark zur **Einbettung in bestehende Prozesse** bei. In diesem Kontext sei auch auf die Anforderung der *Flexibilität in der Wahl des Betrachtungsgegenstands* bei der Anwendung der entwickelten Methoden eingegangen. Zwar wird dem Planer ein Rahmen, in welchem die lebenszyklusgerechte Planung umfassend unterstützt wird, vorgegeben. Dennoch entscheidet der Planer selbst, **welche Lebenszyklusphasen und welche spezifischen Methoden in der jeweiligen Planungssituation** berücksichtigt werden sollten. Die *werkzeuggestützte Methodenentwicklung* ist in der vorliegenden Arbeit nur soweit adressiert, sodass die Entwicklung und Verfeinerung der Methoden sowie deren Evaluierung durchgeführt werden konnte. Eine umfassende Softwarelösung ist zwar hinsichtlich des Methodeneinsatzes in der Industrie erstrebenswert, hierfür sind jedoch lediglich erste Anknüpfungspunkte zu existierenden Softwareplattformen aufgezeigt worden.

Bezüglich der entwickelten Methoden wird die Anforderung der *Nachvollziehbarkeit des Erkenntnisgewinns* mit Nachdruck angegangen. Sowohl im Rahmen der Informationsakquisition sowie der Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge wird stets darauf geachtet, dass dem Planer **nicht lediglich Endergebnisse** dargelegt werden. Im Gegenteil, die gewonnenen **Zwischenergebnisse** sind für den Planer **stets zur Reflexion der planungsrelevanten Systemzusammenhänge** abrufbar. Hierfür werden dem Planer auch entsprechende Interpretationshilfen unterstützend zur Hand gegeben werden. Auch die Anforderung der *Durchgängigkeit der Informationsverarbeitung der im Rahmen des Gesamtansatzes zu entwickelnden*

Einzelmethoden wird erfüllt. Zwar sind die Methoden zur flexiblen und modularen Anwendung geeignet, dennoch wird dem Planer innerhalb der Methodik eine aufeinander aufbauende, strukturierte Herangehensweise zur Reflexion der Systemzusammenhänge aus verschiedenen Perspektiven ermöglicht.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die Herleitung, Erarbeitung sowie die Ergebnisse der methodischen Unterstützung zur Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel vorgestellt wurden, wird in diesem Kapitel ein zusammenfassender Überblick über die Arbeit gegeben. Dabei werden Schlussfolgerungen der erzielten Ergebnisse für Industrie und Wissenschaft nochmals übergreifend reflektiert. Darauf aufbauend wird im Ausblick aufgezeigt, welche forschungsseitigen Anknüpfungspunkte eine sinnvolle Erweiterung des erarbeiteten methodischen Rahmens darstellen.

6.1 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Produzierende Unternehmen sehen sich der Herausforderung gegenübergestellt, Innovationen auf dem Markt zu platzieren, welche auf die sich **ändernden Rahmenbedingungen** in einem zunehmend **dynamischen Umfeld** abgestimmt sind. Hierbei gilt es schon frühzeitig im Innovationsprozess die Weichen zu stellen, um späteren Konflikten und damit verbundenen kostspieligen Änderungen entlang der weiteren Phasen im Innovationsprozess vorzubeugen. Die Planung kundenorientierter Lösungen nimmt dabei eine tragende Rolle zur Ableitung vielversprechender und umsetzbarer Entwicklungsvorschläge ein. Wie sich anhand verschiedener Beispiele in der Literatur und Praxis zeigt, wird in dieser frühen Phase des Innovationsprozesses die **Durchdringung der Zusammenhänge** zwischen den zu befriedigenden **Bedarfen** und den nutzbaren **Potenzialen** nur unzureichend durch methodische Ansätze unterstützt.

Durch den Trend vom **Produktanbieter hin zum Anbieter von Leistungsbündeln** steigt die Menge an Informationen, welche es in der Planung zu berücksichtigen gilt. Einerseits ist dies der Erweiterung der rein sachleistungsgetriebenen Perspektive hin zu einem integrierten Verständnis von Sach- und Dienstleistungskombinationen geschuldet. Andererseits spielt die Orientierung am gesamten Lebenszyklus bei der Leistungsbündelplanung eine wesentliche Rolle, um Wertschöpfungspotenziale entlang der verschiedenen Lebenszyklusphasen nutzen zu können. Diese Erweiterung der in der Planung zu berücksichtigenden Informationen resultiert in einer zunehmenden Intransparenz der Systemzusammenhänge. Der Bedarf nach systematischen Ansätzen zum Umgang mit der dahingehenden **Systemkomplexität in der Planung** lebenszyklusgerechter Leistungsbündel wird bislang nicht gedeckt. Dadurch ergeben sich verschiedene wissenschaftliche Fragestellungen und Handlungsschwerpunkte.

Zunächst stellt sich die Frage, **welche Lebenszyklusphasen ein Leistungsbündel** von der Planung bis hin zur Nutzung und Auflösung der Sach- und Dienstleistungsanteile durchläuft. Hinsichtlich der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung ergibt sich in der Folge die Frage, **welche Informationen entlang des Lebenszyklus** einzubeziehen sind und wie diese identifiziert werden können. Da die Informationen nicht isoliert voneinander zu betrachten sind, sondern zahlreiche Wechselwirkungen zwischen diesen bestehen, ergeben sich weitere Herausforderungen zur **Identifikation und Analyse planungsrelevanter Systemzusammenhänge**. So stellt sich die Frage, welche Zusammenhänge aufgrund der Verfolgung bekannter, generischer Gestaltungsrichtlinien in der Planung besondere Beachtung finden soll-

ten. Zudem stellt sich die Frage, wie hinsichtlich des zukünftigen Leistungsbündels antizipierte Informationen der Analyse von Systemzusammenhängen unterzogen werden können. Aus den genannten Fragestellungen heraus manifestiert sich ein weiterer Handlungsschwerpunkt der vorliegenden Arbeit darin, **geeignete Methoden zur Unterstützung des Planers** in bestehenden Planungsprozessen abzuleiten.

Die Fragestellungen und Handlungsschwerpunkte werden in der vorliegenden Arbeit durch neu entwickelte Methoden und Modelle detailliert adressiert, welche einen umfassenden Beitrag zur lebenszyklusgerechten Planung von Leistungsbündeln leisten. Hierbei vereinen und **vernetzen die entwickelten Herangehensweisen zentrale Planungsperspektiven** – nämlich eine ganzheitliche Lebenszyklusorientierung, die frühzeitige Kopplung von bedarfs- und lösungsgetriebenen Innovationen, die Integration von Sach- und Dienstleistungskombinationen sowie das Denken in alternativen Szenarios und Planungshorizonten. Die in den frühen Phasen des Innovationsprozesses angesiedelte Planung wird hierbei durch eine durchgängig gestaltete Methodenumgebung in die Lage versetzt, die Wechselwirkungen der planungsrelevanten Informationsbausteine zu durchdringen und eine **Wissensbasis für eine fundierte Entscheidungsfindung über weiter zu verfolgende Leistungsbündelkonzepte** aufzubauen.

Zunächst sei dahingehend das **Modell des Leistungsbündellebenszyklus** genannt. Aufbauend auf den disziplinspezifisch abgeleiteten Lebenszyklusmodellen wurde ein literaturbasiertes Lebenszyklusmodell aggregiert, welches sowohl disziplinspezifische als auch disziplinübergreifende Zusammenhänge darstellt. Mit diesem Modell wird zum einen die Planung aufeinander abgestimmter Leistungsbündelbestandteile gestärkt. Zum anderen stellt das Modell eine **übersichtliche und gleichzeitig hochaufgelöste Grundlage** zur Identifikation und Zuordnung planungsrelevanter Informationen aller Phasen im Lebenszyklus dar.

Aufbauend auf diesem Grundverständnis eines integrierten Lebenszyklus wird das Themenfeld planungsrelevanter Systemzusammenhänge adressiert. In den vergangenen Jahren haben sich zusehends Methoden des **strukturellen Komplexitätsmanagements** weiterentwickelt. Der Einsatz dieser Methoden erlaubt eine Erhöhung der **Transparenz von Systemen**, indem das übergreifende, strukturelle Zusammenspiel von Elementen und Relationen anhand jeweils geeigneter Strukturmerkmale beleuchtet wird. Die dahingehend entwickelten Ansätze unterstützen auch die Analyse qualitativ geprägter Informationen, weshalb diese eine vielversprechende **Grundlage zur Interpretation und Reflexion lebenszyklusorientierter, planungsrelevanter Systemzusammenhänge** darstellen.

Zunächst werden strukturelle Zusammenhänge im Lebenszyklus auf **generischer Ebene** beleuchtet. So werden die auf verschiedenste Unternehmen anwendbaren Lebenszyklusphasen in den Kontext **allgemeingültiger Gestaltungsrichtlinien** gestellt. Das Ziel ist es, aus der Vielzahl an Gestaltungsrichtlinien jene zu identifizieren, welche aufgrund ihrer zentralen Stellung im Netzwerk Eingang in die Planungsphase finden sollten, um mögliche Zielkonflikte frühzeitig identifizieren zu können. Zudem werden die mit den Gestaltungsrichtlinien verbundenen Lebenszyklusphasen hinsichtlich ihrer Abhängigkeiten reflektiert, um zielgerichtet die mit diesen in Verbindung stehenden Stakeholder einbinden zu können. Die gewonnenen Analyseergebnisse besitzen aufgrund des generischen Charakters und des vorausgewählten Sets an Gestaltungsrichtlinien nur eine eingeschränkte Aussagekraft für Planer in der Industrie. Dennoch ist das entwickelte Vorgehen grundsätzlich dafür geeignet, auf unternehmensspezifi-

sche Richtlinien angewendet zu werden. Dies befähigt den Planer, einen Überblick über die unternehmensspezifischen, gestalterischen Schwerpunktsetzungen zu erhalten und diese entsprechend bei der Ausarbeitung von Entwicklungsvorschlägen zu berücksichtigen.

Um einerseits in die Zukunft projizierte und andererseits für spezifische Planungssituationen relevante Informationen zu erfassen und weiterzuverarbeiten, wird eine sechs Schritte umfassende **Methodik zur Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel** vorgestellt. Diese baut auf dem abgeleiteten Modell des Leistungsbündellebenszyklus auf und entwickelt die Methoden des strukturellen Komplexitätsmanagements hinsichtlich planungsspezifischer Dimensionen weiter. Die Methodik stellt sich hierbei als **modular aufgebaute, flexibel einsetzbare Sammlung miteinander in Verbindung stehender Methoden** dar und unterstützt neben der Akquisition planungsrelevanter Informationen auch deren Gegenüberstellung in MDM-basierten Kompatibilitäts- und Konsistenzanalysen. Die Informationsakquisition wird einerseits durch das **Lebenszyklus-Roadmapping** unterstützt. Dieses befähigt den Planer zu einer Abschätzung der im Sinne einer lebenszyklusphasenübergreifenden Planung relevanten Planungshorizonte. Andererseits wird der Planer durch das entwickelte **Erfassungsmodell** zur Akquisition planungsrelevanter Kontextfaktoren befähigt. Dieses differenziert sich von bestehenden Erfassungsmodellen aufgrund der Einbeziehung des hochaufgelösten Lebenszyklusmodells von Leistungsbündeln in Kombination mit den verschiedensten Kategorien zur Beschreibung umfeld-, markt- und unternehmensrelevanter Kontextfaktoren.

Anschließend wird aufgezeigt, wie die akquirierten Informationen in einem **strukturbasierten Modell** aufbereitet werden können, sodass **MDM-basierte Analysen** zur Durchdringung leistungsbündelspezifischer Systemzusammenhänge ermöglicht werden. Der Aufbau eines Systemverständnisses bestehend aus **Bedarfen, Zielen, Funktionen, Lösungselementen und Parametern** orientiert sich im Verständnis wie auch in der Nomenklatur an bestehenden Ansätzen der Produktplanung und Konzeptentwicklung. Dies ermöglicht die Nutzung der akquirierten Informationen in weiteren planungsassoziierten Ansätzen und somit auch die Einbettung der entwickelten Methoden und Modelle in bestehende Planungsprozesse. Die darauf aufbauende **Kompatibilitätsanalyse** – welche die Gegenüberstellung von Lösungselementen und Zielen innerhalb eines Szenarios fokussiert – differenziert sich von bestehenden Ansätzen durch die **hohe Nachvollziehbarkeit der Inkompatibilität von Elementen**. Dies befähigt den Planer, in Abstimmung mit weiteren **Stakeholdern** entlang des Lebenszyklus **geeignete Handlungsoptionen** zum Umgang mit den Konflikten abzuleiten. Ebenfalls im Sinne einer erweiterten Eigenschaftsanalyse zukünftig zu erbringender Leistungsbündel sind die hinsichtlich mehrerer Szenarios und Planungshorizonte ausgelegten Konsistenzanalysen aufgezeigt.

Die entwickelten Methoden **erhöhen damit das Systemverständnis des Planers** und steigern maßgeblich die Transparenz in der Bewertung und Auswahl von kurz-, mittel- und langfristig umzusetzenden Entwicklungsvorschlägen. Die entwickelte Methodik wird anhand **zweier Fallbeispiele evaluiert**. Einerseits werden die Plausibilität der erzielten Ergebnisse sowie die Durchgängigkeit in der Anwendung anhand des im SFB 768 verwendeten **Demonstrationsbeispiels der Waschmaschine** gezeigt. Andererseits dient das Fallbeispiel zur **Planung von Großdieselmotoren** dazu, den Nutzen der methodischen Reflexion planungsrelevanter Systemzusammenhänge sowie die Einbettung entsprechender Methoden in existierende Planungsprozesse darzustellen.

6.2 Ausblick

Durch die **Anwendung und Weiterentwicklung strukturbasierter Ansätze** zur Gegenüberstellung planungsrelevanter Informationen zeigt die vorliegende Arbeit neue und erfolgversprechende Wege zur Unterstützung der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung auf. Die dargelegte Identifikation und Reflexion generischer Abhängigkeiten im Lebenszyklus sowie die bezüglich der Planung spezifischer Leistungsbündel konzipierte Methodik begegnen den Anforderungen zur Erhöhung der Transparenz in Planungsprozessen. Hierbei wurden verschiedenste Anknüpfungspunkte zu weiteren Planungsansätzen angesprochen, eine detaillierte Kopplung der Methoden steht bislang aber aus.

So besteht eine vielversprechende **Erweiterung der Ansätze** in der Einbindung existierender **qualitativer sowie kennzahlenbasierter Bewertungsverfahren**. Beispielsweise besteht die Möglichkeit, die entwickelten eigenschaftsanalisierenden Ansätze um weitere Mechanismen zur Überprüfung des tatsächlichen Zielerfüllungsgrads durch spezifische Leistungsbündelkonzepte zu erweitern. Zudem stellt die Kopplung der entwickelten Methoden an Ansätze zur Planung kompletter Leistungsbündelfamilien sowie -plattformen einen geeigneten Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten dar. In diesem Zusammenhang können weitere, bislang nicht berücksichtigte **Strukturmerkmale und -metriken zur Handhabung von Produktarchitekturen** einen wertvollen Beitrag leisten. Auch die Ergänzung des entwickelten Ansatzes zur gezielten Filterung und Vorauswahl relevanter Informationen ist hinsichtlich der zu verarbeitenden Informationsmenge als eine weitere sinnvolle Ergänzung zum entwickelten Ansatz zu sehen. Zur effizienteren Handhabung der Methodik in der Industrie bietet es sich zudem an, **rechnerbasierte Werkzeuge** zu entwickeln.

Neben den methodenübergreifenden Erweiterungsmöglichkeiten bieten sich zudem forschungsseitige Anknüpfungspunkte hinsichtlich der entwickelten Einzelmethoden an. So ist beispielsweise bezüglich der Reflexion generischer planungsrelevanter Abhängigkeiten die Anwendung des entwickelten Ansatzes auf ein **unternehmensspezifisches Set an Gestaltungsrichtlinien** anzupassen. Zudem steht in diesem Bereich die Reflexion generischer **dienstleistungsassoziierter Gestaltungsrichtlinien** aus.

Die Methode des Lebenszyklus-Roadmappings kann ebenfalls um verschiedene Aspekte erweitert werden. Eine Möglichkeit ist die Berücksichtigung von **Technologiezyklen**, um eine verbesserte Abstimmung der Produktlebenszyklen mit entsprechenden Technologiezyklen zu ermöglichen. Auch hinsichtlich der entwickelten Kompatibilitätsanalyse bieten sich Erweiterungen an, um deren Aussagekraft zu stärken. So trägt die Spezifizierung der **Relationsarten** im Bereich der Parameter und Lösungselementen zu differenzierteren Aussagen hinsichtlich der (In-)Kompatibilität von Lösungselementen bei. Auch die Zuordnung von Lösungselementen zu Funktionen gilt es im Hinblick auf **alternativ zur Verfügung stehende Lösungsideen** zu verfeinern, so dass die Interpretation über die Funktionserfüllung und in der Folge der Zielerfüllung besser unterstützt wird. Abschließend sei hinsichtlich der Konsistenzanalysen der Umgang mit zeitlich weit auseinander liegenden Planungshorizonten und damit verbundenen **Unterschieden in der Informationsqualität** als weiterer Handlungsschwerpunkt zur Verfeinerung der lebenszyklusorientierten Leistungsbündelplanung genannt.

7. Literatur

ABRAMOVICI ET AL. 2012

Abramovici, M.; Aidi, Y.; Jin, F.; Göbel, J.-C.: Lifecycle Management von hybriden Leistungsbündeln. In: Meier, H. et al. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen. Berlin: Springer 2012, S. 265-284.

ABRAMOVICI & SCHULTE 2005

Abramovici, M.; Schulte, S. (Hrsg.): Lifecycle Management von Produkt-Service-Systemen (PSS) für einen maximierten Kundennutzen. Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik (ITM), Ruhr-Universität Bochum, Bochum 2005.

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. Requirements Engineering 13 (2008) 1, S. 19-48.

AKAO 1990

Akao, Y. (Hrsg.): Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design. Portland: Productivity Press 1990.

ANGERMEYER-NAUMANN 1984

Angermeyer-Naumann, R.: Szenarien und Unternehmenspolitik – Globalszenarien für die Evolution des unternehmenspolitischen Rahmens. Dissertation, LMU München, München 1984. (Herrsching: Planungs- und organisationswissenschaftliche Schriften (1985))

ARNOLD ET AL. 2011

Arnold, V.; Dettmering, H.; Engel, T.; Karcher, A.: Product Lifecycle Management beherrschen – Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand. 2. Auflage. Berlin: Springer 2011.

AURICH ET AL. 2004

Aurich, J. C.; Fuchs, C.; DeVries, M.: An approach to life cycle oriented technical service design. CIRP Annals – Manufacturing Technology 53 (2004) 1, S. 151-154.

AURICH ET AL. 2005

Aurich, J. C.; Fuchs, C.; Jenne, F.: Entwicklung und Erbringung investiver Produkt-Service Systeme. wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 7/8, S. 538-545.

AURICH ET AL. 2007

Aurich, J. C.; Schweitzer, E.; Siener, M.; Fuchs, C.; Jenne, F.; Kirsten, U.: Life Cycle Management investiver PSS. wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 7/8, S. 579-585.

AURICH ET AL. 2009

Aurich, J. C.; Wolf, N.; Siener, M.; Schweitzer, E.: Configuration of product-service systems. *Journal of Manufacturing Technology Management* 20 (2009) 5, S. 591-605.

AZARENKO ET AL. 2009

Azarenko, A.; Roy, R.; Shehab, E.; Tiwari, A.: Technical product-service systems: Some implications for the machine tool industry. *Journal of Manufacturing Technology Management* 20 (2009) 5, S. 700-722.

BAINES ET AL. 2007

Baines, T. S.; Lightfoot, H. W.; Evans, S.; Neely, A.; Greenough, R.; Peppard, J.; Roy, R.; Shehab, E.; Braganza, A.; Tiwari, A.; Alcock, J. R.; Angus, J. P.; Bastl, M.; Cousens, A.; Irving, P.; Johnson, M.; Kingston, J.; Lockett, H.; Martinez, V.; Michele, P.; Tranfield, D.; Walton, I. M.; Wilson, H.: State-of-the-art in product-service systems. *Journal of Engineering Manufacture* 221 (2007) 10, S. 1543-1552.

BEA & HAAS 2009

Bea, F. X.; Haas, J.: *Strategisches Management*. 5. Auflage. Stuttgart: Lucius & Lucius 2009.

BECKER ET AL. 2009

Becker, J.; Beverungen, D.; Knackstedt, R.; Glauner, C.; Stypmann, M.; Rosenkranz, C.; Schmitt, R.; Hatfield, S.; Schmitz, G.; Eberhardt, S.; Dietz, M.; Thomas, O.; Walter, P.; Lönngrén, H.-M.; Leimeister, J.: Ordnungsrahmen für die hybride Wertschöpfung. In: Thomas, O. (Hrsg.): *Dienstleistungsmodellierung*. Berlin: Physica 2009.

BEHNCKE ET AL. 2011

Behncke, F.; Gabriel, F.; Langer, S.; Hepperle, C.; Lindemann, U.; Karl, F.; Pohl, J.; Schindler, S.; Reinhart, G.; Zaeh, M.: Analysis of information flows at interfaces between strategic product planning, product development and production planning to support process management – A literature based approach. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2011 – SMC 2011*. Anchorage, 2011.

BERGER & VIENENKÖTTER 2004

Berger, T.; Vienenkötter, A.: Einführung. In: Gausemeier, J. et al. (Hrsg.): *Planung der Produkte und Fertigungssysteme für die Märkte von morgen: ein praktischer Leitfaden für mittelständische Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus*. Frankfurt: VDMA 2004.

BERKOVICH ET AL. 2011

Berkovich, M.; Leimeister, J.; Krcmar, H.: Requirements Engineering für Product Service Systems. *Wirtschaftsinformatik* 53 (2011) 6, S. 357-370.

BIRKHOFER 1980

Birkhofer, H.: *Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte*. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig 1980. (Düsseldorf: VDI-Verlag 1980 (Fort-schrittsberichte der VDI Zeitschriften, Reihe 1, Band 70))

BISCHOF 1976

Bischof, P.: Produktlebenszyklen im Investitionsgüterbereich – Produktplanung unter Berücksichtigung von Widerständen bei der Markteinführung. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1976.

BISHOP ET AL. 2007

Bishop, P.; Hines, A.; Collins, T.: The current state of scenario development: An overview of techniques. *Foresight* 9 (2007) 1, S. 5-25.

BLEICHER 2011

Bleicher, K.: Das Konzept Integriertes Management. 8. Auflage. Frankfurt: Campus 2011.

BLESSING & CHAKRABARTI 2009

Blessing, L.; Chakrabarti, A.: DRM, a design research methodology. London: Springer 2009.

BLINN ET AL. 2010

Blinn, N.; Nüttgens, M.; Schlicker, M.; Thomas, O.; Walter, P.: Lebenszyklusmodelle hybrider Wertschöpfung: Modellimplikationen und Fallstudie an einem Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus. In: Thomas, O. et al. (Hrsg.): *Hybride Wertschöpfung*. Berlin: Springer 2010, S. 130-143.

BOOGGIE 2012

Homepage zum Softwaretool booggie der Technischen Universität München. [Zugriff am 31.08.2012, URL: <http://www.booggie.org/>].

BOTTA 2007

Botta, C.: Rahmenkonzept zur Entwicklung von Product-Service Systems. Dissertation, Universität des Saarlandes, Saarbrücken 2007. (Lohmar: Josef Eul Verlag 2007)

BRAHA & BAR-YAM 2004

Braha, D.; Bar-Yam, Y.: Information flow structure in large-scale product development organizational networks. *Journal of Information Technology* 19 (2004) 4, S. 244-253.

BRANDENBURG 2002

Brandenburg, F.: Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen. Dissertation, RWTH Aachen, Aachen 2002. (Aachen: Shaker 2002)

BRAUN ET AL. 2007

Braun, T.; Deubzer, F.; Lindemann, U.: New variant management using multiple-domain mapping. 9th International DSM Conference. München, 2007.

BRAUN ET AL. 2004

Braun, T.; Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Orlik, L.; Vienenkötter, A.: Design support by improving method transfer – a procedural model and guidelines for strategic product planning in small and medium-sized enterprises. 8th International Design Conference – DESIGN 2004. Dubrovnik, 2004.

BRAUN 2005

Braun, T. E.: Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld. Dissertation, Technische Universität München, München 2005. (München: Dr. Hut 2005 (Produktentwicklung München, Band 60))

BRINK & IHMELS 2007

Brink, V.; Ihmels, S.: Strategische Produkt- und Technologieplanung mit der Innovations-Datenbank. Konstruktion (2007) 11/12, S. 65-69.

BRINK ET AL. 2008

Brink, V.; Ihmels, S.; Haug, J.: Einführung eines Instrumentariums zur strategischen Produkt- und Technologieplanung in einem Unternehmen der elektrischen Antriebstechnik. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. Berlin, 2008.

BROWNING 2001

Browning, T. R.: Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: A review and new directions. IEEE Transactions on Engineering Management 48 (2001) 3, S. 292-306.

BULLINGER 2010

Bullinger, H.-J.: Wissenstrends – Forschungstrends – Techniktrends. In: Kornwachs, K. (Hrsg.): acatech diskutiert – Technologisches Wissen – Entstehung, Methoden, Strukturen. Berlin: Springer 2010.

BULLINGER & SCHREINER 2006

Bullinger, H.-J.; Schreiner, P.: Service Engineering: Ein Rahmenkonzept für die systematische Entwicklung von Dienstleistungen. In: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): Service Engineering. Berlin: Springer 2006, S. 53-84.

BURIANEK ET AL. 2007

Burianek, F.; Ihl, C.; Bonnemeier, S.; Reichwald, R. (Hrsg.): Typologisierung hybrider Produkte. Arbeitsbericht, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, Technische Universität München, München 2007.

CAGAN & VOGEL 2002

Cagan, J.; Vogel, M. C.: Creating breakthrough products. New Jersey: Pearson 2002.

CAMPHAUSEN 2007

Camphausen, B.: Strategisches Management: Planung, Entscheidung, Controlling. 2. Auflage. München: Oldenbourg 2007.

CERNAVIN ET AL. 2007

Cernavin, O.; Ebert, B.; Keller, S.: Service Engineering und Prävention. Wiesbaden: BC GmbH Forschungs- und Beratungsgesellschaft 2007.

CHAHADI & BIRKHOFFER 2008

Chahadi, Y.; Birkhofer, H.: Begriffssystem zur Unterstützung der automatisierten Aufgabenklärung (Anforderungsermittlung). 19. Symposium „Design for X“. Neukirchen, 2008.

CHAHADI ET AL. 2007

Chahadi, Y.; Wäldele, M.; Birkhofer, H.: QFD – a link between customer requirements and product properties. International Conference on Engineering Design – ICED'07. Paris, 2007.

CHAN & WU 2002

Chan, L.-K.; Wu, M.-L.: Quality function deployment: a literature review. European Journal of Operational Research 143 (2002) 3, S. 463–497.

CLARKSON ET AL. 2004

Clarkson, J.; Simons, C.; Eckert, C.: Predicting change propagation in complex design. Journal of Mechanical Design 126 (2004) 5, S. 788-797.

CONRAD 2010

Conrad, K.-J.: Grundlagen der Konstruktionslehre: Methoden und Beispiele für den Maschinenbau. 5. Auflage. München: Hanser 2010.

COOPER 2002

Cooper, R.: Top oder Flop in der Produktentwicklung. Weinheim: Wiley 2002.

COOPER & EDGETT 2008

Cooper, R.; Edgett, S. J.: Maximizing productivity in product innovation. Research-Technology Management 51 (2008) 2, S. 47-58.

DAENZER ET AL. 1988

Daenzer, W. F.; Büchel, A.; Haberfellner, R.; von Massow, H.; Nagel, P.; Rutz, K.; Wildmann, P.: Systems Engineering – Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben. 6. Auflage. Zürich: Verlag Industrielle Organisation 1988.

DANILOVIC & BROWNING 2004

Danilovic, M.; Browning, T.: A formal approach for domain mapping matrices (DMM) to complement design structure matrices (DSM). 6th Design Structure Matrix (DSM) International Workshop. Cambridge, 2004.

DANILOVIC & SANDKULL 2005

Danilovic, M.; Sandkull, B.: The use of dependence structure matrix and domain mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations. International Journal of Project Management 23 (2005) 3, S. 193-203.

DANNER 1996

Danner, S.: Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse. Dissertation, Technische Universität München, München 1996. (Aachen: Shaker 1996 (Konstruktionstechnik München, Band 24))

DASSAULT SYSTÈMES 2012

Homepage zum Softwaretool Dymola der Firma Dassault Systèmes. [Zugriff am 31.08.2012, URL: <http://www.3ds.com/products/catia/portfolio/dymola>].

DE COSTER 2011

de Coster, R.: A collaborative approach to forecasting product-service systems (PSS). The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 52 (2011) 9, S. 1251-1260.

DE WECK 2007

de Weck, O. L.: On the role of DSM in designing systems and products for changeability. 9th International Design Structure Matrix Conference – DSM'07. München, 2007.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1998

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN Fachbericht 75: Service Engineering – Entwicklungsbegleitende Normung (EBN) für Dienstleistungen. Berlin: Beuth 1998.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2003A

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 8580: Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung. Berlin: Beuth 2003a.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2003B

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung. Berlin: Beuth 2003b.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2008

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): PAS 1082: Standardisierter Prozess zur Entwicklung industrieller Dienstleistungen in Netzwerken. Berlin: Beuth 2008.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009A

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Berlin: Beuth 2009a.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2009B

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): PAS 1094: Hybride Wertschöpfung – Integration von Sach- und Dienstleistung. Berlin: Beuth 2009b.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2011

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

DIETZ ET AL. 2009

Dietz, M.; Eberhardt, S.; Hatfield, S.; Schmitt, R.; Schmitz, G.: Hypro – Strategische Veränderung zum hybriden Produzenten (Forschungsbericht). Aachen: Apprimus 2009.

DISSELKAMP 2005

Disselkamp, M.: Innovationsmanagement: Instrumente und Methoden zur Umsetzung im Unternehmen. Wiesbaden: Gabler 2005.

DURUGBO ET AL. 2010

Durugbo, C.; Hutabarat, W.; Tiwari, A.; Alcock, J. R.: SysML for the analysis of product-service systems requirements. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010.

EBEN ET AL. 2008

Eben, K.; Biedermann, W.; Lindemann, U.: Modeling structural change over time – requirements and first methods. 10th International Design Structure Matrix Conference – DSM'08. Stockholm, 2008.

EHRENSPIEL 2009

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 4. Auflage. München: Hanser 2009.

EHRENSPIEL ET AL. 2007

Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren – Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 6. Auflage. Berlin: Springer 2007.

EIGNER & STELZER 2009

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

EILETZ 1999

Eiletz, R.: Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung. Dissertation, Technische Universität München 1999. (Aachen: Shaker 1999 (Konstruktionstechnik München, Band 32))

ENGELMANN 1999

Engelmann, F.: Produktplanung und Produktentwicklung in kleinen und mittleren Unternehmen. Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg 1999. (Aachen: Shaker 1999)

EPPINGER ET AL. 1992

Eppinger, S.; Whitney, D.; Gebala, D.: Organizing tasks in complex design projects: development of tools to represent design procedures. NSF Design and Manufacturing Systems Conference. Atlanta, 1992.

EßMANN 1994

Eßmann, V.: Planung potentialgerechter Produkte – ein Beitrag zur Produktkonversion. Dissertation, Universität Dortmund, Dortmund 1994. (Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag, Gabler 1995)

EUROPEAN COMMISSION 2007

European Commission (Hrsg.): CARBON FOOTPRINT – what it is and how to measure it. Ispra: European Platform on Life Cycle Assessment 2007.

EVERSHEIM 2003

Eversheim, W.: Innovationsmanagement für technische Produkte. Berlin: Springer 2003.

FARGNOLI ET AL. 2010

Fargnoli, M.; Bisillo, S.; Costantino, F.; Tronci, M.: Assessment of ecological profile of industrial products according to environmental legislation. 8th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering – TMCE 2010. Ancona, 2010.

FENN & RASKINO 2008

Fenn, J.; Raskino, M.: Mastering the hype cycle: how to choose the right innovation at the right time. Boston: Harvard Business Press 2008.

FORRESTER 1994

Forrester, J. W.: System dynamics, systems thinking, and soft OR. System Dynamics Review 10 (1994) 2-3, S. 245-256.

FREEMAN 1979

Freeman, L. C.: Centrality in social networks conceptual clarification. Social Networks (1979) 1, S. 215-239.

FRICKE & SCHULZ 2005

Fricke, E.; Schulz, A. P.: Design for Changeability (DfC): Principles to enable changes in systems throughout their entire lifecycle. Systems Engineering 8 (2005) 4, S. 342-359.

FUCHS 2007

Fuchs, C.: Life Cycle Management investiver Produkt-Service Systeme – Konzept zur lebenszyklusorientierten Gestaltung und Realisierung. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern 2007. (Produktionstechnische Berichte aus dem FBK 2007, Band 04/2007)

GARCIA & BRAY 1997

Garcia, M. L.; Bray, O. H. (Hrsg.): Fundamentals of technology roadmapping. Strategic Business Development Department, Sandia National Laboratories, Albuquerque 1997.

GAUSEMEIER ET AL. 2001

Gausemeier, J.; Ebbesmeyer, P.; Kallmeyer, F.: Produktinnovation: strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München: Hanser 2001.

GAUSEMEIER ET AL. 1995

Gausemeier, J.; Fink, A.; Schlake, O.: Szenario-Management – Planen und Führen mit Szenarien. München: Hanser 1995.

GAUSEMEIER ET AL. 2006A

Gausemeier, J.; Hahn, A.; Kespohl, H. D.; Seifert, L.: Vernetzte Produktentwicklung: Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking. München: Hanser 2006a.

GAUSEMEIER ET AL. 2007

Gausemeier, J.; Kahl, S.; Steffen, D.: Using DSM for the modularization of self-optimizing systems. 9th International DSM Conference. München, 2007.

GAUSEMEIER ET AL. 2009

Gausemeier, J.; Plass, C.; Wenzelmann, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung. München: Hanser 2009.

GAUSEMEIER ET AL. 2006B

Gausemeier, J.; Stollt, G.; Wenzelmann, C.: Szenariogestützte Technologieplanung. Wissensmanagement 101 (2006b) 6, S. 348-355.

GERST 2002

Gerst, M.: Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität München, München 2002. (München: Dr. Hut 2002 (Produktentwicklung München, Band 52))

GESCHKA & HAHNENWALD 2009

Geschka, H.; Hahnenwald, H.: Szenariobasierte Technologie-Roadmaps – eine Methodik zur Beschreibung technologischer Entwicklungsmöglichkeiten. In: Mieke, C. et al. (Hrsg.): Entwicklungen in Produktionswissenschaft und Technologieforschung. Berlin: Logos 2009, S. 679-703.

GOEDKOOPT ET AL. 1999

Goedkoop, M. J.; van Halen, C. J. G.; te Riele, H. R. M.; Rommens, P. J. M. (Hrsg.): Product Service systems, ecological and economic basics. PricewaterhouseCoopers N.V. / Pi!MC, Storm C.S., PRé consultants, Den Haag, Den Bosch, Amersfoort 1999.

GORBEA 2011

Gorbea, C.: Vehicle architecture and lifecycle cost analysis in a new age of architectural competition. Dissertation, Technische Universität München, München 2011. (München: Dr. Hut 2012 (Reihe Produktentwicklung))

GRÄBLE ET AL. 2010

Gräble, M.; Thomas, O.; Dollmann, T.: Vorgehensmodelle des Product-Service Systems Engineering. In: Thomas, O. et al. (Hrsg.): Hybride Wertschöpfung – Mobile Anwendungssysteme für effiziente Dienstleistungsprozesse im technischen Kundendienst. Berlin: Springer 2010, S. 82-129.

GROßKLAUS 2008

Großklaus, R.: Neue Produkte einführen: Von der Idee zum Markterfolg. Wiesbaden: Gabler 2008.

GUINÉE 2004

Guinée, J. B. (Hrsg.): Handbook on lifecycle assessment – operational guide to the ISO standards. New York: Kluwer Academic Publishers 2004.

HABERFELLNER ET AL. 2012

Haberfellner, R.; de Weck, O. L.; Fricke, E.; Vössner, S. (Hrsg.): Systems Engineering – Grundlagen und Anwendung. 12. Auflage. Zürich: Orell Füssli 2012.

HÄDER 2010

Häder, M.: Empirische Sozialforschung – eine Einführung. 2. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften 2010.

HARTEL 2004

Hartel, I.: Virtuelle Servicekooperationen. Zürich: vdf Hochschulverlag 2004.

HASKINS 2011

Haskins, C.: Systems engineering handbook – a guide for system life cycle processes and activities. International Council on Systems Engineering (INCOSE) 2011.

HAUPT ET AL. 2007

Haupt, C.; Bücherl, D.; Engstle, A.; Herzog, H.-G.; Wachtmeister, G.: Energy management in hybrid vehicles considering thermal interactions. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference 2007 – VPPC 2007. Arlington, 2007.

HAUSCHILDT 2004

Hauschildt, J.: Innovationsmanagement. 3. Auflage. München: Franz Vahlen 2004.

HELLENBRAND & LINDEMANN 2008

Hellenbrand, D.; Lindemann, U.: Using the DSM to support the selection of product concepts. 10th International Design Structure Matrix Conference – DSM'08. Stockholm, 2008.

HELTEN ET AL. 2012

Helten, K.; Hepperle, C.; Lindemann, U.: Interdisziplinärer Entwicklungsleitfaden für die bionische Lösungssuche. CiDaD Working Paper Series 8 (2012) 3, S. 1-16.

HEPPERLE ET AL. 2011A

Hepperle, C.; Biedermann, W.; Böcker, A.; Lindemann, U.: Design for X-guidelines and lifecycle phases with relevance for product planning – an MDM-based approach. 13th International DSM Conference. Cambridge (USA), 2011a.

HEPPERLE ET AL. 2010A

Hepperle, C.; Bradford, N.; Costantino, F.; Orawski, R.; Langer, S.; Lindemann, U.: Calculating lifecycle interdependencies based on Eco-Design strategies. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management – IEEM 2010. Macao, 2010a.

HEPPERLE ET AL. 2011B

Hepperle, C.; Förg, A.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Consideration of goal interrelations in lifecycle-oriented product planning. 18th International Conference on Engineering Design – ICED'11. Kopenhagen, 2011b.

HEPPERLE ET AL. 2012

Hepperle, C.; Lachner, F.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Compatibility evaluation of future product concepts. 18th International ICE-Conference on Engineering, Technology and Innovation. München, 2012.

HEPPERLE ET AL. 2010B

Hepperle, C.; Langer, S.; Scherer, A.; Schwetz, P.; Lindemann, U.: Consideration of factors influencing the time of launching new products. 11th International Design Conference – DESIGN 2010. Dubrovnik, 2010b.

HEPPERLE ET AL. 2008

Hepperle, C.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Innovation cycles concerning strategic planning of product-service-systems. 10th International Design Conference – DESIGN 2008. Dubrovnik, 2008.

HEPPERLE ET AL. 2011C

Hepperle, C.; Orawski, R.; Langer, S.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Temporal aspects in lifecycle-oriented planning of product-service-systems. International Conference on Research into Design – ICoRD 2011. Bangalore, 2011c.

HEPPERLE ET AL. 2010C

Hepperle, C.; Orawski, R.; Nolte, B. D.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: An integrated lifecycle model of product-service-systems. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010c.

HEPPERLE ET AL. 2009

Hepperle, C.; Thanner, S.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: An integrated product lifecycle model and interrelations in-between the lifecycle phases. 6th International Conference on Product Lifecycle Management. Bath, 2009.

HERRMANN & HUBER 2009

Herrmann, A.; Huber, F.: Produktmanagement – Grundlagen, Methoden, Beispiele. Wiesbaden: Gabler 2009.

HIDALGO & ALBORS 2008

Hidalgo, A.; Albors, J.: Innovation management techniques and tools: a review from theory and practice. R&D Management 38 (2008) 2, S. 113-127.

HOFFMANN 1997

Hoffmann, J.: Entwicklung eines QFD-gestützten Verfahrens zur Produktplanung und -entwicklung für kleine und mittlere Unternehmen. Dissertation, Universität Stuttgart, Stuttgart 1997. (Berlin: Springer 1997)

HOLLEY ET AL. 2010

Holley, V.; Yannou, B.; Jankovic, M.: Towards the prediction of multiphysic interactions using MDM and QFD matrices. 11th International Design Conference – DESIGN 2010. Dubrovnik, 2010.

HOLLEY ET AL. 2011

Holley, V.; Yannou, B.; Jankovic, M.: Using the PC-DSM matrix to map interaction into the initial set of concepts. 13th International Dependency and Structure Modelling Conference, DSM'11. Dubrovnik, 2011.

HULL ET AL. 2005

Hull, E.; Jackson, K.; Dick, J.: Requirements Engineering. 2. Auflage. London: Springer 2005.

HUMPERT 1995

Humpert, A.: Methodische Anforderungsverarbeitung auf Basis eines objektorientierten Anforderungsmodells. Dissertation, Universität Paderborn, Paderborn 1995. (Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe 1995 (Rechnerintegrierte Produktion, Band 9))

HUNDAL 2002

Hundal, M. S.: Introduction to design for the environment and life cycle engineering. In: Hundal, M. S. (Hrsg.): Mechanical Life Cycle Handbook. New York: Marcel Dekker 2002.

HUNGENBERG 2011

Hungenberg, H.: Strategisches Management in Unternehmen: Ziele, Prozesse, Verfahren. 6. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2011.

JUNG 2006

Jung, C.: Anforderungsklä rung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung. Dissertation, Technische Universität München, München 2006. (München: Dr. Hut 2006 (Produktentwicklung München, Band 61))

KANO 1995

Kano, N.: Upsizing the organization by attractive quality creation. In: Kanji, G. K. (Hrsg.): Total quality management – proceedings of the First World Congress. London: Chapman & Hall 1995, S. 60-72.

KAPLAN & NORTON 1992

Kaplan, R. S.; Norton, D. P.: The Balanced Scorecard – measures that drive performance. Harvard Business Review 70 (1992) 1, S. 71-79.

KARSAK ET AL. 2002

Karsak, E. E.; Sozer, S.; Alptekin, S. E.: Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. Computers & Industrial Engineering 44 (2002) 1, S. 171-190.

KERNSCHMIDT ET AL. 2012

Kernschmidt, K.; Hepperle, C.; Mörtl, M.; Vogel-Heuser, B.: Lifecycle oriented planning of mechatronic products and corresponding services. 9th International Conference on Product Lifecycle Management. Montreal, 2012.

KIM ET AL. 2010

Kim, K.-J.; Lim, C.-H.; Lee, J.; Lee, D.-H.; Hong, Y. S.; Park, K.-T.: Generation of concepts for product-service system. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010.

KING 1994

King, B.: Doppelt so schnell wie die Konkurrenz – Quality Function Deployment. 2. Auflage. St. Gallen: gfmt 1994.

KINKEL ET AL. 2006

Kinkel, S.; Armbruster, H.; Schirrmeister, E.: Szenario-Delphi oder Delphi-Szenario? Erfahrungen aus zwei Vorausschaustudien mit der Kombination dieser Methoden. 2. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 8. November 2006.

KINKEL ET AL. 2004

Kinkel, S.; Lay, G.; Wengel, J.: Innovation: Mehr als Forschung und Entwicklung – Wachstumsschancen auf anderen Innovationspfaden. Fraunhofer ISI – Institut Systemtechnik und Innovationsforschung: Mitteilungen aus der Innovationsforschung 33 (2004) 1, S. 1-12.

KIPP & KRAUSE 2007

Kipp, T.; Krause, D.: Entwicklung von Methoden zur variantengerechten Produktgestaltung. 18. Symposium Design for X. Neukirchen, 2007.

KLEINALTENKAMP & SAAB 2009

Kleinaltenkamp, M.; Saab, S.: Technischer Vertrieb – Eine praxisorientierte Einführung in das Business-to-Business-Marketing. Heidelberg: Springer 2009.

KLEINSCHMIDT ET AL. 1996

Kleinschmidt, E.; Geschka, H.; Cooper, R. G.: Erfolgsfaktor Markt: Kundenorientierte Produktinnovation. Berlin: Springer 1996.

KNACKSTEDT ET AL. 2008

Knackstedt, R.; Pöppelbuß, J.; Winkelmann, A.: Integration von Sach- und Dienstleistungen – Ausgewählte Internetquellen zur hybriden Wertschöpfung. Wirtschaftsinformatik 50 (2008) 3, S. 235-247.

KÖHLER ET AL. 2008

Köhler, C.; Conrad, J.; Wanke, S.; Weber, C.: A matrix representation of the CPM/PDD approach as a means for change impact analysis. 10th International Design Conference – DESIGN 2008. Dubrovnik, 2008.

KOLLER 1994

Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. Berlin: Springer 1994.

KRALLMANN & HOFFRICHTER 1998

Krallmann, H.; Hoffrichter, M.: Service Engineering – Wie entsteht eine neue Dienstleistung. In: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): Dienstleistungsinitiative – Wachstumschancen nutzen. Stuttgart: Schaffer-Poeschel 1998.

KRAUT 2002

Kraut, N.: Unternehmensanalyse in mittelständischen Industrieunternehmen: Konzeption – Methoden – Instrumente. Dissertation, Universität Würzburg, Würzburg 2002. (Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 2002)

KREIMEYER & LINDEMANN 2011

Kreimeyer, M.; Lindemann, U.: Complexity metrics in engineering design. Berlin: Springer 2011.

KULVIWAT ET AL. 2007

Kulviwat, S.; Brunder, G. C.; Kumar, A.; Nasco, S. A.; Clark, T.: Toward a unified theory of consumer acceptance technology. *Psychology & Marketing* 24 (2007) S. 1059-1084.

LANG-KOETZ ET AL. 2010

Lang-Koetz, C.; Springer, S.; Beucker, S.: Life Cycle e-Valuation – Produkt, Service, System. Stuttgart: Fraunhofer IRB 2010.

LANGER & LINDEMANN 2009

Langer, S.; Lindemann, U.: Managing cycles in development processes – analysis and classification of external context factors. 17th International Conference on Engineering Design – ICED'09. Stanford, 2009.

LEDERER ET AL. 2010

Lederer, S.; Marle, F.; Hepperle, C.; Lindemann, U.: Analysis of decision-making processes in the development of complex solutions. 12th International DSM Conference. Cambridge (UK), 2010.

LEEMHUIS 1985

Leemhuis, J. P.: Using scenarios to develop strategies. *Long Range Planning* 18 (1985) 2, S. 30-37.

LEIMEISTER & GLAUNER 2008

Leimeister, J. M.; Glauner, C.: Hybride Produkte – Einordnung und Herausforderungen für die Wirtschaftsinformatik. *Wirtschaftsinformatik* 50 (2008) 3, S. 248-251.

LENDERS 2009

Lenders, M.: Beschleunigung der Produktentwicklung durch Lösungsraum-Management. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen 2009. (Aachen: Ap-primus 2009)

LESMEISTER 2001

Lesmeister, F.: Verbesserte Produktplanung durch den problemorientierten Einsatz präventiver Qualitätsmanagementmethoden. Dissertation, Universität Lübeck, Lübeck 2001. (Düsseldorf: VDI-Verlag 2001)

LINDAHL ET AL. 2009

Lindahl, M.; Sakao, T.; Rönnbäck, A. Ö.: Engineering implications of integrated product-service offerings. 17th International Conference on Engineering Design – ICED'09. Stanford, 2009.

LINDEMANN 1980

Lindemann, U.: Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt. Dissertation, Technische Universität München, München 1980. (Düsseldorf: VDI-Verlag 1980 (Fortschrittsberichte der VDI Zeitschriften, Reihe 1, Band 60))

LINDEMANN 2007A

Lindemann, U.: A vision to overcome “chaotic” design for X processes in early phases. 16th International Conference on Engineering Design – ICED'07. Paris, 2007a.

LINDEMANN 2007B

Lindemann, U. (Hrsg.): Zyklenmanagement von Innovationsprozessen – Verzahnte Entwicklung von Leistungsbündeln auf Basis technischer Produkte – Finanzierungsantrag. München: Technische Universität München 2007b.

LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Auflage. Berlin: Springer 2009.

LINDEMANN & MAURER 2006

Lindemann, U.; Maurer, M.: Early evaluation of product properties for individualised products. International Journal of Mass Customisation 1 (2006) 2/3, S. 145-162.

LINDEMANN ET AL. 2008

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: Structural complexity management: An approach for the field of product design. Berlin: Springer 2008.

LINZ & MÜLLER-STEWENS 2012

Linz, C.; Müller-Stewens, G.: Lösungsanbieterstrategien. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 65 (2012) 12, S. 1-24.

MACHATE 2006

Machate, A.: Zukunftsgestaltung durch Roadmapping: Vorgehensweise und Methodeneinsatz für eine zielorientierte Erstellung und Visualisierung von Roadmaps. Dissertation, Technische Universität München, München 2006.

MACK & BANGE 2011

Mack, M.; Bange, C.: Strategische Planung heute – Status quo, Nutzen und Verbesserungspotential. Würzburg: BARC-Institut 2011.

MAI 1998

Mai, C.: Effiziente Produktplanung mit Quality Function Deployment. Dissertation, Universität Stuttgart, Stuttgart 1998. (Berlin: Springer 1998)

MANNWEILER ET AL. 2010A

Mannweiler, C.; Möhrer, J.; Fiekers, C.: Planung investiver Produkt-Service Systeme. In: Aurich, J. C. et al. (Hrsg.): Produkt-Service Systeme. Berlin: Springer 2010a, S. 15-30.

MANNWEILER ET AL. 2010B

Mannweiler, C.; Siener, M.; Aurich, J. C.: Lifecycle cost oriented evaluation and selection of product-service system variants. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010b.

MANSON 2001

Manson, M.: Simplifying complexity: a review of complexity theory. *Geoforum* 32 (2001) S. 405-414.

MARTUS 1973

Martus, D.: Die Planung der Lebensdauer eines Produkts. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, München 1973. (Augsburg: Druck- und Verlagsanstalt 1973)

MATEIKA 2005

Mateika, M.: Unterstützung der Lebenszyklusorientierten Produktplanung am Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig 2005a. (Essen: Vulkan 2005)

MAURER 2007

Maurer, M. S.: Structural awareness in complex product design. Dissertation, Technische Universität München, München 2007. (München: Dr. Hut 2007 (Produktentwicklung))

MCALOONE & ANDREASEN 2002

McAloon, T. C.; Andreasen, M. M.: Defining product service systems. 13. Symposium "Design for X". Neukirchen, 2002.

MCALOONE & ANDREASEN 2004

McAloon, T. C.; Andreasen, M. M.: Design for utility, sustainability and societal virtues: Developing product service system. 8th International Design Conference – DESIGN 2004. Dubrovnik, 2004.

MEERKAMM 1994

Meerkamm, H.: Design for X – a core area of design methodology. *Journal of Engineering Design* 5 (1994) 2, S. 165 - 181.

MEIER & UHLMANN 2012

Meier, H.; Uhlmann, E.: Hybride Leistungsbündel – ein neues Produktverständnis. In: Meier, H. et al. (Hrsg.): *Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen*. Berlin: Springer 2012, S. 1-21.

MEIREN & BARTH 2002

Meiren, T.; Barth, T.: *Service Engineering in Unternehmen umsetzen: Leitfaden für die Entwicklung von Dienstleistungen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB 2002.

MEYER-SCHÖNHERR 1992

Meyer-Schönherr, M.: *Szenario-Technik als Instrument der strategischen Planung*. Verlag Wissenschaft und Praxis, Ludwigsburg 1992.

MICHEL 1990

Michel, K.: *Technologie im strategischen Management – ein Portfolio-Ansatz zur integrierten Technologie- und Marktplanung*. 2. Auflage. Berlin: Erich Schmidt 1990.

MICROSOFT 2012A

Homepage zum Softwaretool Access der Firma Microsoft. [Zugriff am 31.08.2012, URL: <http://office.microsoft.com/de-de/access/>].

MICROSOFT 2012B

Homepage zum Softwaretool Excel der Firma Microsoft. [Zugriff am 31.08.2012, URL: <http://office.microsoft.com/de-de/excel/>].

MICROSOFT 2012C

Homepage zum Softwaretool Visio der Firma Microsoft. [Zugriff am 31.08.2012, URL: <http://office.microsoft.com/de-de/visio/>].

MIBLER-BEHR 1993

Mißler-Behr, M.: *Methoden der Szenarioanalyse*. Dissertation, Universität Augsburg, Augsburg 1993.

MÖHRLE & ISENMANN 2008

Möhrle, M.; Isenmann, R.: *Grundlagen des Technologie-Roadmapping*. In: Möhrle, M. et al. (Hrsg.): *Technologie-Roadmapping*. Berlin: Springer 2008.

MONT 2000

Mont, O. (Hrsg.): *Product-service systems*. The International Institute of Industrial Environmental Economics, Lund University, Lund 2000.

MONT 2002

Mont, O. K.: Clarifying the concept of product-service system. *Journal of Cleaner Production* 10 (2002) 3, S. 237-245.

MÖRTL 2002

Mörrtl, M. A.: Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte. Dissertation, Technische Universität München, München 2002. (München: Dr. Hut 2002 (Produktentwicklung München, Band 51))

MÜLLER & BLESSING 2007

Müller, P.; Blessing, L.: Development of product-service-systems – comparison of product and service development process models. *International Conference on Engineering Design – ICED'07*. Paris, 2007.

MÜLLER ET AL. 2010

Müller, P.; Schulz, F.; Stark, R.: Guideline to elicit requirements on industrial product-service-systems. *2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference*. Linköping, 2010.

MÜLLER & STARK 2010

Müller, P.; Stark, R.: A generic PSS development process model based on theory and an empirical study. *11th International Design Conference – DESIGN 2010*. Dubrovnik, 2010.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION 2007

National Aeronautics and Space Administration (Hrsg.): *NASA systems engineering handbook (NASA/SP-2007-6105 Rev1)*. Washington, D. C.: 2007.

NIEMANN ET AL. 2009

Niemann, J.; Tichkiewitch, S.; Westkämper, E. (Hrsg.): *Design of sustainable product life cycles*. Berlin: Springer 2009.

OECD & EUROSTAT 2005

OECD; Eurostat (Hrsg.): *Oslo manual: guidelines for collecting and interpreting innovation data*. 3. Auflage. Paris: OECD 2005.

ORAWSKI ET AL. 2010A

Orawski, R.; Hepperle, C.; Mörrtl, M.; Lindemann, U.: A framework for a product-service-system portfolio: managing the early planning. *11th International Design Conference – DESIGN 2010*. Dubrovnik, 2010a.

ORAWSKI ET AL. 2010B

Orawski, R.; Hepperle, C.; Mörrtl, M.; Lindemann, U.: Matching product flexibility on the integrated portfolio of a product-service-system. *2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference*. Linköping, 2010b.

ORAWSKI ET AL. 2011

Orawski, R.; Hepperle, C.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Reoccurring cyclic consideration of end-of-life requirements during product planning. International Conference on Research into Design – ICoRD 2011. Bangalore, 2011.

ORAWSKI ET AL. 2012

Orawski, R.; Hepperle, C.; Schenkl, S.; Mörtl, M.; Lindemann, U.: Life-cycle oriented requirement formalization and traceability. 9th International Conference on Product Lifecycle Management. Montreal, 2012.

ORLIK 2005

Orlik, L.: Wissensbasierte Entscheidungshilfe für die strategische Produktplanung. Dissertation, Universität Paderborn, Paderborn 2005. (Paderborn: HNI-Schriftenreihe, Band 62, 2005)

OTTO & WOOD 2001

Otto, K. N.; Wood, K. L.: Product design. Upper Saddle River: Prentice-Hall 2001.

PAHL ET AL. 2007

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre. 7. Auflage. Berlin: Springer 2007.

PHAAL ET AL. 2001

Phaal, R.; Farrukh, C. J.; Probert, D. R. (Hrsg.): Technology roadmapping: Linking technology resources to business objectives. Center for Technology Management, University of Cambridge, Cambridge 2001.

PHAAL ET AL. 2004

Phaal, R.; Farrukh, C. J.; Probert, D. R.: Technology roadmapping – a planning framework for evolution and revolution. Technological Forecasting and Social Change 71 (2004) 1-2, S. 5-26.

PIMMLER & EPPINGER 1994

Pimmler, T.; Eppinger, S.: Integration analysis of product decompositions. ASME Conference on Design Theory and Methodology. Minneapolis, 1994.

POHL & RUPP 2010

Pohl, K.; Rupp, C.: Basiswissen Requirements Engineering. 2. Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag 2010.

PONN & LINDEMANN 2011

Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Optimierte Produkte – systematisch von Anforderungen zu Konzepten. 2. Auflage. Berlin: Springer 2011.

POTTS 1988

Potts, G. W.: Exploit your product's service lifecycle. Harvard Business Review 66 (1988) 5, S. 32-36.

PRODUKTENTWICKLUNG 2009A

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Benjamin Nolte (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Integrierte Lebenszyklusanalyse von Sach- und Dienstleistungen. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2009a.

PRODUKTENTWICKLUNG 2009B

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Antje Zschernig (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Das automobiler Umfeld der Zukunft – Methodik, Definition und Szenarios. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2009b.

PRODUKTENTWICKLUNG 2009C

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Stefan Thanner (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Analyse des Produktlebenszyklus und seiner Phasen für die integrierte Produktplanung. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2009c.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010A

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Philipp Pöhlmann (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Innovationsfördernde und -hemmende Faktoren bei der Planung komplexer Lösungen. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010a.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010B

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Sebastian Lederer (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Analysis of decision-making processes in the development of complex solutions. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010b.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010C

Produktentwicklung (Hrsg.): Masterarbeit Mücahit Hatun (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Integrated planning of mechatronic products and product-service-systems. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010c.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010D

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Armin Förg (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Elektromobilität – lebenszyklusgerechte Planung zukünftiger Kraftfahrzeuge. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010d.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010E

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Christopher Lock (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Innovations- und Anforderungsmanagement im Bereich Elektromobilität. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010e.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010F

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Daniel Wagner (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Elektromobilität – Lebenszyklusgerechte Bewertung einsetzbarer Technologien. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010f.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010G

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Nikolas Bradford (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Evolving MDM approaches – two case studies. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010g.

PRODUKTENTWICKLUNG 2010H

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Tobias Dorn (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Das Kraftfahrzeug der Zukunft – zyklische Einflüsse auf die Planung und Entwicklung. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2010h.

PRODUKTENTWICKLUNG 2011A

Produktentwicklung (Hrsg.): Bachelorarbeit Florian Lachner (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Zielwertanalyse zur strategischen Produktplanung zukünftiger Kraftfahrzeuge im dynamischen Unternehmensumfeld. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011a.

PRODUKTENTWICKLUNG 2011B

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Konstantin Kernschmidt (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Lifecycle oriented planning of mechatronic products and corresponding services. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011b.

PRODUKTENTWICKLUNG 2011C

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Martin Merz (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Optimierung von Innovationsprozessen – Erstellung einer Markt-Technologie-Roadmap am Beispiel von Großdieselmotoren. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011c.

PRODUKTENTWICKLUNG 2011D

Produktentwicklung (Hrsg.): Diplomarbeit Simon Eichiner (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Computer-supported modeling techniques to analyze goal interrelations within strategic product planning systems. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011d.

PRODUKTENTWICKLUNG 2011E

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Alexander Böcker (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Lebenszyklusgerechte Produktplanung unter Berücksichtigung von Design for X-Richtlinien. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011e.

PRODUKTENTWICKLUNG 2011F

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Benjamin Weinreiter (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Elektromobilität – Fahrempfinden im Kraftfahrzeug der Zukunft. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011f.

PRODUKTENTWICKLUNG 2011G

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Jannik Sieferle (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Lebenszyklusgerechte Produktplanung – Analyse von Methoden zur übergreifenden Informationsakquise. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2011g.

PRODUKTENTWICKLUNG 2012

Produktentwicklung (Hrsg.): Semesterarbeit Victoria Schäfer (nicht veröffentlichte Studienarbeit): Integration der strategischen Produkt- und Produktionstechnologieplanung. München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München 2012.

PROTÉGÉ 2012

Homepage zum Softwaretool protégé des Stanford Center for Biomedical Informatics Research. [Zugriff am 31.08.2012, URL: <http://protege.stanford.edu/>].

PUGH 1990

Pugh, S.: Total Design – Integrated methods for successful product engineering Workingham: Addison-Wesley 1990.

PULM 2004

Pulm, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität München, München 2004. (München: Dr. Hut 2004 (Produktentwicklung München, Band 56))

RAMASWAMY 1996

Ramaswamy, R.: Design and management of service processes – keeping customers for life. Reading: Addison-Wesley 1996.

RATH 2008

Rath, V.: Kundennahe Institutionen als Träger innovationsrelevanten Kundenwissens – Vertrieb und Handel als potenzielle Integratoren bei Produktinnovationen. Dissertation, Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Bamberg 2008. (Wiesbaden: Gabler 2008)

RAU 2004

Rau, T.: Planung, Statistik und Entscheidung. München: Oldenbourg 2004.

REFFLINGHAUS 2009

Refflinghaus, R. (Hrsg.): Technical Report 0901 – Einsatz des Analytischen Hierarchie Prozesses zur Vorbereitung der kundenspezifischen Eingangsgrößen eines Quality Function Deployments. Technische Universität Dortmund, Dortmund 2009.

REGER 2001

Reger, G.: Risikoreduktion durch Technologie-Früherkennung. In: Gassmann, O. et al. (Hrsg.): High-Risk-Projekte: Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen. Berlin: Springer 2001.

REINHART ET AL. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement – ein Kurs für Studium und Praxis. Berlin: Springer 1996.

RÖDER ET AL. 2011

Röder, B.; Birkhofer, H.; Bohn, A.: Clustering customer dreams – an approach for a more efficient requirement acquisition. International Conference on Engineering Design – ICED'11. Kopenhagen, 2011.

ROHRBECK & GEMÜNDEN 2006

Rohrbeck, R.; Gemünden, H. G.: Strategische Frühaufklärung – Modell zur Integration von markt- und technologieseitiger Frühaufklärung. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. Paderborn: 2006, S. 159-167.

RÖMER & SCHEIBEL 2007

Römer, L.; Scheibel, T.: Grundlage für neue Materialien Spinnenseidenproteine. Chemie in unserer Zeit 41 (2007) S. 306-314.

ROPOHL 1975

Ropohl, G.: Systemtechnik – Grundlagen und Anwendung. München: Hanser 1975.

ROTH 2000

Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Band 1. Berlin: Springer 2000.

SAAKSVUORI & IMMONEN 2008

Saaksvuori, A.; Immonen, A.: Product lifecycle management. 3. Auflage. Berlin: Springer 2008.

SADEK 2008

Sadek, T.: Ein modellorientierter Ansatz zur Konzeptentwicklung industrieller Produkt-Service Systeme. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Bochum 2008.

SADEK & KÖSTER 2012

Sadek, T.; Köster, M.: Sach- und dienstleistungsintegrierte Konzeptentwicklung. In: Meier, H. et al. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen. Berlin: Springer 2012, S. 61-88.

SADEK & STEVEN 2010

Sadek, T.; Steven, M.: Design of PSS revenue models. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010.

SAUNDERS & JOBBER 1994

Saunders, J.; Jobber, D.: Product replacement: Strategies for simultaneous product deletion and launch. Journal of Product Innovation Management 11 (1994) 5, S. 433-450.

SCHNEIDER & SCHEER 2003

Schneider, K.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Konzept zur systematischen und kundenorientierten Entwicklung von Dienstleistungen. Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Institut für Wirtschaftsinformatik, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Saarbrücken 2003.

SCHWEITZER ET AL. 2010

Schweitzer, E.; Willenborg, J.; Pier, M.; Fuchs, C.; Jenne, F.: Entwicklung investiver Produkt-Service Systeme. In: Aurich, J. C. et al. (Hrsg.): Produkt-Service Systeme. Berlin: Springer 2010, S. 31-66.

SEIDEL 2005

Seidel, M.: Methodische Produktplanung – Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe 2005.

SOSA ET AL. 2005

Sosa, M.; Agrawal, A.; Eppinger, S.; Rowles, C.: Network approach to component modularity. 7th International Design Structure Matrix Conference. Seattle, 2005.

SPATH & DEMUß 2006

Spath, D.; Demuß, L.: Entwicklung hybrider Produkte – Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): Service Engineering. Berlin: Springer 2006, S. 463-502.

SPATH ET AL. 2001

Spath, D.; Dill, C.; Scharer, M.: Mit dem Methodenbauskasten Produkte treffsicher und schnell entwickeln. In: Spath, D. (Hrsg.): Vom Markt zum Produkt – Impulse für die Innovationen von morgen. Stuttgart: LOG_X 2001, S. 7-24.

SPECHT & BEHRENS 2008

Specht, D.; Behrens, S.: Strategische Planung mit Roadmaps. In: Möhrle, M. et al. (Hrsg.): Technologie-Roadmapping. Berlin: Springer 2008.

STARK 2011

Stark, J.: Product lifecycle management – 21st century paradigm for product realisation. 2. Auflage. London: Springer 2011.

STARK & MÜLLER 2012

Stark, R.; Müller, P.: HLB-Entwicklungsmethodik – generischer Entwicklungsprozess, Generierung von Anforderungen und Absicherung hybrider Leistungsbündel. In: Meier, H. et al. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen. Berlin: Springer 2012, S. 37-60.

STEINHILPER & DUNKEL 2005

Steinhilper, R.; Dunkel, M.: Life Cycle Engineering – Produkte lebenszyklusorientiert entwickeln. In: Schäppi, B. et al. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser 2005.

STENGEL & SCHIEBL 2006

Stengel, T.; Schießl, P. (Hrsg.): Forschungsbericht F2032 – Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe (F236). Technische Universität München, Materialprüfungsamt – MPA BAU, Abteilung Baustoffe, München 2006.

STERN & JABERG 2010

Stern, T.; Jaberg, H.: Erfolgreiches Innovationsmanagement. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2010.

STEVEN 2008

Steven, M.: BWL für Ingenieure. München: Oldenbourg 2008.

STEVEN & RICHTER 2010

Steven, M.; Richter, A.: Hierarchical planning for industrial product service systems. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010.

STEWART 1981

Stewart, D.: The Design structure system: A method for managing the design of complex systems. IEEE Transactions on Engineering Management 28 (1981) 3, S. 71-74.

STRATMANN 2000

Stratmann, J.: Bedarfsgerechte Informationsversorgung im Rahmen eines produktlebenszyklusorientierten Controlling. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin 2000. (Köln: Eul 2001 (Planung, Organisation und Unternehmensführung, Band 71))

SUH 1998

Suh, N. P.: Axiomatic Design Theory for Systems. Research in Engineering Design 10 (1998) 4, S. 189-209.

SUNDIN 2009A

Sundin, E.: Life-cycle perspectives of product/service-systems: in design theory. In: Sakao, T. et al. (Hrsg.): Introduction to product/service-system design. London: Springer 2009a, S. 31-50.

SUNDIN 2009B

Sundin, E.: Life-cycle perspectives of product/service-systems: practical design experiences. In: Sakao, T. et al. (Hrsg.): Introduction to product/service-system design. London: Springer 2009b, S. 51-70.

TESEON 2012

Homepage zum Softwaretool Loomeo der Firma Teseon GmbH. [Zugriff am 31.08.2012, URL: <http://www.teseon.de/loomeo>].

THOMAS ET AL. 2008

Thomas, O.; Walter, P.; Loos, P.: Product-Service Systems: Konstruktion und Anwendung einer Entwicklungsmethodik. Wirtschaftsinformatik 50 (2008) 3, S. 208-219.

TIDD ET AL. 2005

Tidd, J.; Pavitt, K.; Bessant, J.: *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change*. 3. Auflage. Chichester: Wiley 2005.

TRONCI ET AL. 2009

Tronci, M.; Costantino, F.; Di Gravio, G.; Bisillo, S.; Fagnoli, M. (Hrsg.): *Relazione finale (II anno) – B1-3/DTS/05 – Sviluppo di procedure e metodologie per la gestione delle attività di progettazione e sviluppo di prodotti eco-efficienti*. Sapienza Università di Roma, Rom 2009.

TROTT 2008

Trott, P.: *Innovation management and new product development*. Harlow: Pearson Education 2008.

TUKKER 2004

Tukker, A.: *Eight types of product-service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet*. *Business Strategy and the Environment* 13 (2004) 4, S. 246-260.

TUKKER & TISCHNER 2006

Tukker, A.; Tischner, U.: *Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research*. *Journal of Cleaner Production* 14 (2006) 17, S. 1552-1556.

UHLMANN ET AL. 2010

Uhlmann, E.; Bochnig, H.; Stelzer, C.: *Characterization of customer requirements in IPS² creation*. 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference. Linköping, 2010.

ULBRICH ZÜRNI 2004

Ulbrich Zürni, S.: *Möglichkeiten und Grenzen der Methode der Szenarioanalyse in der Öffentlichen Planung: Eine Analyse am Beispiel der Schweizer Energieplanung*. Dissertation, ETH Zürich, Zürich 2004. (Stuttgart: Wiku-Verlag 2004)

ULLMAN 2003

Ullman, D. G.: *The mechanical design process*. 3. Auflage. New York: McGraw-Hill 2003.

ULRICH & EPPINGER 2004

Ulrich, S. D.; Eppinger, K. T.: *Product design and development*. 3. Auflage. New York: McGraw-Hill 2004.

VENKATESH & DAVIS 2000

Venkatesh, V.; Davis, F. D.: *A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies*. *Management Science* 46 (2000) 2, S. 186-204.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1980

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *VDI 2220: Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation*. Berlin: Beuth 1980.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 1993

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth 1993.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2002

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2243: Recyclingorientierte Produktentwicklung. Berlin: Beuth 2002.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2004

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Berlin: Beuth 2004.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2008

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 4499: Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen. Berlin: Beuth 2008.

VON REIBNITZ 1992

von Reibnitz, U.: Szenario-Technik: Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung. Wiesbaden: Gabler 1992.

WEBER 2005

Weber, C.: CPM/PDD – An Extended Theoretical Approach to Modelling Products and Product Development Processes. 2nd German-Israeli Symposium on Advances in Methods and Systems for Development of Products and Processes. Berlin, 2005.

WEBER ET AL. 2004

Weber, C.; Steinbach, M.; Botta, C.; Deubel, T.: Modelling of product-service systems (PSS) based on the PDD approach. 8th International Design Conference – DESIGN 2004. Dubrovnik, 2004.

WEILKIENS 2008

Weilkiens, T.: Systems Engineering mit SysML/UML: Modellierung, Analyse, Design. 2. Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag 2008.

WELGE & AL-LAHAM 2008

Welge, M. K.; Al-Laham, A.: Strategisches Management: Grundlagen – Prozess – Implementierung. 5. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2008.

WELP & SADEK 2008

Welp, E. G.; Sadek, T.: Conceptual design of industrial product service systems (IPS²) based on the extended heterogeneous modelling approach. 10th International Design Conference – DESIGN 2008. Dubrovnik, 2008.

WÜNDERLICH & WANGENHEIM 2009

Wunderlich, N. V.; Wangenheim, F. v.: Measuring interactive remote service acceptance – a quantitative study on B2B-Service adoption. American Marketing Association (AMA) Summer Educator's Conference. Chicago (USA), 2009.

ZERNIAL 2007

Zernial, P.: Technology Roadmap Deployment. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen 2007.

ZIRKLER 2010

Zirkler, S.: Transdisziplinäres Zielkostenmanagement komplexer mechatronischer Produkte. Dissertation, Technische Universität München, München 2010. (München: Dr. Hut 2010 (Produktentwicklung))

8. Anhang

- 8.1 Abkürzungsverzeichnis
- 8.2 Angeleitete Studienarbeiten im Kontext der Dissertation
- 8.3 Überblick über Expertengespräche
- 8.4 Zusammenhänge zwischen Lebenszyklusphasen und Eco-Design-Richtlinien
 - Darstellung der verwendeten Eco-Design-Richtlinie
 - DMM A der Lebenszyklusphasen und Eco-Design-Richtlinien
 - DSM B der Eco-Design-Richtlinien
- 8.5 Zusammenhänge zwischen Lebenszyklusphasen und DFX-Richtlinien
 - Darstellung der akquirierten DMM_dfx_mer, der DMM_leb_dfx und der DSM_mer
 - Ergebnisse der Errechnung indirekter Wechselwirkungen zwischen Lebenszyklusphasen und DFX-Richtlinien
- 8.6 Berechnungsvorschriften zum Lebenszyklus-Roadmapping
- 8.7 Zuordnung von Planungsverfahren zu Zeithorizonten
- 8.8 Erfassungsmodell zur lebenszyklusgerechten Kontextanalyse
- 8.9 Checkliste zur Technologiecharakterisierung
- 8.10 Unterlagen zum Demonstrationsbeispiel Waschmaschine
 - Übersicht identifizierter Kontextfaktoren
 - Dokumente zur Kompatibilitätsanalyse des Referenzszenarios 2016
 - Dokumente zu den Konsistenzanalysen der Planungshorizonte 2016 und 2018

8.1 Abkürzungsverzeichnis

ASI	American Supplier Institute
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAR@TUM	Munich Centre of Automotive Research
CPM	Characteristics-Properties Modelling
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMM	Domain Mapping Matrix
DP	Design Parameters
DRM	Design Research Methodology
DSM	Design bzw. Dependency Structure Matrix
EE	Vorentwicklungsabteilung bei MAN Diesel & Turbo SE

FEM	Finite-Elemente-Methode
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FR	Functional Requirements
GS	Abteilung zur strategischen Produktplanung bei MAN Diesel & Turbo SE
HoQ	House of Quality
IT	Informationstechnik
KFZ	Kraftfahrzeug
MDM	Multiple Domain Matrix
MDT	MAN Diesel & Turbo SE
MEZ	Markteinführungszeitpunkt
MS	Microsoft
MT	Mobiltelefon
OEM	Original Equipment Manufacturer
PAS	Publicly Available Specification
PDD	Property-Driven Development
PDM	Produktdatenmanagement
PEP	Product Evolution Process bzw. Produktentstehungsprozess
PLM	Product-Lifecycle-Management
QFD	Quality Function Deployment
SFB	Sonderforschungsbereich
SFB/TR	Sonderforschungsbereich/Transregio
SPP	Strategic Planning Process
TRD	Technology Roadmap Deployment
TRP	Technology Readiness Process
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

8.2 Angeleitete Studienarbeiten im Kontext der Dissertation

- Böcker, Alexander: *Lebenszyklusgerechte Produktplanung unter Berücksichtigung von Design for X-Richtlinien*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2011e);
- Bradford, Nicolas: *Evolving MDM approaches – two case studies*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2010g);
- Dorn, Tobias: *Das Kraftfahrzeug der Zukunft – zyklische Einflüsse auf die Planung und Entwicklung*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2010h);
- Eichiner, Simon: *Computer-Supported Modeling Techniques to Analyze Goal Interrelations within Strategic Product Planning Systems*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2011d);
- Förg, Armin: *Elektromobilität – lebenszyklusgerechte Planung zukünftiger Kraftfahrzeuge*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2010d);
- Hatun, Mücahit: *Integrierte Planung mechatronisch geprägter Produkte und Leistungsbündel*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2010c);
- Kernschmidt, Konstantin: *Lebenszyklusorientierte Planung mechatronischer Produkte und zugehöriger Dienstleistungen*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2011b);
- Lachner, Florian: *Zielwertanalyse zur strategischen Produktplanung zukünftiger Kraftfahrzeuge im dynamischen Unternehmensumfeld*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2011a);
- Lederer, Sebastian: *Analysis of decision-making processes in the development of complex solutions*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2010b);
- Lock, Christopher: *Entscheidungsunterstützung im Innovationsmanagement am Beispiel Elektromobilität*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2010e);
- Merz, Martin: *Optimierung von Innovationsprozessen – Erstellung einer Markt-Technologie-Roadmap am Beispiel von Großdieselmotoren*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2011c);
- Nolte, Benjamin: *Integrierte Lebenszyklusanalyse von Sach- und Dienstleistungen*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2009a);
- Pöhlmann, Philipp: *Innovationsfördernde und -hemmende Faktoren bei der Planung komplexer Lösungen*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2010a);
- Schäfer, Victoria: *Integration der strategischen Produkt- und Produktionstechnologieplanung*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2012);
- Siefert, Jannik: *Lebenszyklusgerechte Produktplanung – Analyse von Methoden zur übergreifenden Informationsakquise*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2011g);
- Thanner, Stefan: *Analyse des Produktlebenszyklus und seiner Phasen für die integrierte Produktplanung*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2009c);
- Wagner, Daniel: *Elektromobilität – lebenszyklusgerechte Bewertung einsetzbarer Technologien*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2010f);
- Weinreiter, Benjamin: *Elektromobilität – Fahrempfinden im Automobil der Zukunft*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2011f);
- Zschernig, Antje: *Das automobile Umfeld der Zukunft – Methodik, Definition und Szenarios*. (PRODUKTENTWICKLUNG 2009b).

8.3 Überblick über Expertengespräche

Firma	Abteilung/Position der befragten Person(en)	Datum
designaffairs group GmbH	Geschäftsführung, Projektleitung	30.03.2009
Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH	Entwicklungsleiter Water Treatment	11.05.2009
MAN Truck and Bus	Strategische Produktplanung	12.05.2009
Knorr-Bremse AG	Innovationsmanagement	12.05.2009
Brainlab AG	Produktmanagement /-marketing	05.06.2009
Strail – Kraiburg Elastik GmbH	Entwicklungsleiter Bahnübergangssysteme	16.06.2009
Kuka Roboter GmbH	Innovationsmanager	04.08.2009

8.4 Zusammenhänge zwischen Lebenszyklusphasen und Eco-Design-Richtlinien

- Darstellung der verwendeten Eco-Design-Richtlinie
- DMM A: Zusammenhänge der Lebenszyklusphasen und Eco-Design-Richtlinien
- DSM B: Zusammenhänge der Eco-Design-Richtlinien

Eco-Design-Richtlinie nach TRONCI et al. 2009, FARGNOLI et al. 2010 und PRODUKTENTWICKLUNG 2010g

1. Selection of materials with low environmental impact	1.1 Non-toxic, non-hazardous materials
	1.2 Use of non-depletive (renewable) resources
	1.3 Use of recycled materials
	1.4 Ease in recycling the raw materials
	1.5 Materials with low energy content
	1.6 Ease in processing the raw materials
2. Materials reduction	2.1 Reduction in weight
	2.2 Reduction in volume (for transportation)
	2.3 Reduction in the number of types of materials (homogeneity)
3. Optimization of production technology	3.1 Production technology with low environmental impact
	3.2 Fewer production steps
	3.3 Lower energy consumption/use of energy with low environmental impact
	3.4 Reduced consumption of non-essential items/use of production expendables with low environmental impact
	3.5 Reduction of production waste
4. Optimization of the distribution system	4.1 Simpler packaging/use of less environmentally harmful or combustible packaging materials
	4.2 Reusable or recyclable packaging materials
	4.3 Means of transportation with low environmental impact
	4.4 Selection of the most energy-efficient transportation routes
5. Reduction of environmental impact during use	5.1 Decreased energy consumption/use of energy with low environmental impact
	5.2 Decreased use of non-essential items/use of non-essential items with low environmental impact
	5.3 Lower release to the environment (pollutants)
6. Optimization of the product life-cycle	6.1 High reliability and durability
	6.2 Ease of maintenance and repair
	6.3 Modular structure
	6.4 Strong product-user relationship
7. Optimization of the end-of-life management system	7.1 Product reusability
	7.2 Components reusability
	7.3 Recycling of the materials
	7.4 Means of collection with low environmental impact
	7.5 Selection of the most energy-efficient collection route
	7.6 Easier disassembling of the product
	7.7 Easier crushing of materials
	7.8 Safe incineration (energy recovery)
	7.9 Safety in the disposal of waste products in landfill
	7.10 Indication of the chemical composition and disposal procedures for materials

DSM B – Teil 2: Zusammenhänge der Eco-Design-Richtlinien

DSM B zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Eco-Design Richtlinien: m = materialbezogener Zusammenhang g = geometriebezogener Zusammenhang e = energiebezogener Zusammenhang Teil 2	5.1 Decreased energy consumption / use of energy with low environmental impact	5.2 Decreased use of non-essential items / use of non-essential items with low environmental impact	5.3 Lower release to the environment (pollutants)	6.1 High reliability and durability	6.2 Ease of maintenance and repair	6.3 Modular structure	6.4 Strong product-user relationship	7.1 Product reusability	7.2 Components reusability	7.3 Recycling of the materials	7.4 Means of collection with low environmental impact	7.5 Selection of the most energy-efficient collection route	7.6 Easier disassembling of the product	7.7 Easier crushing of materials	7.8 Safe incineration (energy recovery)	7.9 Safety in the disposal of waste products in landfill	7.10 Indication of the chemical composition and disposal procedures for materials
1.1 Non-toxic, non-hazardous materials			m		m		m	m	m	m			m	m	m	m	m
1.2 Use of non-depletive (renewable) resources																	
1.3 Use of recycled materials										m	em						
1.4 Ease in recycling the raw materials									m	m			m	m			m
1.5 Materials with low energy content																	
1.6 Ease in processing the raw materials																	
2.1 Reduction in weight	em		em	m							em		em	em		m	
2.2 Reduction in volume (for transportation)	eg		eg	g			m				g		g	g			
2.3 Reduction in the number of types of materials (homogeneity)						m	m						m	m			m
3.1 Production technology with low environmental impact																	
3.2 Fewer production steps																	
3.3 Lower energy consumption / use of energy with low environmental impact																	
3.4 Reduced consumption of non-essential items / use of production expendables with low environmental impact																	
3.5 Reduction of production waste																	
4.1 Simpler packaging / use of less environmentally harmful or combustible packaging materials										m			m	m			m
4.2 Reusable or recyclable packaging materials	em																
4.3 Means of transportation with low environmental impact																	
4.4 Selection of the most energy-efficient transportation routes																	
5.1 Decreased energy consumption / use of energy with low environmental impact		e	e														
5.2 Decreased use of non-essential items / use of non-essential items with low environmental impact	e		e				gm										
5.3 Lower release to the environment (pollutants)																	
6.1 High reliability and durability				egm			egm										
6.2 Ease of maintenance and repair				egm	egm		gm										
6.3 Modular structure			g	g			g	g	g				g	g		g	
6.4 Strong product-user relationship			egm	egm													
7.1 Product reusability			gm	gm				gm	gm								
7.2 Components reusability									m								
7.3 Recycling of the materials																	
7.4 Means of collection with low environmental impact																	
7.5 Selection of the most energy-efficient collection route																	
7.6 Easier disassembling of the product				gm	gm			gm	gm				gm	em	gm		
7.7 Easier crushing of materials				m				m	m							m	
7.8 Safe incineration (energy recovery)																m	
7.9 Safety in the disposal of waste products in landfill												gm		m			
7.10 Indication of the chemical composition and disposal procedures for materials								m	m				m	m	m	m	

Darstellung der akquirierten DSM_mer

	Geometrie	Volumen	Oberfläche	Farbe	Lage	Energie	Material	Signal	Symmetrie	Einzelteile
Geometrie		1							1	
Volumen	1									
Oberfläche				1			1			
Farbe			1				1			
Lage										1
Energie										
Material			1	1						
Signal										
Symmetrie	1									
Einzelteile					1					

Fall A – Errechnung indirekter Abhängigkeiten zwischen DFX-Richtlinien auf Basis adressierter Produktmerkmale

Fall A	Degree centrality	Distance centrality	Betweenness centrality	Degree centrality normiert	Distance centrality normiert	Betweenness centrality normiert
Design for ergonomics	11	0,03	18,01	0,42	0,67	0,06
Design for production	15	0,03	16,39	0,58	0,74	0,05
Design for assembly	15	0,03	28,79	0,58	0,74	0,09
Design for maintenance	6	0,02	8,35	0,23	0,58	0,03
Design for minimum risk	15	0,03	15,71	0,58	0,74	0,05
Design for variance	4	0,02	0,70	0,15	0,55	0,00
Design for cost	8	0,02	4,29	0,31	0,57	0,01
Design for individualized products	13	0,03	14,74	0,50	0,70	0,05
Design for industrial design	12	0,03	12,89	0,46	0,68	0,04
Design for the environment	10	0,03	6,55	0,38	0,65	0,02
Design for disassembly	17	0,03	37,16	0,65	0,79	0,11
Design for recyclability	10	0,03	6,55	0,38	0,65	0,02
Design for remanufacturing	10	0,03	5,53	0,38	0,65	0,02
Design for high impact material reduction	10	0,03	6,55	0,38	0,65	0,02
Design for Energy Efficiency	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Design for piece part production	17	0,03	11,28	0,65	0,79	0,03
Design for tolerance	13	0,03	4,11	0,50	0,70	0,01
Design for interface constraints	14	0,03	12,07	0,54	0,72	0,04
Design for material	15	0,03	15,71	0,58	0,74	0,05
Design for stress	16	0,03	44,60	0,62	0,76	0,14
Design for reliability and safety	7	0,02	3,80	0,27	0,59	0,01
Design for welding	13	0,03	4,11	0,50	0,70	0,01
Design for casting	17	0,03	11,28	0,65	0,79	0,03
Design for functional construction	5	0,02	2,98	0,19	0,57	0,01
Design for forming	17	0,03	11,28	0,65	0,79	0,03
Design for chipping	17	0,03	11,28	0,65	0,79	0,03
Design for manufacturing	17	0,03	11,28	0,65	0,79	0,03

Fall B – Errechnung indirekter Abhängigkeiten zwischen DFX-Richtlinien auf Basis adressierter Produktmerkmale sowie deren Vernetzung

Fall B	Degree centrality	Distance centrality	Betweenness centrality	Degree centrality normiert	Distance centrality normiert	Betweenness centrality normiert
Design for ergonomics	23	0,04	40,70	0,88	1,04	0,13
Design for production	19	0,03	17,98	0,73	0,90	0,06
Design for assembly	20	0,04	21,10	0,77	0,93	0,06
Design for maintenance	2	0,02	0,00	0,08	0,57	0,00
Design for minimum risk	14	0,03	13,96	0,54	0,76	0,04
Design for variance	18	0,03	17,87	0,69	0,87	0,05
Design for cost	24	0,04	72,70	0,92	1,08	0,22
Design for individualized products	16	0,03	6,40	0,62	0,81	0,02
Design for industrial design	16	0,03	6,40	0,62	0,81	0,02
Design for the environment	8	0,03	0,13	0,31	0,65	0,00
Design for disassembly	8	0,03	0,11	0,31	0,65	0,00
Design for recyclability	8	0,03	0,13	0,31	0,65	0,00
Design for remanufacturing	14	0,03	4,05	0,54	0,76	0,01
Design for high impact material reduction	8	0,03	0,13	0,31	0,65	0,00
Design for Energy Efficiency	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Design for piece part production	7	0,02	0,11	0,27	0,63	0,00
Design for tolerance	15	0,03	6,27	0,58	0,79	0,02
Design for interface constraints	7	0,02	0,11	0,27	0,63	0,00
Design for material	12	0,03	0,63	0,46	0,72	0,00
Design for stress	20	0,04	21,10	0,77	0,93	0,06
Design for reliability and safety	22	0,04	39,39	0,85	1,00	0,12
Design for welding	15	0,03	6,27	0,58	0,79	0,02
Design for casting	7	0,02	0,11	0,27	0,63	0,00
Design for functional construction	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Design for forming	7	0,02	0,11	0,27	0,63	0,00
Design for chipping	7	0,02	0,11	0,27	0,63	0,00
Design for manufacturing	7	0,02	0,11	0,27	0,63	0,00

Fall C – Errechnung indirekter Abhängigkeiten zwischen Lebenszyklusphasen auf Basis verschiedener adressierter DFX-Richtlinien

Fall C	Degree centrality	Distance centrality	Betweenness centrality	Degree centrality normiert	Distance centrality normiert	Betweenness centrality normiert
Produktionsplanung	5	0,04	1,73	0,33	0,65	0,02
Produktionslogistik und Materialdisposition	5	0,04	1,00	0,33	0,65	0,01
Produktionssteuerung	3	0,04	0,00	0,20	0,60	0,00
Fertigung	14	0,07	29,54	0,93	1,07	0,28
Montage	13	0,07	21,90	0,87	1,00	0,21
Tests und Prüfung	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verpackung und Lagerung	12	0,06	10,87	0,80	0,94	0,10
Transport des Produktes	10	0,06	4,87	0,67	0,83	0,05
Mögliche Zwischenlagerung und Transport zum Kunden	9	0,05	0,54	0,60	0,79	0,01
Inbetriebnahme	9	0,05	2,97	0,60	0,79	0,03
Nutzungsphase	5	0,04	1,05	0,33	0,65	0,01
Modernisierung/ Upgrade	5	0,04	0,80	0,33	0,65	0,01
Instandhaltung	10	0,06	3,34	0,67	0,83	0,03
Außerbetriebnahme	8	0,05	0,00	0,53	0,75	0,00
Demontage	9	0,05	0,54	0,60	0,79	0,01
Wiederverwendung/-verwertung	9	0,05	4,87	0,60	0,79	0,05

8.6 Berechnungsvorschriften zum Lebenszyklus-Roadmapping

Quelle: PRODUKTENTWICKLUNG 2011b

Development product	
Beginning:	“Beginning distribution” – “Production lead time” – “Development time product”
Duration:	“Development time product”

Development services	
Beginning:	“Beginning distribution” – “Beginning pre-product-use services” – “Development time services”
Duration:	“Development time Services”

Development IT	
Beginning:	“Beginning distribution” – “Production lead time” – “Development time IT”
Duration:	“Development time IT”

Pre-production	
Beginning:	“Beginning production” – “Pre-production”
Duration:	“Pre-production”

Production	
Beginning:	“Beginning distribution” – “Production lead time”
Duration:	“Production lead time” + “Distribution time” + “Distribution overlap” ± “End of production”

PSS distribution	
Beginning:	for first PSS version: 0 for successive PSS versions: “Beginning Distribution” (of Version x-1) + “Distribution time” (of Version x-1)
Duration:	“Distribution time” + “Distribution overlap”

Utilization product	
Beginning:	“Beginning distribution” + “Distribution lead time”
Duration:	“Distribution time” + “Distribution overlap” + “Utilization time of 1 product”

Utilization pre-use services	
Beginning:	“Beginning distribution” – “Lead time pre-product-use services”
Duration:	“Lead time pre-product-use services” + “Distribution time” + “Distribution overlap” – “End pre-product-use services”

Utilization services during product use	
Beginning:	“Beginning product utilization”
Duration:	“Services during product use”

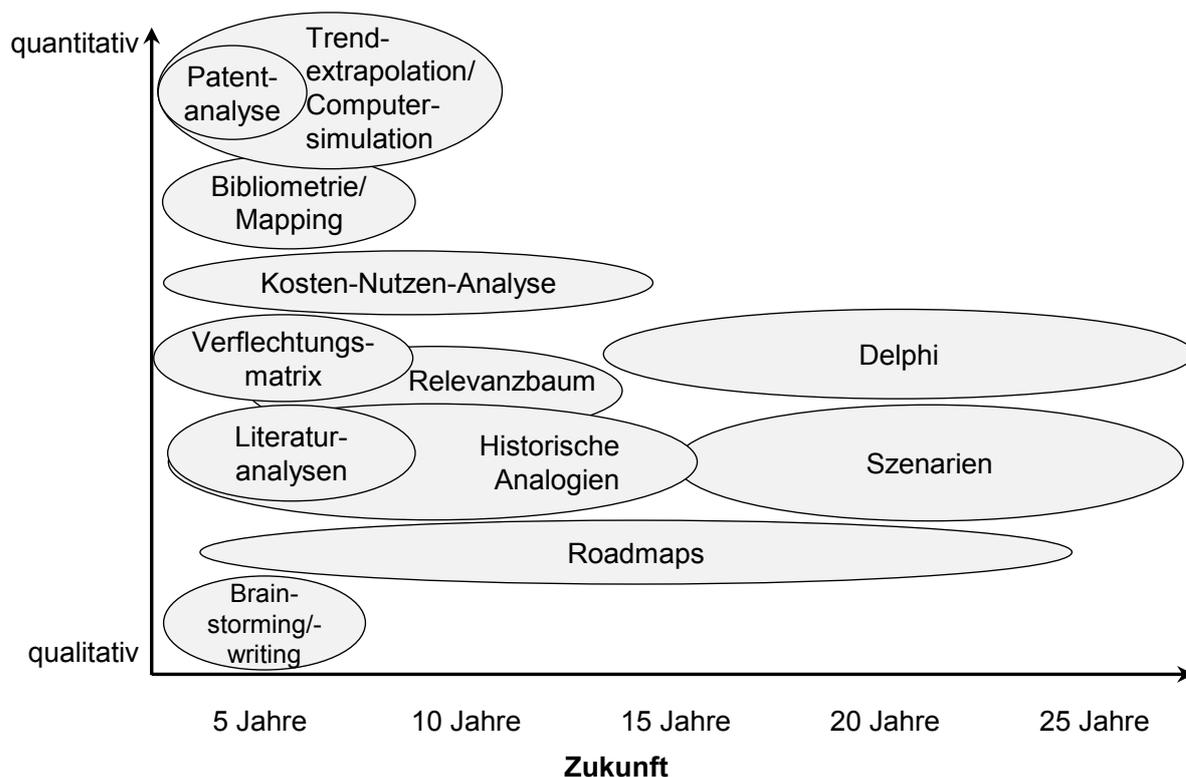
Utilization services after product use	
Beginning:	“Beginning product utilization”
Duration:	“After-product-use services”

Utilization IT	
Beginning:	“Beginning distribution” – “Production lead time”
Duration:	“Utilization time IT”

PSS disposal	
Beginning:	“Beginning distribution” – “Production lead time”
Duration:	“Production lead time” + “Distribution lead time” + “Disposal time for customers”

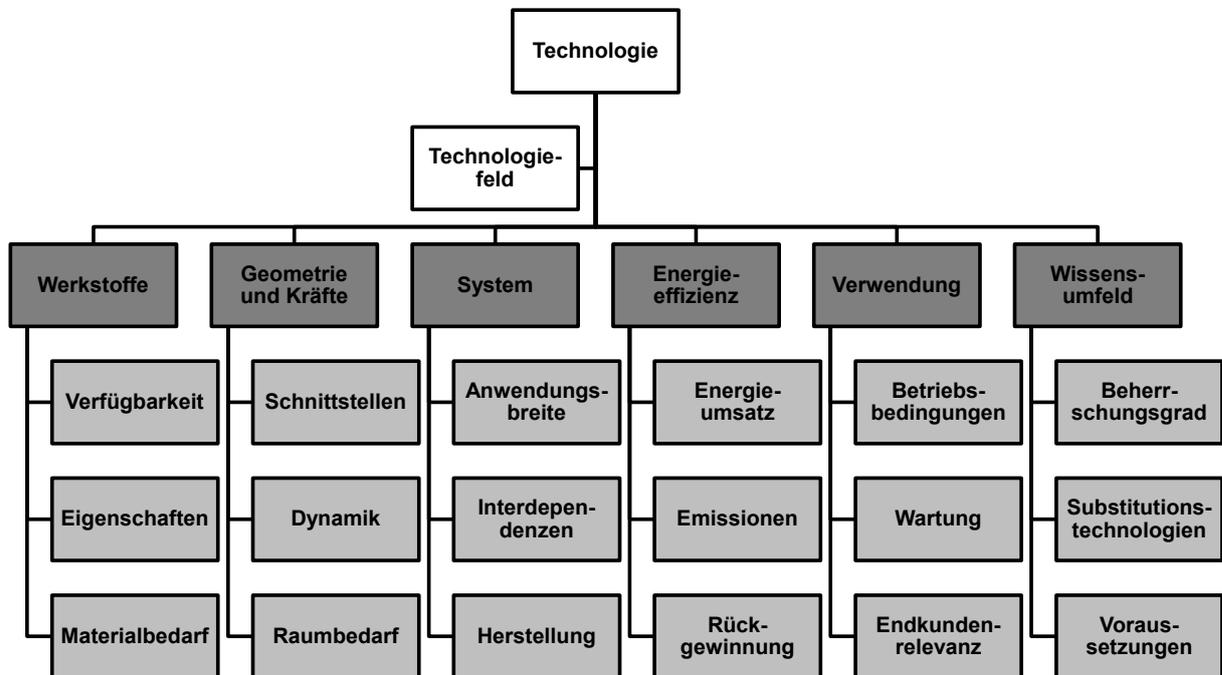
8.7 Zuordnung von Planungsverfahren zu Zeithorizonten

Quelle: REGER 2001



8.9 Checkliste zur Technologiecharakterisierung

Quelle: PRODUKTENTWICKLUNG 2010f



8.10 Unterlagen zum Demonstrationsbeispiel Waschmaschine

Berücksichtigte Dokumente

- Übersicht identifizierter Kontextfaktoren
- Liste der Lösungselemente und zugeordneter Parametermerkmale für das Referenz-szenario 2016
- Abkürzungsverzeichnis der Parametermerkmale
- Ergebnisse der Kompatibilitätsanalyse für das Referenzszenario 2016
- DSM der Parameterkompatibilität zur erweiterten Kompatibilitätsanalyse
- DMM der Lösungselemente und Funktionen als eine Grundlage zur Errechnung der Distanzmatrix für das Referenzszenario 2016
- DMM der Funktionen und Ziele als eine Grundlage zur Errechnung der Distanzmatrix für das Referenzszenario 2016
- Übersicht über die in den verschiedenen Szenarios berücksichtigten Lösungselemente und deren Zuordnung zu Funktionen
- Ergebnisse Konsistenzanalyse – MDM+ für das Jahr 2016
- Ergebnisse Konsistenzanalyse – MDM+ für das Jahr 2018
- Ergebnisse Konsistenzanalyse – MDM- 2016/2018

Übersicht identifizierter Kontextfaktoren – Teil 1

		Technologie / Wissen	
		Technologien	Wirkprinzipien
		Funktionen	
Leistungsbündelentwicklung		Simulationswerkzeuge zur Strömungsoptimierung Risikovorhalt	
Produktionsorganisation und Produktion	Produktionslogistik	Roboterbasierte, komplett automatisierte Endmontage Fertigungstechnologiekette für Laugenbehälter A (Spritzguss klassisch) Fertigungstechnologiekette für Laugenbehälter B Fertigungstechnologiekette für Gehäuseseite A (Pressen der Rippen) Fertigungstechnologiekette für Gehäuseseite B	Türe (inkl. Glasgießerei) fertigen Trommel fertigen Motor fertigen Motorsteuerung fertigen Leistungsmodul fertigen Bedienblende fertigen Laugenbehälter produzieren Gehäuse fertigen Waschmaschine endmontieren
	Fertigung	Fertigungstechnologiekette für Trommel A (Scherschneiden) Fertigungstechnologiekette für Trommel B (Laserschneiden-Seltene-Erden) Fertigungstechnologiekette für Motor A (seltene Erden stehen zur Verfügung) Fertigungstechnologiekette für Motor B (benötigt keine seltene Erden)	
	Montage	Fertigungstechnologiekette für Bedien- und Leistungsmodul A Fertigungstechnologiekette für Steuerelemente B Aufbau einer Elektronik-Fertigung	
Verpackung und Transport des Produkts	Verpackung	Verpackungsmaschine A Verpackungsmaschine B	Produkt "verkaufen" (Vertrag) Produkt verpacken Produkt lagern Produkt transportieren
	Lagerung und Zwischenlagerung	Verpackungsmaterial A Verpackungsmaterial B	
	Transport	Transportart A: LKW-Transport Transportart B: Bahn und -Schifftransport	
Erbringung PreUse-Service	Erbringungs-vorbereitung		
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung		
Nutzung Produkt	Inbetriebnahme	Neue Technologien und Wirkprinzipien in folgenden Bereichen: Motor Gehäuse Heizkörper Fenster Sensorik Aufhängung Trommel Trommel Laugenbehälter Laugenpumpe Aquastop Bedienteile	Wäsche zuführen und entnehmen Bauteile schützen Wäschert ermitteln (Verschmutzungsgrad, Menge, Material) Wäsche speichern Wäsche reinigen Wäsche entwässern und trocknen Feuchtigkeitsgrad messen Wasser zuführen Wasserhärte messen Lauge mischen und speichern Lauge erwärmen Wasser abpumpen Waschmittel zuführen und speichern
	Nutzung		
	Modernisierung		
	Zweitnutzung		
Erbringung Use-Service	Erbringungs-vorbereitung		Elektrische Energie in Thermische Energie wandeln (heizen, trocknen) Elektrische Energie in Rotatorische Energie wandeln (in Lauge bewegen, entwässern) Elektrische Energie in Rotatorische Energie wandeln (abpumpen) Waschprogramm steuern und regeln Umfeld gegen Schäden sichern Produkt inbetriebnehmen Leistungsbündel modernisieren Produkt warten Betrieb dokumentieren Energieverbrauch senken Produkt(-teile) ersetzen
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung		
Wartung/Instandhaltung		Remotetechnologien	
Produkt-entsorgung	Außerbetriebnahme		Produkt außerbetriebnehmen Produkt demontieren Produkt(-teile) weiternutzen Produkt(-teile) entsorgen
	Demontage	Verbindungsarten zur Demontage	
	Weiterverwendung/ Weiterverwertung	Lebensdauer Einzelbausteine zur Weiterverwendung	
	Wiederverwendung/ Wiederverwertung	Wiederverwendbare Materialien	
	Entsorgung		
Erbringung AfterUse-Service	Erbringungs-vorbereitung		
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung		

Übersicht identifizierter Kontextfaktoren – Teil 2

		Sozioökonomie	
		Wirtschaftlicher Kontext	Sozialer Kontext
Leistungsbündelentwicklung		Wirtschaftlicher Umgang mit Variantenvielfalt	
Produktionsorganisation und Produktion	Produktionslogistik		
	Fertigung		
	Montage		
Verpackung und Transport des Produkts	Verpackung		
	Lagerung und Zwischenlagerung	Lagerdauer (Obszoleszenz des Produkts)	
	Transport		
Erbringung PreUse-Service	Erbringungs-vorbereitung		
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung	Kleinere Einkommen in Mittelschicht --> Finanzierungsmöglichkeiten der Waschmaschine bzw. des Waschens	Bedarf nach transparenten Verkaufsberatungen vom Hersteller (nicht des Vertriebspartners (z. B. Mediamarkt))
Nutzung Produkt	Inbetriebnahme	Preisbereitschaft Inbetriebnahme	Inbetriebnahme-Know-How der Nutzer
	Nutzung	Gehaltsentwicklung, Konsumverhalten, Preisbereitschaft, Haftungsfolgen, Wiederverkaufswert, Lebensdauer	Alter Nutzer, Gesundheit Nutzer, Nutzerzahl (Familie/Single), Ökologisches Bewusstsein, Waschhäufigkeit, Waschgewohnheiten (Zeitpunkt), IT-Affinität, Sigma-Milieus, Material Wäsche, Wohnsituation (Räumlichkeiten), Wasch-Know-How Technologieakzeptanz Verschmutzungsarten
	Modernisierung		Upgrades, Updates
	Zweitnutzung		Verkauf der Waschmaschine, Zweitmarkt
Erbringung Use-Service	Erbringungs-vorbereitung		
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung		Bedarf der Aktualisierung von Waschprogrammen, um Waschmaschine auf aktuellem Stand zu halten (Fleckenprogramme, etc.), Kostenlose Ersatzgeräte während Reparatur, Bedarf Lösungsorientierung, Garantie-/Kulanzerweiterung, Lieferservice (bei Wettbewerber standardmäßig), Inbetriebnahme
Wartung/Instandhaltung		Geringe Zahlungsbereitschaft für Wartung	Servicebedürfnis bezüglich Wartung
Produkt-entsorgung	Außerbetriebnahme		Servicebedürfnis bezüglich Recycling
	Demontage		
	Weiterverwendung/ Weiterverwertung		
	Wiederverwendung/ Wiederverwertung		
Erbringung AfterUse-Service	Erbringungs-vorbereitung		
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung		Bedarf nach Wiederverkaufsplattform und Abholservice

Übersicht identifizierter Kontextfaktoren – Teil 3

		Politik / Legislative		
		Politik	Gesetzgebung	Standards / Regularien
Leistungsbündelentwicklung			Verkürzung Arbeitszeit	
Produktions- organisation und Produktion	Produktionslogistik			
	Fertigung		Umgang mit Gefahrenstoffen	
	Montage	Forderung nach energieeffizienten Produktionsverfahren (Grüne Produktion)		
Verpackung und Transport des Produkts	Verpackung			DIN_EN_60456
	Lagerung und Zwischenlagerung			
	Transport			
Erbringung PreUse-Service	Erbringungs- vorbereitung			
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung		Datenschutz Beratungsvorschriften	
Nutzung Produkt	Inbetriebnahme		Haftung	
	Nutzung	Verleihung von Nachhaltigkeitspreisen	EMV, Gefahrenstoffe, Gewährleistung, Garantie	DIN_EN_60456 zum Thema Waschmaschinen für den Hausgebrauch, Stiftung Warentest (Funktion, Dauerprüfung, Handhabung, Umwelteigenschaften, Schutz vor Wasserschäden), Energieklassen, neue Absatzmärkte
	Modernisierung			
	Zweitnutzung			
Erbringung Use-Service	Erbringungs- vorbereitung			
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung		Datenschutz (Garantie bei Dienstleistungen)	
Wartung/Instandhaltung			Garantie, Gewährleistung	
Produkt- entsorgung	Außerbetriebnahme			
	Demontage			
	Weiterverwendung/ Weiterverwertung			
	Wiederverwendung/ Wiederverwertung			
	Entsorgung			Gesetze zur Materialauswahl in Hausgeräten
Erbringung AfterUse-Service	Erbringungs- vorbereitung			
	Umsetzung/ Nutzung/ Evaluierung/ Überarbeitung			

Übersicht identifizierter Kontextfaktoren – Teil 4

		Ressourcen				
		Humanressourcen	Infrastruktur	Energie	Rohstoffe	Budget
Leistungsbündelentwicklung		Fachkräftemangel (Technik) Gut ausgebildete Serviceentwickler				
Produktionsorganisation und Produktion	Produktionslogistik					
	Fertigung		verschiedene Fertigungsstandorte mit unterschiedlicher Fertigungsqualität	Hoher Energieverbrauch		
	Montage		Endmontage zentral			
Verpackung und Transport des Produkts	Verpackung			Verpackungsenergie	Verpackungsmaterial	Verpackungskosten
	Lagerung und Zwischenlagerung		Lagerhalle, Händler, Hebevorrichtungen			Lagerkosten
	Transport		Transportart			Transportkosten
Erbringung PreUse-Service	Erbringungs-vorbereitung/Umsetzung/	Schulung Service-Personal	Hauseigene Bank Online Portal			
	Nutzung/Evaluierung/Überarbeitung	Service-Kräfte				
Nutzung Produkt	Inbetriebnahme		Transportmöglichkeiten zu Hause			
	Nutzung		Anschlussmöglichkeiten	Elektrische Energie, Thermische Energie (Wasser), Thermische Energie (Heizung)	Wasser, Waschmittel, Materialien Waschmaschine (Mangel an seltenen Erden)	Betriebskosten, Subventionierung von energieeffizienten Waschmaschinen
	Modernisierung					
	Zweitnutzung					
Erbringung Use-Service	Erbringungs-vorbereitung	Schulung der Servicekräfte Anzahl an verfügbaren Servicekräften	Cloudcomputing Enges Vertriebsnetz Kommunikation Smartgrid Remotetechnologien Trend in Haushaltsbranche hin zur Verwendung IT-gestützten Services Smartphone-Verbreitung bei Kunden		Zukaufteile fremdbestimmt (Zyklen IT, Prozessoren, ...) Waschmaschinen-spezifische Funktechnik bei Zulieferer verfügbar	
	Umsetzung/ Nutzung/Evaluierung/Überarbeitung					
Wartung/Instandhaltung		Servicemitarbeiter	Servicenetzt, Vertriebspartner			
Produkt-entsorgung	Außerbetriebnahme					
	Demontage					
	Weiterverwendung/ Weiterverwertung					
	Wiederverwendung/ Wiederverwertung				Materialengpässe	
	Entsorgung					
Erbringung AfterUse-Service	Erbringungs-vorbereitung					
	Umsetzung/ Nutzung/Evaluierung/Überarbeitung					

Liste der Lösungselemente und zugeordneter Parametermerkmale für das Referenzszenario 2016

Lebenszyklusphasen	Lösungselemente Referenzszenario 2016	Parametermerkmale			
		Lag-Tro	W-Tro	Mod-WM	
Entwicklung	Modularisierungsansätze	del-LauBe			
	RFID-Know-How				
	Tool zur Strömungsoptimierung	Str-Tro			
	Service-Entwickler	ITK-Por			
Produktion	Klassische Strömungsoptimierung (ohne Tool)	Str-Tro			
	Roboterbasierte, komplett automatisierte Endmontage	d-Tro	d-LauBe	Abm-Geh	Bin-Geh
	Fertigungstechnologiekette für Laugenbehälter A (Spitzguss klassisch)	W-LauBe	d-LauBe	Gen-LauBe	
	Fertigungstechnologiekette für Türe A	W-Gla	Abm-Tür	Abm-Gla	W-Tür
	Fertigungstechnologiekette für Gehäuseteile A (Pressen der Rippen)	W-Geh	St-Geh	Abm-Geh	Obe-Geh
	Fertigungstechnologiekette für Trommel A (Laserschneiden)	W-Tro	d-Tro	Gen-Tro	ZeI-Tro
	Fertigungstechnologiekette für Motor A (seltene Erden stehen zur Verfügung)	W-Tro	d-Tro	Gen-Tro	ZeI-Tro
	Fertigungstechnologiekette für Motor A (seltene Erden stehen zur Verfügung)	W-Mot			
	Fertigungstechnologiekette für Bedien- und Leistungsmodul A	Abm-Stk	W-Stk	ITK-Stk	
	Verpackungsmaschine A	Abm-Geh	W-Pac	F-Pac	Tem-Pac
	Verpackungsmaterial A	Abm-Geh	W-Pac	F-Pac	Obe-Pac
	Verpackungsmaterial B	Abm-Geh	W-Pac	F-Pac	Obe-Pac
Vertrieb Produkt	Transportart A: LKW-Transport	Tem-Pac	Abm-Geh	Gew-WM	
	Europoolpalette	Abm-Geh			
	Hebevorrichtungen beim Hersteller (z. B. Gabelstapler)	Abm-Geh	Gew-WM		
	Service-Kräfte als Berater	del-Tro	del-LauBe	Gew-WM	KoP-Ber
	Online Portal zur Konfiguration	Mod-WM	ITK-Por		
	Lieferservice	Gew-WM	Abm-Geh		
	Bürstenmotor (inkl. Antriebssteuerung)	Leb-Mot	Dre-Mot	EVe-Mot	
	Bürstenloser Motor (inkl. Antriebssteuerung)	Dre-Mot	Dre-Mot	EVe-Mot	Lau-Mot
	Standard-Stahlgehäuse lackiert	Abm-Geh	W-Geh	Obe-Geh	
	Stahlgehäuse-breitfläch	Abm-Geh	W-Geh	Obe-Geh	
	Widerstandsheizung (Heizspirale)	Abm-Hei	Eve-Hei		
	Türelement klassisch (Türe mit gegossenem speziell geformtem Glas)	W-Gla	Abm-Tür	Abm-Gla	
Türelement mit automatisierter Waschetrennung	Abm-Tür	W-Tür			
Nutzung Produkt	Kunststoff-Laugenbehälter klassisch	W-LauBe	d-LauBe	Gen-LauBe	
	Laugenpumpe A mit Spaltmotor	Abm-LauPu			
	Aquastop	Abm-Aqu			
	Bedien-/Leistungsmodul A - klassisches einfärbiges Display zur	Abm-Stk	W-Stk	IT-Stk	
	Bedienmodul B - mehrfarbiges, multifunktionales TouchPad (Verbrauch, etc).	Abm-Stk	W-Stk	IT-Stk	Kom-Stk
	Wasser-/Waschmittelzufuhr A - Kaltwasser - Waschmittel eigenhändig	Abm-WMZ	W-WMZ		
	Edeistahltrommel 6 kg	d-Tro	W-Tro	Obe-Tro	Gen-Tro
	Edeistahltrommel 8 kg	d-Tro	W-Tro	Obe-Tro	Gen-Tro
	Servicekräfte zur Nutzungsoptimierung	KoP-NuB	Kom-Stk		
	Remotetechnologien zur Wartung und zur Dokumentation	Kom-Stk	ITK-Rem	Abm-Rem	
	Servicekräfte für Wartung	KoP-NuB	Kom-Stk	Aus-WM	
	Kommunikation Smartgrid	Kom-Stk			
Recycling	Möglichkeiten der Garantie-/Kulanzweiterung	Leb-WM	Aus-WM		
	Demontageverfahren A	Bin-Geh	Bin-Tro	Abm-Geh	
	Demontageverfahren B	Bin-Geh	Bin-Tro	Abm-Geh	W-Tro
	Materialtrennung A	W-Geh	W-Tro	W-LauBe	Abm-Geh
	Materialtrennung B	W-Geh	W-Tro	W-LauBe	Gue-Geh
	Wiederverwendungs-/Verwertungsverfahren A	Leb-Mot	W-Tro	W-LauBe	Gew-WM
Erbringung nachnutzungs- begleitender Dienstleistungen	Portal zum Weiterverkauf	Kom-Stk	ITK-Por		
	Abholservice	Gew-WM	Abm-Geh		

Abkürzungsverzeichnis der Parametermerkmale

Merkmale

Abm = Abmaße

Aus = Austauschbarkeit

Bin = Verbindungsart

d = Durchmesser

del = delta der Technologie (Neuigkeitsgrad)

EVe = Energieverbrauch

F = Farbe

Gen = Genauigkeit

Gue = Güte Materialtrennung

IT = IT-Umfang

ITK = IT-Know-How

Kom = Kommunikationsschnittstelle zur Waschmaschine (Steuerung)

KoP = Kompetenz

Leb = Lebensdauer

Mod = Modularisierungsgrad Waschmaschine

NuB = Nutzungsberatung

Obe = Oberfläche

St = Steifigkeit

Str = Strömungswert

W = Werkstoff

Zei = Herstellungszeit

Bezugsobjekt

Ber = Beratung

Geh = Gehäuse

Hei = Heizspirale

LauBe = Laugenbehälter

LauPu = Laugenpumpe

Pac = Verpackung

Por = Portal

Rem = Remotetechnologie

Ste = Steuerung

Tro = Trommel

WM = Waschmaschine/-komponenten

DMM der Lösungselemente und Funktionen als eine Grundlage zur Errechnung der Distanzmatrix für das Referenzszenario 2016 – Teil 2

DMM_Lösungselemente_Funktionen für das Referenzszenario 2016 als eine Grundlage zur Ermittlung der Distanzmatrix Teil 2		Wasche zuführen und entnehmen	Bauteile schützen	Wäscheart ermitteln (Verschmutzungsgrad, Menge, Material)	Wäsche speichern	Wäsche reinigen	Wäsche entwässern und trocknen	Feuchtigkeitsgrad messen	Wasser zuführen	Wasserhärte messen	Lauge mischen und speichern	Lauge erwärmen	Wasser abpumpen	Waschmittel zuführen und speichern	Elektr. Energie in therm. Ener. wandeln (heizen, trocknen)	Elektr. Energie in rotator. Ener. wandeln (in Lauge bewegen)	Elektr. Energie in rotator. Ener. wandeln (abpumpen)	Waschprogramm steuern und regeln	Umfeld gegen Schäden sichern	Produkt inbetriebnehmen	Leistungsbündel modernisieren	Produkt warten	Betrieb dokumentieren	Energieverbrauch senken	Produkt(-teile) ersetzen (Ersatzteile liefern und einbauen)	Produkt außerbetriebnehmen	Produkt demontieren	Produkt(-teile) weiternutzen	Produkt(-teile) entsorgen
		Entwicklung	Modularisierungsansätze RFID-Know-How Tool zur Strömungsoptimierung Service-Entwickler Klassische Strömungsoptimierung (ohne Tool)																										
Produktion	Roboterbasierte, komplett automatisierte Endmontage Fertigungstechnologiekette für Laugenbehälter A (Spritzguss klassisch) Fertigungstechnologiekette für Türe A Fertigungstechnologiekette für Gehäuseteile A (Pressen der Rippen) Fertigungstechnologiekette für Trommel A (Scherschneiden) Fertigungstechnologiekette für Trommel B (Laserschneiden-Seltene-Erden) Fertigungstechnologiekette für Motor A (seltene Erden stehen zur Verfügung) Fertigungstechnologiekette für Bedien- und Leistungsmodul A																												
Vertrieb Produkt	Verpackungsmaschine A Verpackungsmaterial A Verpackungsmaterial B Transportart A: LKW-Transport Europoolpalette Hebevorrichtungen beim Hersteller (z.B. Gabelstapler)																												
Erbringung PreUse-Service	Service-Kräfte als Berater Online Portal zur Konfiguration Lieferservice																												
Nutzung Produkt	Bürstenmotor (inkl. Antriebssteuerung) Bürstenloser Motor (inkl. Antriebssteuerung) Standard-Stahlgehäuse lackiert Stahlgehäuse-breit-flach Widerstandsheizung (Heizspirale) Türelement klassisch (Türe mit gegossenem speziell geformtem Glas) Türelement mit automatisierter Wäschentrennung Kunststoff-Laugenbehälter klassisch Laugenpumpe A mit Spaltpolmotor AquaSTOP Bedien-/Leistungsmodul A - klassisches einfarbiges Display zur Programmauswahl mit Knopf zur Programmwahl Bedienmodul B - mehrfarbiges, multifunktionales TouchPad (Verbrauch, etc), remotefähig, Zusatzfunktionen zur Dokumentation Wasser-/Waschmittelzufuhr A - Kaltwasser, Waschmittel eigenhändig Edelstahltrommel 6 kg Edelstahltrommel 8 kg		1	1												1	1												
Erbringung Use-Service / Wartung	Servicekräfte zur Nutzungsoptimierung Remotetechnologien zur Dokumentation Servicekräfte für Wartung Kommunikation Smartgrid Möglichkeiten der Garantie-/Kulanzerweiterung																	1			1		1	1					
Recycling	Demontageverfahren A Demontageverfahren B Materialtrennung A Materialtrennung B Wiederverwendungs-/verwertungsverfahren A																									1			
Erbringung AfterUse-Service	Portal zum Weiterverkauf Abholservice																									1		1	

DMM der Funktionen und Ziele als eine Grundlage zur Errechnung der Distanzmatrix für das Referenzszenario 2016 – Teil 2

DMM_Funktionen_Ziele für das Referenzszenario 2016 als eine Grundlage zur Ermittlung der Distanzmatrix Teil 2	Inbetriebnahmefähigkeit durch Nutzer	Nutzbarkeit durch unterschiedliche Altersgruppen	Senkung des Energieverbrauchs	Nachhaltige Materialwahl	Optimierter Betrieb zu Wascheipunkten	Reinigung jeglicher Hauswäsche	Aufstellbarkeit	Unterstützung der Programmwahl	Erhöhung der Lebensdauer	Austauschbarkeit von Modulen	Wasserextraktionsleistung	Verbesserte Durchlaufzeit	Schutz vor Wasserschäden	Nutzung eines Kaltwassersenschlusses	Senkung des Wasserverbrauchs	Senkung des Waschmittelverbrauchs	Ermöglichen eines regelmäßigen Wartungsrythmus	Befriedigung des Servicebedarfs zur Inbetriebnahme	Verschlüsselte und anonymisierte Nutzungsdaten	Erhöhung der Wiederverwendungsquote des Materials	Verwendung lösbarer Verbindungen	Weiterverwendung Motoren	Ermöglichen eines herstellerebene Portals zum Wiederverkauf	Standardmäßiger Abholservice
	Konzeptableitung erleichtern																							
Wissensabfluss vermeiden																								
Feinentwurf festlegen (Produkt strömungstechnisch auslegen)																								
Türe (inkl. Glasgießerei) fertigen																								
Trommel fertigen (stanzen, pressen, scherschneiden, biegen, nieten)																								
Motor fertigen (Gehäuse gießen, Spule wickeln)																								
Motorsteuerung fertigen																								
Leistungsmodul (Programmwahl) fertigen																								
Bedienblende fertigen (spritzgießen)																								
Laugenbehälter produzieren																								
Gehäuse fertigen (pressen, biegen, stanzen)																								
Waschmaschine endmontieren																								
Produkt "verkaufen" (Vertrag)																								
Produkt verpacken																								
Produkt lagern																								
Produkt transportieren																								
Wäsche zuführen und entnehmen	1						1					1												
Bauteile schützen				1			1																	
Wäscheart ermitteln (Verschmutzungsgrad, Menge, Material)						1						1					1							
Wäsche speichern				1																				
Wäsche reinigen			1			1																		
Wäsche entwässern und trocknen											1					1								
Feuchtigkeitsgrad messen					1											1								
Wasser zuführen														1	1									
Wasserhärte messen																		1						
Lauge mischen und speichern						1											1							
Lauge erwärmen			1	1																				
Wasser abpumpen																1								
Waschmittel zuführen und speichern																	1							
Elektrische Energie in thermische Energie wandeln (heizen, trocknen)				1	1				1			1												
Elektrische Energie in rotatorische Energie wandeln (in Lauge bewegen, entwässern)				1	1				1			1												
Elektrische Energie in rotatorische Energie wandeln (abpumpen)				1	1				1			1												
Waschprogramm steuern und regeln		1	1		1	1		1	1			1			1									
Umfeld gegen Schäden sichern													1											
Produkt inbetriebnehmen	1																							
Leistungsbündel modernisieren				1					1	1								1						
Produkt warten									1									1						
Betrieb dokumentieren				1					1	1								1	1		1			
Energieverbrauch senken				1																				
Produkt(-teile) ersetzen (Ersatzteile liefern und einbauen)						1	1			1	1								1					
Produkt außerbetriebnehmen																					1			1
Produkt demontieren																					1			
Produkt(-teile) weaternutzen																						1	1	
Produkt(-teile) entsorgen																				1				

9. Dissertationsverzeichnis

Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München,
Boltzmannstraße 15
85748 Garching

Dissertationen betreut von

- Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker
- Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel
- Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode. München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.
München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1978.

- D11 HEISIG, R.:
Längencodierer mit Hilfsbewegung.
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60).
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:
Kostenanalyse von 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 SAUERMANN, 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 Optimierungungsverfahren 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 Hilfsmiteinführung 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: Dr. Hut 2012 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2012
- D118 HEPPERLE, C.:
Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel.
München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2013