

Olga Echterhoff

***Systematik zur Erarbeitung
modellbasierter
Entwicklungsaufträge***

***Systematic approach for the
deployment of model-based
development orders***

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Band 362 der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

© Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn – Paderborn – 2016

ISSN (Print): 2195-5239

ISSN (Online): 2365-4422

ISBN: 978-3-942647-81-6

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Herausgeber und des Verfassers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Als elektronische Version frei verfügbar über die Digitalen Sammlungen der Universitätsbibliothek Paderborn.

Satz und Gestaltung: Olga Echterhoff

Hersteller: readbox unipress in der readbox publishing GmbH
Münster

Printed in Germany

Geleitwort

Das Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik. Unser generelles Ziel ist die Steigerung der Innovationskraft von Industrieunternehmen des Maschinenbaus und verwandter Branchen.

Die Realisierung Erfolg versprechender Marktleistungskonzepte erfordert eine Zusammenarbeit der Akteure aus Strategischer Planung und der nachgelagerten integrativen Entwicklung der Marktleistung. Angesichts der zunehmenden Komplexität insbesondere durch Intelligente Technische Systeme und des Innovationsdrucks kommt es mehr denn je auf die enge Kommunikation und Kooperation dieser Bereiche an.

Grundvoraussetzung hierfür ist ein aussagekräftiger und präziser Entwicklungsauftrag, der im Dialog aller am Innovationsgeschehen Beteiligten entstanden ist. Allerdings behandelt die Fachliteratur das Zusammenspiel von Strategischer Planung und Entwicklung sowie den Aufbau von Entwicklungsaufträgen nur am Rande.

Vor diesem Hintergrund hat Frau Echterhoff eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge konzipiert. Die Systematik umfasst eine Modellierungssprache, eine Methode und eine Werkzeugunterstützung. Ziel sind Entwicklungsaufträge, die als Grundlage für eine integrative Zusammenarbeit aller involvierten Akteure dienen. Dafür werden die etablierten Informationen heutiger Entwicklungsaufträge um Informationen aus der Strategischen Planung erweitert und in einem Modell abgebildet. Dies ermöglicht die Darstellung des Ursachen-Wirkungs-Gefüge vom Unternehmensumfeld über das Unternehmen hin zur geplanten Marktleistung. Auf diesem Weg entsteht eine fundierte Grundlage zur Förderung der Kommunikation und Kooperation von Strategischer Planung und Entwicklung.

Mit ihrer Arbeit liefert Frau Echterhoff eine fundierte Antwort, wie Strategische Planung und Entwicklung zielorientiert integriert werden können. Sie leistet somit einen bedeutenden Beitrag zur Weiterentwicklung der Strategischen Produktplanung und des Systems Engineerings.

Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge

zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von
Dipl.-Wirt.-Ing. Olga Echterhoff, geb. Wiederkehr
aus Tschamolgan

Tag des Kolloquiums: 27. Oktober 2016
Referent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Fachgruppe Strategische Planung und Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut (HNI) der Universität Paderborn. Sie ist das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen von Forschungs- und Industrieprojekten.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, der mich stets forderte und förderte. Die intensive Zusammenarbeit in anspruchsvollen Projekten und die damit verbundenen fachlichen Diskussionen, Anregungen und insbesondere konstruktive Kritik haben wesentlich zu meiner fachlichen und persönlichen Entwicklung beigetragen. Die übertragende Verantwortung und die Möglichkeit, verschiedene Projekte selbstständig ausgestalten und bearbeiten zu können waren außergewöhnlich.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Allen Kolleginnen und Kollegen der Fachgruppe Strategische Planung und Systems Engineering, des Fraunhofer Instituts IEM sowie der UNITY AG danke ich für die hervorragende Zusammenarbeit und den einzigartigen Teamgeist, der mich jederzeit motiviert hat. Besonderer Dank gilt Dr. Ulrich Deppe, Dr.-Ing. Roman Dumitrescu, Christian Dülme, Julian Echterfeld, Benedikt Echterhoff, Daniel Eckelt, Peter Iwanek, Martin Kage, Dr.-Ing. Lydia Kaiser, Dr.-Ing. Anne-Christin Lehner, Dr.-Ing. Stefan Peter, Dr.-Ing. Daniel Steffen und Dr.-Ing. Mareen Vaßholz. Den vielen Studenten, die ich namentlich nicht alle nennen kann, danke ich für ihre Unterstützung als Studentische Hilfskraft oder durch ihre studentischen Abschlussarbeiten.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern Helene und Alexander Wiederkehr, die mir mein Studium erst ermöglicht und mich unentwegt unterstützt haben. Großer Dank gilt auch meiner Schwester Ina für ihren Einsatz, ihre Unterstützung und ihr Durchhaltevermögen – nicht nur im Rahmen dieser Arbeit. Stellvertretend für meine gesamte Familie danke ich meiner Oma Erika Bauer für die vielfältige Unterstützung. Patricia Rottinghaus verdient einen Orden für Unterstützung, Verständnis und Freundschaft. Claudia und Tom Stöven gebührt Dank für die Zerstreung in kreativen Schaffenspausen. Mein größter Dank gilt meinem Ehemann Niklas für unermüdliche Stärkung, Motivation und fortwährende Unterstützung. Ich danke Dir und bin sehr froh Dich an meiner Seite zu wissen!

Paderborn, im November 2016

Olga Echterhoff

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

- [BWJ+15] BERSENBRÜGGE, J.; WIEDERKEHR, O.; JÄHN, C.; FISCHER, M.: Anbindung des virtuellen Prototypen an die Partialmodelle Intelligenter Technischer Systeme. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Grafe, M.; Meyer auf der Heide, F. (Hrsg.): 12. Paderborner Workshop – Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, 23.-24. April 2015, Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 342, Paderborn, 2015, S. 65-78
- [GCW+13] GAUSEMEIER, J.; CZAJA, A.; WIEDERKEHR, O.; DUMITRESCU, R.; TSCHIRNER, C.; STEFFEN, D.: Studie: Systems Engineering in der industriellen Praxis. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop – Entwurf mechatronischer Systeme, 18.-19. April 2013, Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 310, Paderborn, 2013, S. 431-445
- [GDS+13] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; STEFFEN, D.; CZAJA, A.; TSCHIRNER, C.; WIEDERKEHR, O.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Studie, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2013
- [GW16] GAUSEMEIER, J.; WIEDERKEHR, O.: Im Spannungsfeld zwischen Strategischer Planung und Entwicklung. In: Gausemeier, J.; Ovtcharova, J.; Amshoff, B.; Eckelt, D.; Elstermann, M.; Placzek, M.; Wiederkehr, O. (Hrsg.): Strategische Produktplanung – adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleistungen von morgen, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2016, S. 20-25
- [PGO+16] PLACZEK, M.; GAUSEMEIER, J.; OVTCHAROVA, J.; ELSTERMANN, M.; WIEDERKEHR, O.: IT-Systeme. In: Gausemeier, J.; Ovtcharova, J.; Amshoff, B.; Eckelt, D.; Elstermann, M.; Placzek, M.; Wiederkehr, O. (Hrsg.): Strategische Produktplanung – adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleistungen von morgen, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2016, S. 76-87
- [SDW13] STROZEK, A.; DUMITRESCU, R.; WIEDERKEHR, O.: Wirtschaftlichkeitsbewertung von Methoden des Systems Engineering – Ein Simulationsansatz mit System Dynamics. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, 6.-8. November 2013, Stuttgart, 2013, S. 71-80
- [WDG14] WIEDERKEHR, O.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Der Entwicklungsauftrag als Basis für eine vorausschauende und systemorientierte Produktentstehung. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, 12.-14. November 2014, Bremen, 2014, S. 123-132
- [WDG15] WIEDERKEHR, O.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Systematische Vernetzung von Strategischer Produktplanung und Produktentwicklung. In: Bertram, T.; Corves B.; Janschek K.: Mechatroniktagung 2015, 12.-13. März 2015, Dortmund, 2015, S.251-256
- [WEG+15] WIEDERKEHR, O.; ECHTERFELD, J.; GAUSEMEIER, J.; LEHNER, A.-C.: Modellorientierte Vernetzung von Strategischer Produktplanung und Produktentwicklung. In: Binz, H.; Bertsche, B.; Bauer, W.; Roth, D. (Hrsg.): Tagungsband zum Stuttgarter Symposium (SSP) 2015, 19. Juni 2015, Stuttgart, 2015
- [WG16] WIEDERKEHR, O.; GAUSEMEIER, J.: Systematischer Übergang in die Produktkonzipierung. In: Gausemeier, J.; Ovtcharova, J.; Amshoff, B.; Eckelt, D.; Elstermann, M.; Placzek, M.; Wiederkehr, O. (Hrsg.): Strategische Produktplanung – Adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleistungen von morgen, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2016, S. 58-67

Zusammenfassung

Durch die dynamische Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik avancieren mechatronische Produkte zu einem Innovationstreiber unserer Zeit. Gepaart mit komplementären Dienstleistungen liefern sie Unternehmen eine Vielzahl von Möglichkeiten für eine nachhaltig erfolgreiche Positionierung im Wettbewerb. Die Planung und Entwicklung derartiger Marktleistungen gestaltet sich schwierig: Während die Weichen für den Erfolg einer Marktleistung bereits sehr früh im Rahmen der Strategischen Planung gestellt werden, erfolgt die eigentliche Umsetzung in der Entwicklung. Das zentrale Kommunikationsinstrument ist der Entwicklungsauftrag: Heute geht er selten über eine Anforderungsliste hinaus – wichtige strategische Hintergrundinformationen sind für die Entwicklung nicht verfügbar, Abhängigkeiten werden nicht klar vermittelt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Systematik zur Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen. Sie umfasst eine Modellierungssprache, eine Methode zur Anwendung der Sprache und eine Werkzeugunterstützung. Konkret werden die in der Strategischen Planung erarbeiteten Informationen und Zusammenhänge mittels einer Modellierungssprache beschrieben und in einem Modell abgebildet. Hierdurch kann das Ursache-Wirkungs-Gefüge vom Unternehmensumfeld über das Unternehmen bis hin zur geplanten Marktleistung abgebildet werden. Auf diesem Weg lassen sich Hintergrundinformationen zielorientiert bereitstellen. Resultat der Systematik ist ein ganzheitlicher und mit allen Beteiligten abgestimmter modellbasierter Entwicklungsauftrag.

Abstract

Through the dynamic development of information and communication technology mechatronic products advance to an innovation boost of our time. Paired with complementary services, companies gain a lot of possibilities for a sustainably successful position in the competition. Integrative planning and development of such products and services is challenging. While the foundation for success of products and services is laid in strategic planning, the realization is done in development. The central communication device between both is the development order: Nowadays, it is not more than a list of requirements – strategic background information are neglected, relations not clearly conveyed.

Thus, the goal of this work is a systematic approach for the deployment of model-based development orders. It includes a modelling language, a method for the application of the language and a tool support. In essence, information and relations from strategic planning are represented using a modelling language. Based on this, the cause-effect-structure starting from the corporate environment down to the planned products and services can be represented. In doing so, background information can be tailored to the specific needs of the recipient. The result of the systematic approach is a holistic development order, which is coordinated with all concerned parties.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	5
1.1 Problematik.....	5
1.2 Zielsetzung	7
1.3 Vorgehensweise	7
2 Problemanalyse	9
2.1 Begriffsabgrenzungen	9
2.1.1 Komplexität und Komplexitätstreiber	9
2.1.2 System, Systemstruktur und Systemdenken	10
2.1.3 Modell, Modellbildung und Modellierungssprache	14
2.1.4 Lasten- und Pflichtenheft, Entwicklungsauftrag und Anforderungsliste.....	16
2.2 Mechatronische Systeme	18
2.3 Referenzmodell der Strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER	21
2.4 Der Entwicklungsauftrag im Spannungsfeld zwischen Strategischer Planung und Entwicklung	24
2.4.1 Treiber der systematischen Vernetzung zwischen Strategischer Planung und Entwicklung	25
2.4.2 Handlungsfelder in der Praxis.....	27
2.4.3 Bestandteile von Entwicklungsaufträgen – eine empirische Untersuchung	30
2.5 Systems Engineering.....	32
2.5.1 Systems Engineering-Konzept nach HABERFELLNER ET AL.....	33
2.5.2 Model-Based Systems Engineering.....	34
2.6 Herausforderungen bei der Definition von Entwicklungsaufträgen	40
2.7 Anforderungen an eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge	41
2.7.1 Übergeordnete Anforderungen.....	41
2.7.2 Anforderungen an die ganzheitliche Abbildung von entwicklungsrelevanten Informationen	42
2.7.3 Anforderungen an den Entwicklungsauftrag als Kommunikations- und Kooperationsplattform.....	43

3	Stand der Technik	45
3.1	Ansätze zur Planung und Entwicklung von Marktleistungen	45
3.1.1	Vorgehen bei der Produktplanung nach FELDHUSEN ET AL.	45
3.1.2	Ablaufplan der Produktplanung nach VDI 2220	48
3.1.3	House of Value Creation nach FORZI und LAING	49
3.1.4	Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte nach VDI 2221	51
3.1.5	Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme nach VDI 2206	54
3.1.6	Methodik zur integrierten Produkterstellung nach EHRENSPIEL	56
3.1.7	Integriertes Produktentstehungs-Modell nach ALBERS	58
3.1.8	ZOPH-Modell nach NEGELE	59
3.1.9	5-Ebenen-Modell nach HITCHINS	62
3.2	Ansätze zur Spezifikation der Entwicklungsaufgabe	64
3.2.1	Aufbau und Erstellung der Anforderungsliste nach FELDHUSEN ET AL.	64
3.2.2	Aufgabenklärung nach EHRENSPIEL und MEERKAMM	67
3.2.3	Generischer Zielkatalog nach HABERFELLNER ET AL.	69
3.2.4	Methode zur Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung nach EBEL	70
3.2.5	Layer Methode für hybride Leistungsbündel nach MÜLLER	73
3.3	Ansätze zur Modellbildung	75
3.3.1	Business Model Kit des BOARD OF INNOVATION	75
3.3.2	[moby]-Geschäftsmodellframework nach WEINER ET AL.	78
3.3.3	Business Engineering Navigator (BEN) nach WINTER	80
3.3.4	Value Delivery Modeling Language (VDML)	81
3.3.5	Systems Modeling Language (SysML)	83
3.3.6	Spezifikationstechnik CONSENS	84
3.3.7	Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse (OMEGA)	86
3.3.8	Service-Blueprinting	88
3.4	Handlungsbedarf	90
4	Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge	93
4.1	Die Systematik im Überblick	94
4.1.1	Grundidee	94
4.1.2	Bestandteile der Systematik	96
4.2	Struktur und Inhalte des Entwicklungsauftrags	97
4.3	Modellierungssprache	100
4.3.1	Grundlegendes Sprachkonzept	101
4.3.1.1	Grundkonstrukte	103

4.3.1.2	Beziehungen	104
4.3.2	Partialmodell Unternehmensumfeld.....	108
4.3.2.1	Nutzenversprechen	109
4.3.2.2	Kunde/Kundensegment.....	110
4.3.2.3	Partner.....	112
4.3.2.4	Wettbewerber	114
4.3.2.5	Zukünftige Entwicklung.....	115
4.3.2.6	Gesetz/Regularien.....	116
4.3.3	Partialmodell Unternehmen	118
4.3.3.1	Chance/Erfolgspotential	119
4.3.3.2	Gefahr/Risiko.....	120
4.3.3.3	Strategische Rahmenbedingung	121
4.3.3.4	Finanzen.....	123
4.3.3.5	Aktivität.....	124
4.3.3.6	Ressource	125
4.3.4	Partialmodell Marktleistung.....	127
4.3.4.1	Hauptfunktion	127
4.3.4.2	Prozess	128
4.3.4.3	Technologie.....	129
4.3.5	Partialmodell Anforderungen	130
4.4	Methode	132
4.4.1	Vorgehen	132
4.4.2	Sichten-Bildung	141
4.5	Werkzeugunterstützung.....	142
4.5.1	Karten-Set	142
4.5.2	Software-Lösung	143
4.6	Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen	145
5	Zusammenfassung und Ausblick	149
6	Abkürzungsverzeichnis	153
7	Literaturverzeichnis	157

Anhang

A1 Entwicklungsrelevante Informationen	A-1
A2 Überblick der Grundkonstrukte	A-5
A2.1 Partialmodell Unternehmensumfeld	A-5
A2.2 Partialmodell Unternehmen	A-6
A2.3 Partialmodell Marktleistung	A-7

1 Einleitung

„Wer das Ziel kennt, kann entscheiden; wer entscheidet, kann verbessern.“

– KONFUZIUS

Die vorliegende Arbeit adressiert modellbasierte Entwicklungsaufträge. Ein aussagekräftiger und präziser Entwicklungsauftrag, der im Dialog aller Beteiligten entstanden ist, bildet die Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Wirken in der Entwicklung. Vor diesem Hintergrund zeigt die entwickelte Systematik ein Vorgehen zur systematischen Erarbeitung von modellbasierten Entwicklungsaufträgen.

Die Abschnitte 1.1 und 1.2 stellen die Problematik und die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit dar. Abschnitt 1.3 gibt einen Überblick über den Aufbau der Arbeit.

1.1 Problematik

Die Erzeugnisse der Zukunftsbranche Maschinenbau sowie verwandter Branchen wie die Automobilindustrie, Elektroindustrie und Medizintechnik beruhen bereits heute auf einem engen Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik und Softwaretechnik. Dies kommt durch den Begriff Mechatronik zum Ausdruck [DHK+09, S. 1f.], [GDS+13, S. 13], [GEA16 S. 9ff.]. Die dynamische Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik und gleichzeitige Bündelung von Produkt und Dienstleistung eröffnen eine Vielzahl faszinierender Geschäftsmöglichkeiten; beispielhaft sei an dieser Stelle die Erweiterung des Produktportfolios um digitale Dienstleistungen genannt [BDI16, S. 2], [BIT14, S. 8f.], [PH14, S. 35]. Unternehmen müssen diese Geschäftsmöglichkeiten nutzen, um sich im Innovationswettbewerb nachhaltig eine vorteilhafte Position zu sichern [BD13, S. 13], [BD16, S. 2], [GDJ+16, S. 7ff.], [VM14, S. 26ff.].

Die Planung und Entwicklung derartiger Systeme sowie entsprechender Dienstleistungen gestaltet sich schwierig: Die Weichen für den Erfolg einer Marktleistung werden bereits sehr früh im Rahmen der Strategischen Planung gestellt – die eigentliche Umsetzung erfolgt jedoch erst in der Entwicklung [AG12, S. 17ff.], [WEG+15, S. 152]. Bei der Gestaltung von zukunftsrobusten Marktleistungskonzepten wird somit die zielorientierte Zusammenarbeit der involvierten Akteure aus den Bereichen Strategische Planung und Entwicklung zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor [GS13, S. 5], [GW16, S. 20ff.], [SGB03, S. 162].

Diese Aussage ist grundsätzlich nicht neu; Unternehmen waren schon immer gut beraten, Marktleistungskonzepte auf den Markt zu bringen, die sowohl aus technischer als auch marktorientierter Sicht Erfolg versprechend sind. Bisher hatte jedoch die Technik stets eine höhere Priorität [GS13, S. 8ff.], [GW16, S. 20], [SE08, S. 1ff.]. Vor dem Hintergrund stetig steigender Komplexität der Erzeugnisse, dem hohen Innovationsbedarf sowie der notwendigen Effizienzsteigerung im Rahmen des Marktleistungsentstehungs-

prozesses avanciert die integrative Betrachtung der Strategischen Planung und der Entwicklung jedoch zu einer gewichtigen Voraussetzung für den Geschäftserfolg [GW16, S. 20], [Tee10, S. 183], [VM16, S. 18f.].

Das zentrale Kommunikationsinstrument zwischen diesen beiden Bereichen ist der Entwicklungsauftrag [WG16, S. 58ff.]. Vor dem Hintergrund einer zielorientierten Zusammenarbeit zwischen der Strategischen Planung und Entwicklung wird ihm eine besondere Rolle zuteil: Er repräsentiert eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Marktleistungsentstehung und muss ein umfassendes Verständnis der Entwicklungsaufgabe vermitteln [WDG14, S. 123], [WDG15, S. 1].

Empirische Untersuchungen zeigen: Die in der klassischen Konstruktionslehre propagierte Anforderungsliste wird diesem Anspruch nicht gerecht. Die bereitgestellten Anforderungslisten und Lastenhefte werden von den Entwicklern als unzureichend empfunden. Ihnen fehlen Zusatzinformationen wie z.B. das Nutzenversprechen des Produkts [GW16, S. 20ff.], [WG16, S. 59f.]. Diese strategischen Begleitinformationen sind von hoher Bedeutung. Um zielorientiert arbeiten zu können, haben Entwickler das Bedürfnis, die Hintergründe für das Zustandekommen einer Anforderung zu erfahren. Die Bereitstellung derartiger Informationen ist wichtig für die Akzeptanz eines Entwicklungsauftrags und entscheidend für die Intensität der Hinwendung zu der damit verbundenen Entwicklungsaufgabe [EM13, S. 391ff.], [WDG14, S. 123], [WDG15, S. 1].

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die bereichsorientierte Denkweise in der Praxis. Dies ist in der Regel auf die unterschiedlichen Ausbildungshintergründe zurückzuführen; als Folge werden grundlegend unterschiedliche Sprachen gesprochen. Eine zielorientierte Zusammenarbeit erfordert jedoch eine gemeinsame Sprache. Die Verwendung von Modellen als Kommunikationsgrundlage ist in einzelnen Fachdisziplinen wie z.B. der Mechanik und Softwaretechnik sowie fachdisziplinübergreifend im Bereich des Model-Based Systems Engineering bereits etablierter Standard [WDG14, S. 123], [WDG15, S. 1], [WG16, S. 61ff.]. Beim Model-Based Systems Engineerings (MBSE) wird ein Modell in den Mittelpunkt der Entwicklung gerückt; die Beschreibung des sog. Systemmodells erfolgt mittels Modellierungssprachen. Es ermöglicht eine ganzheitliche interdisziplinäre Betrachtung und unterstützt das Systemdenken [FMS12, S. 15ff.], [GDS+13, S. 36f.].

Durch den Einsatz von Modellen wird die Kommunikation und Kooperation der verschiedenen Fachdisziplinen, wie z.B. der Mechanik und der Softwaretechnik gefördert. Im Rahmen der sich anschließenden fachdisziplinspezifischen Konkretisierung dient das Systemmodell zur Orchestrierung der involvierten Fachdisziplinen. Somit ist das Systemmodell Dreh- und Angelpunkt zur Sicherung der Modellkonsistenz in der Produktentwicklung [Alt12b, S. 19ff.], [Kai14, S. 22ff.], [Wei06, S. 6ff.]. Die Strategische Planung ist in diesem modellbasierten Vorgehen bisher nicht berücksichtigt. Eine durchgängige Modellbildung kann jedoch einen wesentlichen Beitrag zur Verknüpfung von Planungs- und Entwicklungstätigkeiten ermöglichen. Hierbei muss der Rückgriff auf eine gemeinsame Sprache mit einer eingängigen grafischen Notation gefördert wer-

den und die Benutzungsfreundlichkeit durch geeignete Werkzeuge im Vordergrund stehen.

Fazit

Moderne mechatronische Systeme und die integrative Betrachtung von Dienstleistungen eröffnen eine Vielzahl an Geschäftsmöglichkeiten, jedoch steigt die Komplexität bei der Planung und Entwicklung derartiger Systeme. Grundvoraussetzung für eine effektive und effiziente Umsetzung Erfolg versprechender Marktleistungskonzepte ist ein klarer Entwicklungsauftrag. Hierbei ist eine ganzheitliche Abbildung der entwicklungsrelevanten Informationen erforderlich. Gleichzeitig muss eine gemeinsame Sprache die bereichsübergreifende Kommunikation und Kooperation unterstützen. Es bedarf somit einer durchgängigen Systematik zur Entwicklung von modellbasierten Entwicklungsaufträgen, die den genannten Herausforderungen gerecht wird.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge. Die Systematik umfasst eine Modellierungssprache, eine Methode zur Anwendung der Sprache und eine Werkzeugunterstützung. Unternehmen werden durch die Systematik in die Lage versetzt, alle entwicklungsrelevanten Informationen für eine Entscheidung zugrunde zu legen und den Entwicklungsauftrag als Kommunikations- und Kooperationsplattform einzusetzen. Im Fokus der Betrachtung steht sowohl die Planung und Entwicklung von Produkten als auch von Dienstleistungen. Die Systematik richtet sich demnach an Akteure der Strategischen Planung sowie Produkt-, Dienstleistungs-, und Produktionssystementwickler gleichermaßen.

Konkret werden dem Gedanken des MBSE folgend, die in der Strategischen Planung erarbeiteten Informationen und Zusammenhänge mittels Konstrukten einer Modellierungssprache abgebildet. Auf diesem Weg werden Ursache-Wirkungs-Gefüge vom Unternehmensumfeld über das Unternehmen bis hin zur geplanten Marktleistung abgebildet. Hierdurch können wiederum technische Implikationen der Marktleistung mit Wettbewerbsstrategien und strategischen Rahmenbedingungen abgeglichen werden. Die Erarbeitung der Anforderungen erfolgt integrativ. Durch die stetige Vernetzung der Informationen aus der Strategischen Planung mit konkreten Anforderungen können Hintergrundinformationen bereitgestellt werden. Resultat der Systematik ist ein ganzheitlicher und mit allen Beteiligten abgestimmter modellbasierter Entwicklungsauftrag.

1.3 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit ist in fünf Kapitel untergliedert. Im folgenden **Kapitel 2** wird die in Abschnitt 1.1 dargelegte Problematik präzisiert. Hierzu werden eingangs wesentliche Begriffe definiert und abgegrenzt. Nachfolgend werden mechatronische Systeme thematisiert und die wesentlichen Herausforderungen bei ihrer Planung und Entwick-

lung dargelegt. Es schließt sich eine Einordnung der Systematik in das Referenzmodell der Strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER an. Anschließend wird der Entwicklungsauftrag im Spannungsfeld zwischen Strategischer Planung und Entwicklung diskutiert; ferner wird das Thema Systems Engineering adressiert und Herausforderungen bei der Definition von Entwicklungsaufträgen in der Praxis dargelegt. Die Betrachtungen erlauben die Ableitung von Anforderungen an die Systematik.

Kapitel 3 beinhaltet den Stand der Technik. Zunächst werden Ansätze zur Planung und Entwicklung von Marktleistungen betrachtet. Nachfolgend geht es um Alternativen zur Spezifikation von Entwicklungsaufträgen. Zusätzlich werden Ansätze zur Modellbildung vorgestellt. Eine Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der Anforderungen erlaubt die abschließende Ableitung des Handlungsbedarfs.

Gegenstand von **Kapitel 4** ist die Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge. Zu Beginn wird ein Überblick über die Systematik gegeben. Es schließt sich eine Darstellung von Struktur und Inhalt des Entwicklungsauftrags an. Im Folgenden werden die Bestandteile der Systematik Modellierungssprache, Methode und Werkzeug vorgestellt; zum besseren Verständnis erfolgt die Erläuterung anhand eines Validierungsbeispiels. Das Kapitel endet mit einer Bewertung der Systematik vor dem Hintergrund der Anforderungen aus Kapitel 2.

Kapitel 5 beinhaltet eine Zusammenfassung der Arbeit und einen Ausblick auf künftige Forschungsfragen im Themenfeld modellbasierte Entwicklungsaufträge.

2 Problemanalyse

Ziel der Problemanalyse sind Anforderungen an eine Systematik zur modellbasierten Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen. Dazu werden in Abschnitt 2.1 wesentliche Begriffe der Arbeit definiert und abgegrenzt. In der vorliegenden Arbeit stehen mechatronische Systeme im Fokus der Betrachtung, daher werden in Abschnitt 2.2 die Charakteristika mechatronischer Systeme skizziert. Ferner wird aufgezeigt, welche Herausforderungen bei der Entwicklung derartiger Systeme existieren. Anschließend wird in Abschnitt 2.3 das Referenzmodell der Strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen vorgestellt und der Entwicklungsauftrag als zentrales Kommunikationsinstrument zwischen den beiden Bereichen eingeordnet. Diesem Grundgedanken folgend, beschäftigt sich der Abschnitt 2.4 mit dem Spannungsfeld zwischen Strategischer Planung und Entwicklung aus theoretischer und praktischer Sicht. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Multidisziplinarität im Rahmen der Entwicklung wird in Abschnitt 2.5 das Thema Systems Engineering adressiert. Abschnitt 2.6 beschäftigt sich mit den wesentlichen Herausforderungen bei der Definition von Entwicklungsaufträgen. Die Abschnitte 2.1 bis 2.6 erlauben schließlich die Ableitung von Anforderungen in Abschnitt 2.7.

2.1 Begriffsabgrenzungen

In den Abschnitten 2.1.1 bis 2.1.4 werden die zentralen Begriffe dieser Arbeit abgegrenzt. Hierdurch wird ein einheitliches Verständnis der in der Literatur z.T. kontrovers diskutierten Begriffe geschaffen. Dabei erhebt dieser Abschnitt keinen Anspruch auf eine vollständige Diskussion der Literatur.

2.1.1 Komplexität und Komplexitätstreiber

„Noch niemals in der Vergangenheit ist eine Gesellschaft so von Komplexität geprägt gewesen wie heute“ [Zer14, S. 5].

In jüngster Vergangenheit ist das gesellschaftliche Umfeld aufgrund der dynamischen Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie der stets intensiver werdenden globalen Vernetzung immer weniger überschaubar. Mit zunehmender Häufigkeit wird in diesem Zusammenhang sogar von einem Komplexitätschaos gesprochen [Sch14a, S. 2], [Zer14, S. 5]. Der Komplexitätsanstieg ist in allen wirtschaftlichen, technischen, politischen wie auch sozialen Bereichen zu beobachten [Sch14b, S. 14]. Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass der Begriff Komplexität zu einem Modewort avanciert ist und in allen Bereichen inflationär verwendet wird [SM11, S. 22ff.].

In der Regel werden mit dem Begriff **Komplexität** Systeme, Situationen, Entscheidungen u.v.m. umschrieben, die in ihren Verflechtungen und Wirkungen kaum zu überbli-

cken sind. In der Literatur findet sich keine einheitliche Definition des Begriffs Komplexität [Kla03, S. 6], [KLS-ol], [Mal08, S. 7], [RD04, S. 623ff.], [Sch10, S. 482f.], [Sch14a, S. 2], [SM11, S. 22ff.], [UP91, S. 27ff.]. Etymologisch betrachtet, geht der Begriff Komplexität auf das lateinische *complexus* zurück und meint umfassend, umschlungen oder verflochten im Sinne von zusammengesetzt oder ineinandergreifend [Köb95, S. 226], [Pat82, S. 22]. In Anlehnung an die Systemtheorie bezeichnet Komplexität eine Systemeigenschaft, die sich aus der Anzahl und Vielfalt an Systemelementen, deren Verbindungen und Interdependenzen sowie der Veränderlichkeit der Elemente, Verbindungen und Interdependenzen über die Zeit ergibt (vgl. Abschnitt 2.1.2) [McF69, S. 16].

Die Ursachen für die vorherrschende Komplexitätssteigerung sind vielfältig; SCHOENBERG folgend lassen sich beliebig viele **Komplexitätstreiber** finden [Sch14b, S. 16]. In der unternehmerischen Praxis kann grundsätzlich zwischen externer und interner Komplexität unterschieden werden [Blo10, S. 16], [LMB08, S. 26ff.]. DUNCAN folgend umfasst die *unternehmensexterne Komplexität* die Gesamtheit der Faktoren, die ein Unternehmen im Zuge seiner Entscheidungen berücksichtigt. Konkret sind das die Bereiche: Abnehmer, Zulieferer, Konkurrenz, Gesellschaft und Politik sowie Technologien [Blo10, S. 16], [Dun72, S. 314f.]. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Nachfragekomplexität oder die Wettbewerbskomplexität genannt [Blo10, S. 16f.], [Sch14b, S. 16ff.]. *Unternehmensinterne Komplexität* resultiert aus der Vielzahl, Vielfalt, Interdependenz und Veränderlichkeit von Elementen auf verschiedenen Dimensionen, wie z.B. die Produkt- und Prozesskomplexität [Blo10, S. 18ff.], [Sch14b, S. 16ff.].

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Aufgrund der genannten Vielschichtigkeit der Komplexitätsaspekte müssen Unternehmen besonderen Wert auf eine ganzheitliche und integrierte Problembetrachtung legen. Im Sinne der Systemtheorie liegt das *Komplexitätsoptimum* allerdings nicht in einer geringen Komplexität, sondern in einer der Situation angepassten [Ble71, S. 174], [Kai95, S. 102f.], [Sch05, S. 42f.]. Im Optimum hat der Grad der externen Komplexität dem der Internen zu entsprechen [Rei93, S. 57], [Sch05, S. 42f.]. Ist das Gleichgewicht nicht gegeben, sind entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Diese können sowohl in der Verringerung oder auch in der Anreicherung der strukturellen Komplexität liegen [LF97, S. 315], [Sch05, S. 42f.]. Die Grundvoraussetzung ist dabei eine interdisziplinäre und abteilungsübergreifende Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure [Sch05, S. 31f.].

Komplexität repräsentiert eine Eigenschaft eines Systems. Vor diesem Hintergrund ist ein einheitliches Verständnis des Systembegriffs erforderlich.

2.1.2 System, Systemstruktur und Systemdenken

Der Begriff **System** leitet sich aus dem Griechischen *systema* ab und steht für ein aus mehreren Teilen zusammengesetztes, gegliedertes Gebilde [Dud16a-ol]. Diesem Grundgedanken folgend besteht ein System aus einer Menge (im mathematischen Sin-

ne) von Elementen, die über Beziehungen miteinander verbunden sind [Ber72, S. 18], [Dae76, S. 4ff.], [DIN60050, S. 11], [For72, S. 1], [KSW13, S. 350], [Mül00, S. 48], [Pat82, S. 18ff.], [UP91, S. 30]. *Systemelemente* werden durch die Zuordnung von Eigenschaften gekennzeichnet [TBN+13, S. 43]. Ist ein Zusammenhang zwischen den Eigenschaften von zwei verschiedenen Elementen gegeben, so liegt eine Beziehung zwischen den Elementen vor. Solche Beziehungen werden als *Systemrelationen* bezeichnet. Dabei werden zwei Arten von Systemrelationen unterschieden: Ordnungsbeziehungen und Wirkzusammenhänge (vgl. Bild 2-1) [Pat82, S. 19], [TBN+13, S. 43].

Während bei den *Ordnungsbeziehungen* eine Struktur von Systemelementen hergestellt wird, entspricht bei den *Wirkzusammenhängen* ein Output eines Elements immer einem Input eines anderen Elements. In beiden Fällen handelt es sich um gerichtete Beziehungen; die Richtung zeigt das Abhängigkeitsverhältnis [TBN+13, S. 43].

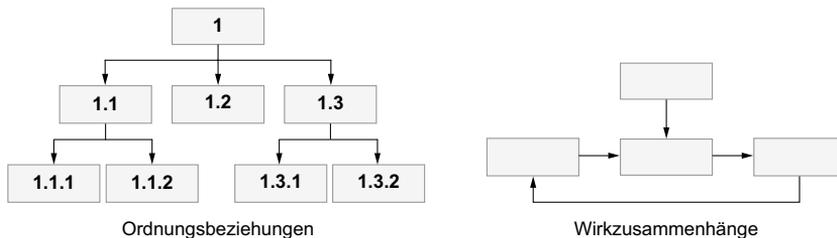


Bild 2-1: *Ordnungsbeziehungen und Wirkzusammenhänge in Anlehnung an [TBN+02, S. 43]*

Die Menge aller Systemelemente und Systemrelationen wird als **Systemstruktur** bezeichnet [Rop75, S. 28], [TBN+02, S. 44]. Welche Elemente zu einem System gehören und welche Elemente außerhalb des Systems liegen, wird durch die sog. Systemgrenze definiert (vgl. Bild 2-2). Elemente der Umwelt werden in logischer Konsequenz als *Umweltelemente* bezeichnet. Die *Systemgrenze* ist eine positive (einschließende) Abgrenzung zur Umwelt und umfasst das System vollständig [DIN60050, S. 11], [Kri96, S. 13], [RW02, S. 24], [TBN+02, S. 44]. Die Definition einer Systemgrenze ist das Ergebnis eines subjektiven Betrachtungsprozesses. Somit kann festgehalten werden, dass die Systemgrenze eine mehr oder weniger willkürliche Abgrenzung zwischen dem System und seiner Umwelt darstellt [Fuc02, S. 14], [HWF+12, S. 34]. Innerhalb der Systemgrenze existiert jedoch ein größeres Maß an Beziehungen als zwischen dem System und seiner Umwelt [Fuc02, S. 15]. Systemelemente mit direktem Bezug zur Umwelt bzw. Umweltelemente mit direktem Bezug zum System werden als *Randelemente* bezeichnet. Isolierte Elemente ohne jegliche Relation zu anderen Elementen können somit nicht Bestandteil eines Systems sein [Rop75, S. 28], [TBN+02, S. 44].

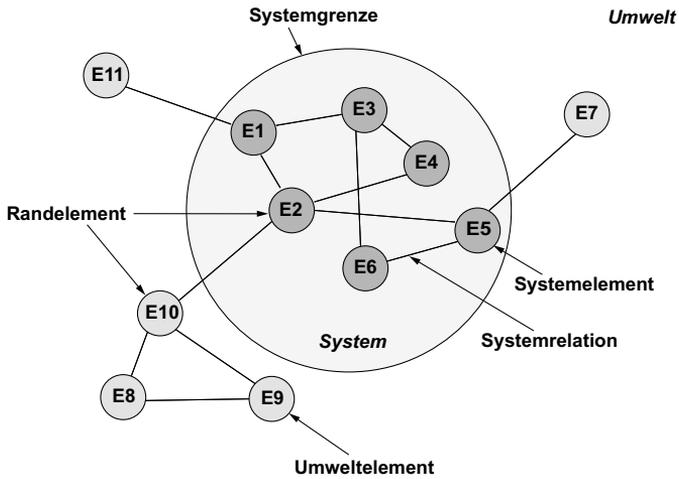


Bild 2-2: Struktur eines Systems in Anlehnung an [HWF+12, S. 33ff.], [TBN+02, S. 44]

Aus der Vielfalt, Vielzahl und Größe der verschiedenen Elemente sowie aus der Dynamik und Veränderbarkeit der Relationen resultiert der Grad der Systemkomplexität (vgl. Abschnitt 2.1.1). Durch Aufspannen eines Portfolios mit den beiden Achsen resultieren ULRICH und PROBST folgend vier *Systemtypen* (vgl. Bild 2-3) [UP95, S. 66]:

- *Einfache Systeme* bestehen aus einer geringen Anzahl und Vielfalt von Systemelementen; die Relationen zwischen den Elementen sind statisch.

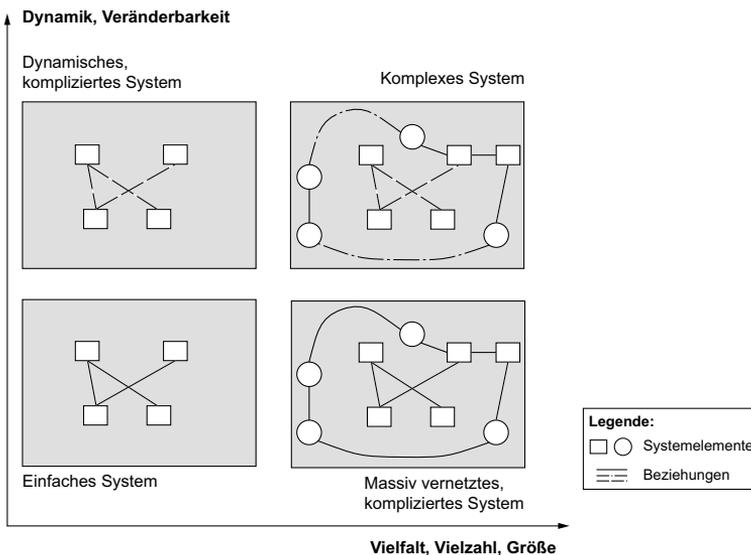


Bild 2-3: Systemtypen in Anlehnung an [UP95, S. 66]

- Bei *massiv vernetzten, komplizierten Systemen* liegt eine hohe Anzahl verschiedener Systemelemente vor; die Beziehungen zwischen den Elementen sind statisch.
- Das *dynamisch, komplizierte System* zeichnet sich durch eine geringe Anzahl und Vielfalt von Systemelementen aus; die Relationen zwischen den Elementen sind dynamisch.
- *Komplexe Systeme* liegen vor, wenn eine hohe Anzahl, Vielfalt und Größe von Systemelementen mit dynamischen Beziehungen untereinander vorliegt.

Jedes System lässt sich aus unterschiedlichen Gesichtspunkten – gewissermaßen durch eine Art Filter – betrachten und beschreiben (vgl. Bild 2-4). Dadurch treten bestimmte Eigenschaften bzw. Merkmale von Elementen und deren Beziehungen in den Vordergrund. Bei dieser Art der Betrachtung und Beschreibung stehen einzelne Aspekte eines Systems im Fokus [HWF+12, S. 39].

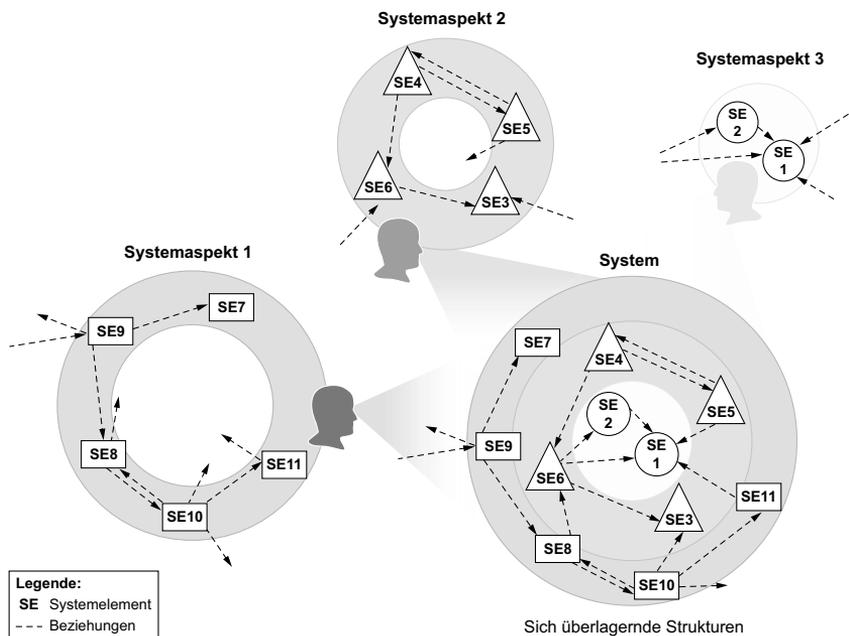


Bild 2-4: Aspekte eines Systems in Anlehnung an [HFW+12, S. 39]

Steht hingegen das gesamte System im Mittelpunkt der Betrachtung wird vom **Systemdenken** gesprochen: Das Denken in Systemen repräsentiert die Abkehr von der isolierten Lösungsfindung und fördert die Sicht auf das gesamte System; dadurch wird ein besseres Verständnis von komplexen Systemen ermöglicht [HWF+12, S. 33]. Ein wesentliches Prinzip des Systemdenkens ist die Veranschaulichung komplexer Systeme

durch eine modellhafte Abbildung [Che81, S. 4], [HWF+12, S. 41], [Vaß15, S. 43]. Vor diesem Hintergrund ist ein einheitliches Verständnis des Modellbegriffs erforderlich.

2.1.3 Modell, Modellbildung und Modellierungssprache

In den Ingenieurwissenschaften spielen Modelle eine wesentliche Rolle: Sie repräsentieren das zentrale Kommunikationsinstrument [Win11, S. 4]. In der Literatur herrscht ein vielfältiges Verständnis des Begriffs Modell [Sto69, S. 17]. Je nach Anwendungskontext sind verschiedene Definitionen möglich¹, z.B. mathematische Modelle oder Modelle in Architektur. Im Allgemeinen ist ein **Modell** eine vereinfachte Abbildung der Realität [Kos61, S. 321], [Pat82, S. 306]. Nach STACHOWIAK werden Modelle durch die folgenden drei Merkmale charakterisiert [Sta73, S. 131ff.]:

- 1) *Abbildungsmerkmal*: Jedes Modell ist eine Repräsentation (ein Abbild) eines Originals – das Original kann dabei selbst wieder ein Modell sein [Sta73, S. 132].
- 2) *Verkürzungsmerkmal*: Modelle erfassen nicht alle Attribute des Originals, sondern nur solche, die dem Modellierer und/oder Modellnutzer relevant erscheinen [Sta73, S. 132].
- 3) *Pragmatisches Merkmal*: Ein Modell wird immer für einen bestimmten Zweck erstellt [Sta73, S. 133].

Modelle können somit zur Abbildung komplexer Systemzusammenhänge dienen, indem sie lediglich die relevanten Ausschnitte der betrachteten Realität abbilden – also die Realität abstrahieren und vereinfachen.

PATZAK folgend muss ein Modell den folgenden Anforderungen gerecht werden: So muss ein Modell *empirisch richtig* sein, d.h. eine entsprechende Übereinstimmung mit der Realität besitzen. Es muss *formal richtig* sein, also widerspruchsfrei und formal einwandfrei. Ein Modell sollte dem Modellierungszweck entsprechen, also *produktiv* sein. Zudem sollte es *handhabbar* und seine Erstellung, Anwendung und Pflege *nicht aufwendig* sein. Die aufgeführten Anforderungen sind konfliktär – ein Kompromiss ist erforderlich [Pat82, S. 309]. Eine zielgerichtete Modellbildung erfolgt daher vor dem Hintergrund der Fragestellung *für wen, wann* und *wozu* ein Modell gebildet wird [Sta73, S. 196].

Im Rahmen der **Modellbildung** wird ein reales oder gedachtes System in eine explizite Darstellung überführt [Sch98, S. 47], [Win03, S. 89]. Basierend auf den Modelleigenschaften nach STACHOWIAK lässt sich der Prozess der Modellbildung in die Phasen *Projektion*, *Abstraktion* und *Übersetzung* unterteilen [Kur09, S. 13ff.] (vgl. Bild 2-5).

¹ Eine umfassende Übersicht etablierter Definitionen liefert [Kos61].

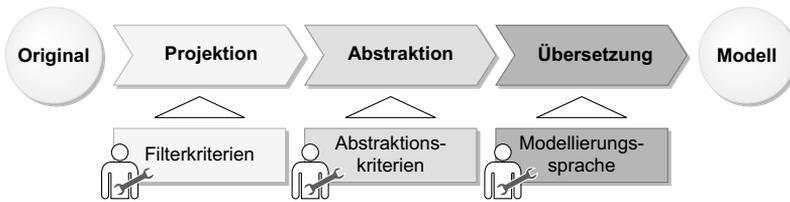


Bild 2-5: Prozess der Modellbildung in Anlehnung an [Kur09, S. 13]

Im Rahmen der *Projektion* wird das Originalsystem reduziert: Mit Hilfe von Filterkriterien werden modellrelevante Elemente und Beziehungen identifiziert und vollständig abgebildet. Es resultiert das reduzierte System [Gur98, S. 298ff.], [Küh06, S. 371].

Die *Abstraktion* stellt eine Informationsverdichtung dar. Unter Zuhilfenahme von Abstraktionskriterien erfolgt eine Verallgemeinerung von äquivalenten Elementen und Beziehungen des reduzierten Systems. Das Ergebnis dieser Phase ist ein abstrahiertes System [Küh06, S. 371], [Lep07, S. 179ff.].

Abschließend wird in der Phase *Übersetzung* das abstrahierte System in ein Modell überführt. Unter Verwendung einer Modellierungssprache werden die abstrahierten Informationen in Form eines Modells beschrieben [Küh06, S. 371].

Eine **Modellierungssprache** ist ein Zeichensystem zum Zwecke der Kommunikation [Eng16-ol]. Die Entwicklung einer Modellierungssprache erfolgt durch die Definition von Syntax und Semantik [Eng16-ol], [HR00, S. 3ff.], [PM06, S. 19ff.], [Poh07, S. 279 u. S. 667 u. S. 702ff.]. Bild 2-6 veranschaulicht die Bestandteile einer Modellierungssprache sowie ihre Beziehung untereinander.

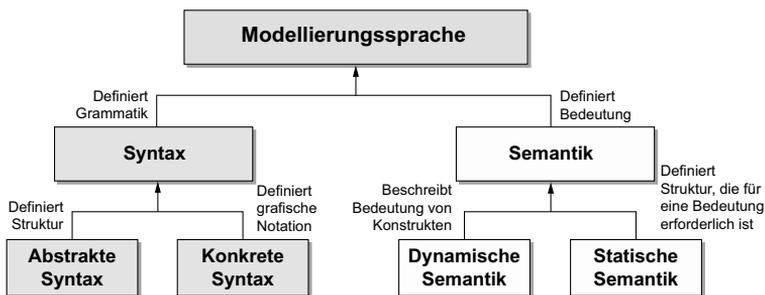


Bild 2-6: Bestandteile einer Modellierungssprache in Anlehnung an [KK02, S. 184], [Bra07, S. 16]

Die *Syntax* beschreibt die Zeichen bzw. Symbole, aus denen sich eine Modellierungssprache zusammensetzt und legt die Regeln fest, nach denen die einzelnen Zeichen zu gültigen Aussagen kombiniert werden können. Beide Aspekte sind Teil der abstrakten Syntax. Die konkrete Syntax legt die Darstellungsform bzw. grafische Notation der ein-

zelen Zeichen fest. Diese hat einen wesentlichen Einfluss auf die spätere Akzeptanz der Modellierungssprache [JWK+08, S. 5ff.], [KK02, S. 184ff.], [Moo09, S. 756ff.].

Unter der *Semantik* wird die inhaltliche Bedeutung der Zeichen verstanden. Die dynamische Semantik legt fest, auf welche Elemente der zu repräsentierenden Originalwelt sie sich beziehen. Auf diese Weise wird eine Verbindung zwischen Zeichen des Modells und bezeichneten Elementen in der Originalwelt geschaffen (statische Semantik) [KK02, S. 184ff.].

Die Spezifikation der abstrakten Syntax und der statischen Semantik erfolgt in einem sog. Metamodell² [SVE07, S. 29]. Die konkrete Syntax wird separat beschrieben und den Modellkonstrukten der abstrakten Syntax zugeordnet. Die dynamische Semantik wird in Textform oder logisch mit Hilfe von Formeln oder anderen mathematischen Symbolen definiert. Die Unterscheidung zwischen formalen, semiformalen und informalen Sprachen bezieht sich auf den Formalisierungsgrad der Syntax und der Semantik. Erst wenn beide formal durch eine Grammatik beschrieben werden, wird von einer formalen Sprache gesprochen [Kro12, S. 109]. Dies ist jedoch selbst in der Informatik lediglich in Sonderfällen gegeben [Bal09, S. 53ff.], [Kai14, S. 35].

2.1.4 Lasten- und Pflichtenheft, Entwicklungsauftrag und Anforderungsliste

Ausgangspunkt des Entwicklungsprozesses ist eine Aufgabenstellung [EM13, S. 319], [FGN+13, S. 303ff.], [VDI2206, S. 29], [VDI2221, S. 8f.]. In der unternehmerischen Praxis hat die Aufgabenstellung eine Vielzahl unterschiedlicher Bezeichnungen: Von der Kundenspezifikation über die Anforderungsliste, Pflichten- und Lastenheft bis zum Entwicklungsauftrag sind viele Formulierungen gebräuchlich sowie verschiedene Interpretationen möglich [Bro03, S. 208ff.]. Vor diesem Hintergrund werden die häufig genannten Begriffe nachfolgend definiert und voneinander abgegrenzt.

Das **Lastenheft** beschreibt die Anforderungsspezifikation des Auftraggebers oder des Kunden. Gemäß DIN 69901-5 umfasst das Lastenheft eine ausführliche Beschreibung der Leistungen (z.B. technische, wirtschaftliche, organisatorische), die erforderlich sind, um die Ziele des zugrundeliegenden Projekts zu erreichen [DIN69901-5, S. 9]. Die DIN 2519 ergänzt diese Ausführungen und definiert das Lastenheft als die *Zusammenstellung aller Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich Liefer- und Leistungsumfang* [DIN2519-1, S. 2]. Somit beschreibt das Lastenheft das „Was“ und „Wofür“ etwas gemacht wird. Die Beschreibung der Anforderungen erfolgt üblicherweise in natürlicher Sprache. Das Lastenheft dient in der Regel als Ausschreibungs-, Angebots-, und/oder Vertragsgrundlage; dementsprechend beinhaltet das Lastenheft noch keine Systemlö-

² Ein Metamodell repräsentiert die formalisierte Beschreibung einer Modellierungssprache [SVE07, S. 29ff].

sung. Die angestrebte Lösung zur Erfüllung der Anforderungen wird im Pflichtenheft dargelegt [DIN2519-1, S. 2].

Das **Pflichtenheft** beschreibt in konkreter Form, wie der Auftragnehmer die Anforderungen des Auftraggebers erfüllen möchte. Das Pflichtenheft enthält den realisierbaren Teil des Lastenhefts. Durch das Festlegen der Anforderungen werden erste Architekturentscheidungen getroffen. Somit umfasst das Pflichtenheft eine erste Systemspezifikation und beantwortet die Frage nach dem „Wie“ und „Womit“. Das Pflichtenheft ist in der Regel wesentlicher Bestandteil des Vertrags zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber [DIN2519-1, S. 3], [DIN69901-5, S. 10].

Nach dem Vertragsabschluss wird die Aufgabenstellung in Form eines **Entwicklungsauftrags** an die Entwicklung herangetragen [FGN+13, S. 320f.]. Somit repräsentiert der Entwicklungsauftrag die Schnittstelle zwischen der strategischen Produktplanung und der Entwicklung [GP14, S. 25f.]. Er umfasst eine marktorientierte Produktspezifikation sowie Randbedingungen für die Entwicklung wie bspw. Stückzahlen, Herstellkosten, Entwicklungszeit und -kosten [EM13, S. 388ff.], [FGN+13, S. 320f.], [GP14, S. 25f.]. Das bedeutet, dass der Entwicklungsauftrag das Pflichtenheft um alle Tätigkeiten, Aufgaben und Bedingungen erweitert, die die Entwicklungsabteilungen zur Erfüllung der Anforderungen aus dem Pflichtenheft leisten muss [Bro03, S. 210f.], [Sch12, S. 403]. In der Regel haben die Produkte Vorgänger – sie werden also nicht vollständig neu entwickelt, sondern stellen Weiterentwicklungen und Varianten dar. Diesem Grundgedanken folgend beantwortet der Entwicklungsauftrag zusätzlich die folgenden Fragen (vgl. Bild 2-7) [Bro03, S. 210f.]:

- 1) „Welche Bestandteile des Vorgängerprodukts können erhalten bleiben?“
- 2) „Welche Bestandteile des Vorgängerprodukts werden nicht mehr benötigt und müssen abgeschafft werden?“
- 3) „Welche Bestandteile sind neu zu entwickeln?“

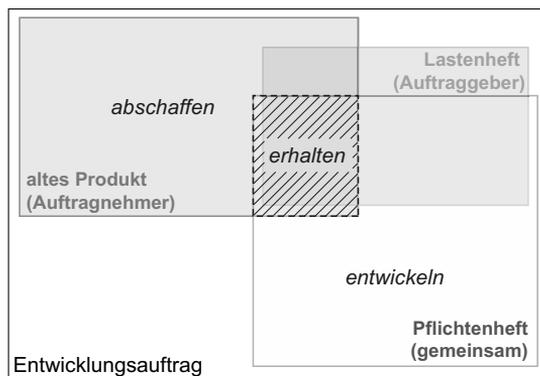


Bild 2-7: Lastenheft, Pflichtenheft und Entwicklungsauftrag in Anlehnung an [Bro03, S. 210]

Auf Basis des Entwicklungsauftrags werden in der Entwicklungsabteilung lösungsspezifische Produktanforderungen spezifiziert. Ergebnis dieser Präzisionsphase ist die **Anforderungsliste** [FGN+13, S. 319f.]. Die Anforderungsliste umfasst alle bisher bekannten Anforderungen in tabellarischer Form. Sie ist ein lebendes Dokument, deren Konkretisierungsgrad und Umfang im Laufe der Entwicklung immer weiter zunimmt [Ehr07, S. 365]. Die Bedeutung der Anforderungsliste wird in Unternehmen oft unterschätzt [Sch00, S. 3]. Anforderungen werden häufig auf einem generischen Niveau beschrieben; Mängel werden daher nicht selten erst zu einem späten Zeitpunkt im Prozess identifiziert – an dieser Stelle sind Änderungen jedoch mit hohen Kosten verbunden [Ehr07, S. 614], [FGN+13, S. 320f.]. Vor diesem Hintergrund fordern FELDHUSEN ET AL. eine frühzeitige Ermittlung von Anforderungen; auf diesem Weg sollen Nacharbeiten minimiert werden [FGN+13, S. 321]. Diesem Grundgedanken folgend, definieren GAUSEMEIER ET AL. die Anforderungsliste als Bestandteil des Entwicklungsauftrags [GP14, S. 25ff.]. Diesem Verständnis wird in den nachstehenden Ausführungen gefolgt.

2.2 Mechatronische Systeme

Der Maschinen- und Anlagenbau, die Automobilindustrie und die Elektroindustrie gehören zu den fünf größten Industriezweigen Deutschlands; sie erwirtschaften ca. 40% des Gesamtumsatzes im verarbeitenden Gewerbe [VM14, S. 7]. Die Erzeugnisse dieser Branchen beruhen auf einem engen Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik – der Begriff Mechatronik bringt dies zum Ausdruck [Gau10, S. 15], [GDS+13, S. 13], [GFZ+07, S. 1ff.], [GEK01, S. 27], [GTS14, S. 9ff.]. Den Kern der heute existierenden Definition des Begriffs Mechatronik liefern HARASHIMA ET AL.: Sie beschreiben Mechatronik erstmalig als das synergetische Zusammenwirken der Fachdisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik beim Entwurf und der Herstellung industrieller Erzeugnisse [HTF96]. Dieser Definition schließt sich auch die VDI-Richtlinie 2206 an [VDI2206, S. 14].

Die Vielfalt mechatronischer Systeme ist groß [GTS14, S. 26f.]. Trotzdem kann die Grundstruktur eines mechatronischen Systems auf vier Bestandteile zurückgeführt werden [GTS14, S. 27]. Bild 2-8 zeigt die Grundstruktur eines mechatronischen Systems, bestehend aus einem Grundsystem, Sensor(en), Aktor(en) sowie einer Informationsverarbeitung. Das **Grundsystem** ist das Kernelement der physikalischen Ebene. In der Regel handelt es sich um eine mechanische, elektromechanische, hydraulische oder pneumatische Struktur [GEK01, S. 27ff.], [GTS14, S. 27]. **Sensoren** erfassen sowohl ausgewählte Zustandsgrößen als auch äußere Einflüsse der Umgebung und übermitteln diese an die Informationsverarbeitung. Hauptaufgabe der **Informationsverarbeitung** ist die Ermittlung erforderlicher Reaktionsmaßnahmen, um den gewünschten Zustand des Grundsystems herzustellen. Die ermittelten erforderlichen Einwirkungen werden durch **Aktoren** am Grundsystem umgesetzt [FGD+07, S. 935ff.], [GEK01, S. 28f.], [Kah13, S. 12ff.], [VDI2206, S. 14ff.].

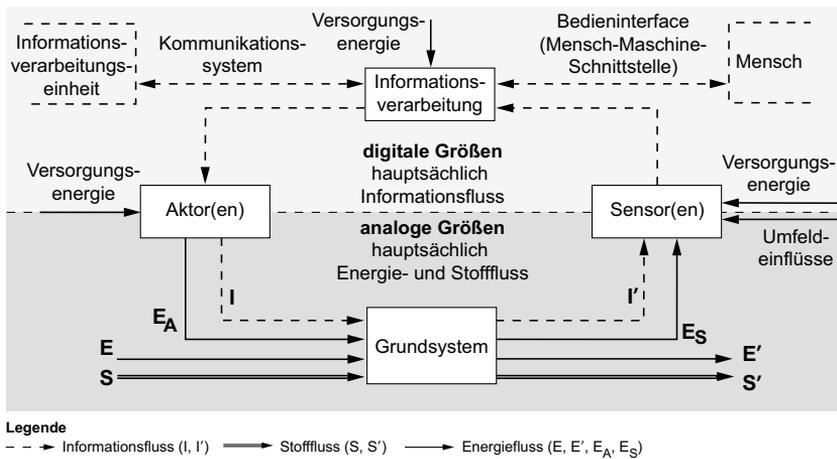


Bild 2-8: Grundstruktur eines mechatronischen Systems in Anlehnung an [GEK01, S. 32]

Grundsystem, Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitung sind in Anlehnung an PAHL/BEITZ durch drei Arten von Flüssen miteinander verbunden [Kah13, S. 12ff.], [PBF+07, S. 43]:

- **Stoffflüsse** beschreiben den Transport von Stoffen verschiedener Aggregatzustände (feste Körper, Flüssigkeiten oder Gase); aber auch verschiedener Granularität (z.B. Staub etc.), verschiedener Reifegrade (z.B. Rohprodukt, Bauteil, geprüfter oder behandelter Gegenstand, Endprodukt) oder Ähnlichem.
- **Energieflüsse** subsumieren Flüsse unterschiedlicher Energieformen, wie z.B. mechanische, elektrische, chemische, thermische, optische oder Kernenergie. Darüber hinaus gehören nicht stoffgebundene Flüsse, die die Energie eines Systemelements verändern können (wie z.B. Kraft, Strom oder Wärme) zu dieser Flussart.
- **Informationsflüsse** beschreiben den Austausch von bspw. Messgrößen, Daten oder Steuerimpulsen. In der Regel sind sie an Energieflüsse gebunden, da diese als Träger der Information fungieren.

Um die Leistungsfähigkeit mechatronischer Systeme weiter zu steigern, kommen immer höherwertigere regelungstechnische, informationstechnische und mathematische Verfahren zur Informationsgewinnung und -verarbeitung zum Einsatz. Die Systeme werden flexibler und ihr Verhalten erlangt zunehmend einen agierenden Charakter. Diese Art mechatronischer Systeme werden als *Intelligente Technische Systeme (ITS)* oder auch *Cyber-Physical-Systems (CPS)*³ bezeichnet [GDS+13, S. 13ff.], [Kah13, S. 12]. Ein

³ Cyber-Physical-Systems sind zentraler Baustein der Hightech-Strategie der Bundesregierung [Bun10].

Ende dieser Entwicklung ist nicht in Sicht: Die absehbare dynamische Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) eröffnet die Perspektive mechatronische Systeme mit inhärenter Teilintelligenz auszustatten und diese im Verbund miteinander kommunizieren zu lassen. Vier Eigenschaften charakterisieren diese Systeme [GDS+13, S. 13ff.], [GEA16, S. 9ff.]:

- **Adaptiv:** Sie interagieren mit dem Umfeld und passen sich diesem autonom an. So können sie sich zur Laufzeit in einem vom Entwickler vorgesehenen Rahmen weiterentwickeln und ihre Existenz langfristig sicherstellen.
- **Robust:** Sie bewältigen auch unerwartete und vom Entwickler nicht berücksichtigte Situationen in einem dynamischen Umfeld. Unsicherheiten oder fehlende Informationen können bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden.
- **Vorausschauend:** Auf der Basis von Erfahrungswissen antizipieren diese Systeme die künftigen Wirkungen von Einflüssen und mögliche Zustände. Hierdurch werden potentielle Gefahren frühzeitig erkannt und rechtzeitig die passenden Strategien zu ihrer Bewältigung ausgewählt und vollzogen.
- **Benutzungsfreundlich:** Sie passen sich dem spezifischen Benutzerverhalten an und stehen in einer bewussten Interaktion mit dem Benutzer. Dabei bleibt ihr Verhalten für den Benutzer stets nachvollziehbar.

Eine Steigerung der Intelligenz mechatronischer Systeme resultiert folglich aus der Verbesserung dieser Eigenschaften. Derartige Systeme können wesentlich zur Erhöhung der Ressourceneffizienz beitragen und ein hohes Maß an Verlässlichkeit⁴ sowie Resilienz bieten. Folgerichtig stellen sich produzierende Unternehmen darauf ein, zukünftig derartige Produkte anzubieten [GDS+13, S. 16]. Die prognostizierten Geschäftsmöglichkeiten mit zukünftigen mechatronischen Systemen sind faszinierend – denn ausgehend von den heutigen Systemen repräsentieren sie einen Innovationsprung, der Unternehmen die Möglichkeit bietet, sich vorteilhaft im Wettbewerb zu positionieren [GDJ+16, S. 7ff.], [GDS+13, S. 13ff.]. Dabei verschmilzt die physikalische Welt, in der diese Systeme agieren, mit der virtuellen Welt, über die die Systeme vernetzt sind und kommunizieren. Es resultiert eine stetig steigende Produktkomplexität (vgl. Bild 2-9).

Diese wird jedoch nicht adäquat kompensiert [GAC+13, S. 40ff.], [GDS+13, S. 16ff.]: Die Gegenüberstellung von Produktkomplexität und der Leistungsfähigkeit fachdisziplinspezifischer Methoden offenbart eine Lücke. Das deutet darauf hin, dass die etablierten fachdisziplinspezifischen Ansätze nicht in der Lage sind, die Herausforderungen, die mit der Planung und Entwicklung intelligenter mechatronischer Systeme einhergehen, zu bewältigen: Es sind neue, disziplinübergreifende Ansätze erforderlich, die be-

⁴ Der Begriff Verlässlichkeit umfasst die Aspekte Zuverlässigkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit und Vertraulichkeit [Lap92], [LAR+04, S. 13].

reits in den frühen Planungsphasen ein umfassendes Systemverständnis ermöglichen [VLR14, S. 1ff].

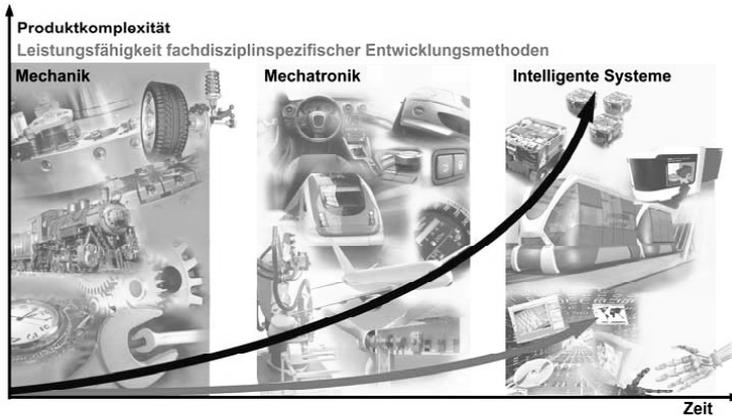


Bild 2-9: Gegenüberstellung der Produktkomplexität und der Leistungsfähigkeit disziplinspezifischer Entwicklungsmethoden [GDS+13, S. 18]

Fazit

Moderne mechatronische Systeme bieten Unternehmen zunehmend die Möglichkeit, sich in dem ständig intensiveren Innovationswettbewerb vorteilhaft zu positionieren. Die Planung und Entwicklung derartiger Systeme gestaltet sich schwierig. Die Gegenüberstellung von Produktkomplexität und Leistungsfähigkeit fachdisziplinspezifischer Methoden zeigt: Disziplinspezifische Methoden sind nicht in der Lage die Komplexität, die mit der Planung und Entwicklung mechatronischer Systeme einhergeht, zu bewältigen. Es sind neue, disziplinübergreifende Ansätze im Rahmen der Produktentstehung erforderlich, die bereits in den frühen Planungsphasen ein umfassendes Systemverständnis ermöglichen. Darüber hinaus eröffnen zukünftige mechatronische Systeme völlig neue Möglichkeiten für Marktleistungsinnovationen. Vor diesem Hintergrund wird das Referenzmodell der Strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen thematisiert.

2.3 Referenzmodell der Strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER

Das Referenzmodell der Strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen⁵ setzt bei der Produkt- bzw. Geschäftsidee an und erstreckt sich bis zum Serienanlauf (Start of Production – SOP). Es umfasst die Aufgabenbereiche Strate-

⁵ Die Marktleistung besteht aus einem Produkt (Sachleistungen), einer Dienstleistung oder aus der Kombination (hybrides Leistungsbündel) der beiden [Mei04, S. 4].

gische Produktplanung⁶, Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktionssystementwicklung. Nach GAUSEMEIER ist der Prozess der Marktleistungsentstehung keine stringente Folge von Phasen und Meilensteinen. Vielmehr ist er als ein Wechselspiel von Aufgaben zu verstehen, die sich in vier Zyklen gliedern lassen (vgl. Bild 2-10). Nachfolgend werden die Zyklen des Referenzmodells vorgestellt.

Von der Geschäftsidee...

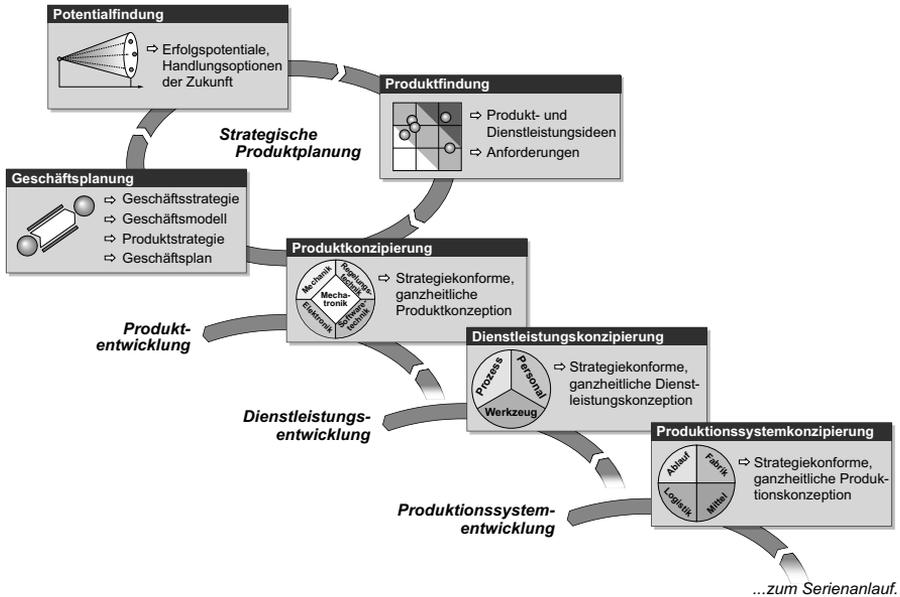


Bild 2-10: Referenzmodell der Strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen [GAD+14, S. 15]

Erster Zyklus: Strategische Produktplanung

Die **Strategische Produktplanung** umfasst die Phasen Potentialfindung, Produktfindung und Geschäftsplanung. Ziel der **Potentialfindung** ist die Identifikation zukünftiger Erfolgspotentiale sowie das Ableiten entsprechender Handlungsoptionen. Die Suche und Auswahl von Produkt- und Dienstleistungsideen zum Ausschöpfen der Erfolg versprechenden Potentiale ist Gegenstand der **Produktfindung**. In der **Geschäftsplanung** geht es zunächst um die Geschäftsstrategie. Hier wird festgelegt, *wann welche* Marktsegmente *wie* bearbeitet werden sollen. Das Geschäftsmodell konkretisiert das Nutzenversprechen. Auf Grundlage der Geschäftsstrategie und des Geschäftsmodells wird die Produktstrategie erarbeitet. Sie enthält Aussagen zur Gestaltung des Produktprogramms, zur wirtschaftlichen Bewältigung der vom Markt geforderten Variantenvielfalt, zu ein-

⁶ Die Begriffe Strategische Produktplanung und Strategische Planung werden im Rahmen dieser Arbeit synonym verwendet.

gesetzten Technologien, zur Programmpflege über den Produktlebenszyklus etc. Die Produktstrategie mündet in einen Geschäftsplan, der darstellt, dass mit dem neuen Produkt bzw. mit einer neuen Produktoption ein attraktiver Return on Investment (RoI)⁷ zu erzielen ist. Im Hinblick auf die nachfolgende Produkt- und Dienstleistungsentwicklung ist das wesentliche Ergebnis der Strategischen Produktplanung der Entwicklungsauftrag [GAD+14, S. 11f.], [GP14, S. 25f.].

Der **Entwicklungsauftrag** ist somit das entscheidende Bindeglied zwischen Strategischer Produktplanung und der Produkt- und Dienstleistungsentwicklung. Nach GAUSEMEIER und PLASS beinhaltet der Entwicklungsauftrag das für den Entwickler relevante Wissen und besteht aus einer marktorientierten Produktspezifikation (Anforderungskatalog, Pflichtenheft) und der Festlegung von bspw. Stückzahlen, Herstellkosten, Entwicklungszeit und -kosten [GP14, S. 25f.].

Zweiter Zyklus: Produktentwicklung

Die **Produktentwicklung** umfasst die **fachdisziplinübergreifende Produktkonzipierung** auf Basis des Entwicklungsauftrags. Hauptergebnis der Produktkonzipierung ist ein ganzheitliches fachdisziplinübergreifendes Produktkonzept, das sog. Systemmodell [GDS+13, S. 43]. Dieses bildet die Basis für den **fachdisziplinspezifischen Entwurf und Ausarbeitung**. Im Fokus des Referenzmodells stehen der Maschinenbau und verwandte Branchen – daher geht es im Wesentlichen um die Fachdisziplinen Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik. Anschließend erfolgt die Integration der Ergebnisse der einzelnen Fachdisziplinen zu einer Gesamtlösung [GAD+14, S. 11f.], [GP14, S. 26].

Dritter Zyklus: Dienstleistungsentwicklung

Gegenstand der **Dienstleistungsentwicklung** ist die Umsetzung einer Dienstleistungs-idee in eine Marktleistung [SD06, S. 463ff.]. Hierfür werden zunächst im Rahmen der Dienstleistungskonzipierung die Aspekte Prozess, Personal und Werkzeug integrativ entwickelt. Diese drei Aspekte werden im weiteren Verlauf konkretisiert und zu einer verifizierten Dienstleistung zusammengeführt [GAD+14, S. 13ff.].

Vierter Zyklus: Produktionssystementwicklung

Die **Produktionssystementwicklung** ist in einem engen Wechselspiel mit der Produktentwicklung vorzunehmen, um einerseits sicherzugehen, dass alle Gestaltungsmöglichkeiten eines leistungsfähigen und kostengünstigen Erzeugnisses ausgeschöpft werden. Andererseits determinieren Fertigungstechnologien häufig das Produkt – oder aber innovative Produkte erfordern neue Fertigungstechnologien und entsprechende Produktionssysteme. Analog zur Produktentwicklung stellt die Konzeption des Produktionssys-

⁷ Der Begriff Return on Investment (kurz: RoI, auch: Kapitalrentabilität) ist eine betriebswirtschaftliche Kennzahl zur Messung der Rendite einer unternehmerischen Tätigkeit. Dazu werden der erwirtschaftete Gewinn und das eingesetzte Kapital ins Verhältnis gesetzt [Wir16-01].

tems den Ausgangspunkt für die disziplinspezifische Konkretisierung dar. Dabei sind die vier Aspekte **Arbeitsablaufplanung**, **Arbeitsmittelplanung**, **Arbeitsstättenplanung** und **Produktionslogistik**, insb. die Materialflussplanung integrativ zu betrachten und im Verlauf des Zyklus zu konkretisieren. Abschließend erfolgt die Integration zu einem verifizierten Produktionssystem [GAD+14, S. 12f.], [GP14, S. 26].

Fazit und Einordnung der Arbeit

Das Referenzmodell nach GAUSEMEIER verdeutlicht: Die Aufgabenbereiche der Strategischen Planung und Entwicklung (Produkt-, Produktions- und Dienstleistungsentwicklung) von Marktleistungen sind stark vernetzt. Das zentrale Kommunikationsinstrument zwischen diesen Bereichen ist der Entwicklungsauftrag. Somit wird ihm im Prozess der Marktleistungsentstehung eine besondere Rolle zuteil. Dem von GAUSEMEIER postulierten Grundgedanken eines zyklischen Vorgehens folgend, ist ein bidirektionaler Informationsaustausch zwischen den Bereichen erforderlich. Der Entwicklungsauftrag muss daher dem integrativen Charakter der Marktleistungsentstehung Rechnung tragen.

Eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge ist somit an der Schnittstelle zwischen Strategischer Produktplanung und der Entwicklung von Produkt, Dienstleistung und Produktionssystem zu verorten.

2.4 Der Entwicklungsauftrag im Spannungsfeld zwischen Strategischer Planung und Entwicklung

Bei der Gestaltung von zukunftsrobusten Marktleistungen wird die zielorientierte Zusammenarbeit zwischen Strategischer Planung und Entwicklung zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor [SGB03, S. 162ff.], [WDG15, S. 1ff.], [WG16, S. 58ff.]. Dies bestätigt auch die Industrie: Laut einer Studie⁸ des HEINZ NIXDORF INSTITUTS schreiben nahezu 90% der befragten Industrieunternehmen der Vernetzung von Strategischer Planung und Entwicklung eine hohe Bedeutung zu. Ferner sind die Befragten davon überzeugt, dass die Bedeutung in Zukunft noch weiter zunimmt [GW16, S. 22f.]. Diese Aussage ist grundsätzlich nicht neu; Unternehmen waren schon immer gut beraten, Produktkonzepte auf den Markt zu bringen, die sowohl aus technischer als auch aus marktorientierter Sicht Erfolg versprechend sind. Allerdings stand bisher in der Regel die Technik im Fokus der Betrachtung [GEK01, S. 43ff.], [GP14, S. 25ff.], [GW16, S. 20]. Nun erfordern die zunehmende Komplexität, Innovationsdruck und Effizienzanforderungen eine integrative Betrachtung beider Bereiche. Sie gelten als wesentliche Treiber einer systematischen Vernetzung und sind daher Gegenstand des Abschnitts 2.4.1. An dieser Stelle wird die Frage aufgeworfen, wie gut die Vernetzung in der Praxis funktioniert; identifizierte Herausforderungen und Handlungsfelder werden in Abschnitt 2.4.2 vorgestellt.

⁸ Grundlage der Studie sind 65 Interviews mit Fachleuten aus Industrie- und Dienstleistungsunternehmen. Die vollständige Darstellung der Studienergebnisse erfolgt in Abschnitt 2.4.2.

Abschließend werden in Abschnitt 2.4.3 die Bestandteile eines Entwicklungsauftrags vorgestellt.

2.4.1 Treiber der systematischen Vernetzung zwischen Strategischer Planung und Entwicklung

Vor dem Hintergrund stetig steigender Komplexität der Erzeugnisse, dem hohen Innovationsbedarf sowie der notwendigen Effizienzsteigerung im Rahmen des Marktleistungsentstehungsprozesses avanciert die integrative Betrachtung der Strategischen Planung und der Entwicklung von Marktleistungen zu einem Erfordernis für den Geschäftserfolg [GW16, S. 20]. Die wesentlichen Gründe für eine steigende Bedeutung werden nachfolgend dargestellt.

Komplexität als Treiber

Die Multidisziplinarität technischer Systeme sowie die absehbare Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien eröffnet produzierenden Unternehmen eine Vielzahl verschiedener Geschäftsmöglichkeiten [GDS+13, S. 6ff.], [GW16, S. 20]. Die Entwicklung dieser Systeme kann nicht mehr aus dem Blickwinkel einer Fachdisziplin betrachtet werden. Daraus folgt eine hohe Komplexität bei der Entwicklung derartiger technischer Systeme (vgl. Abschnitt 2.2) [GDS+13, S. 6], [SBA+14, S. 133]. Hinzu kommt, dass Unternehmen, die ihre Rolle am Markt proaktiv wahrnehmen, den Kundenbedarf durch eine Kombination aus Produkt und zugehöriger Dienstleistung erschließen [Kös14, S. 6], [Mei04, S. 4]; die Dienstleistungsentwicklung ist bereits fester Bestandteil des Marktleistungsentstehungsprozesses (vgl. Abschnitt 2.3) [GAD+14, S. 12ff.]. Der Anstieg der verschiedenen Einflussfaktoren auf das Marktleistungskonzept ist enorm – in logischer Konsequenz steigt die Anzahl der zu berücksichtigenden Abhängigkeiten [GW16, S. 20f.]. Für die Schnittstelle zwischen Strategischer Planung und Entwicklung resultiert dies in einer steigenden Komplexität von Entscheidungen. Konkret bedeutet das, dass eine Entscheidung gravierende Folgen haben kann, die aufgrund der zahlreichen Abhängigkeiten nicht zu überblicken sind [SBA+14, S. 133], [Sch14a, S. 30ff.]. Nachhaltig erfolgreiches Handeln beruht jedoch auf einer umfassenden Berücksichtigung der relevanten Wirkzusammenhänge [GW16, S. 21], [Jar98, S. 32], [VLR14, S. 1ff.].

Befund: Der Umgang mit der stetig steigenden Komplexität erfordert eine abstrakte Darstellung der wesentlichen Wirkzusammenhänge zwischen Strategischer Planung und der Entwicklung [GW16, S. 21].

Innovationsdruck als Treiber

Um auch in Zukunft erfolgreich zu sein, vollziehen viele Unternehmen den Wandel vom Produkthersteller zum Lösungsanbieter [MB07, S. 516ff.]. Lösungsanbieter stellen den Kundennutzen in den Mittelpunkt ihrer Überlegungen und befriedigen ihn durch eine Marktleistung, die aus einem Produkt, einer Dienstleistung oder einer Kombination

der beiden besteht [BBE10, S. 2], [Mei04, S. 4], [Sch13a, S. 3], [SWR+12, S. 21]. Vor diesem Hintergrund haben Geschäftsmodelle in jüngster Vergangenheit stark an Bedeutung gewonnen. In der Praxis gelingt es allerdings nur wenigen Unternehmen eine innovative Marktleistung durch ein geeignetes und zeitgemäßes Geschäftsmodell zu ergänzen [GFC10, S. 197], [GW16, S. 21], [Kös14, S. 6]. Dies ist in der Regel auf eine sequentielle Entwicklung von Geschäftsmodell und Marktleistung zurückzuführen. Dadurch werden die Möglichkeiten zur Gestaltung innovativer Marktleistungen und zugehöriger Geschäftsmodelle eingeschränkt. Um das Geschäftspotential gänzlich auszuschöpfen ist die Entwicklung von Geschäftsmodell und Marktleistung integrativ voranzutreiben [BMBF06, S. 58], [BMBF12, S. 6], [GRK13, S. 7ff.], [GW16, S. 20f.], [KÖ07, S. 90 f.], [Kös14, S. 6ff.], [Pei15, S. 2ff.], [Sto10, S. 124], [WEG+15, S. 1ff.].

Befunde: Während in der Vergangenheit lediglich die einzelnen Disziplinen der Entwicklung untereinander verknüpft waren, ist heute das Geschäftsmodell ein zusätzlich entscheidender Gegenstand der Innovation. Vor diesem Hintergrund sind die Entwicklung von Geschäftsmodell und eigentlicher Marktleistung im Wechselspiel zu betrachten und gemeinsam voranzutreiben [WG16, S. 21]. Das höchste Innovationspotential resultiert jedoch, wenn Strategische Planung und Marktleistungsentwicklung gänzlich integrativ vorangetrieben werden [VM14, S. 18ff.].

Effizienzsteigerung als Treiber

Um sich im Wettbewerb zu behaupten müssen Unternehmen technisch hochwertige Produkte schnell an den Markt bringen. Während die Weichen für den zukünftigen Geschäftserfolg bereits im Rahmen der Strategischen Planung gestellt werden, erfolgt die eigentliche Umsetzung erst im Zuge der Entwicklung [GW16, S. 21], [LCW+14, S. 123ff.]. Herausforderungen entstehen, wenn eine im Rahmen der Strategischen Planung getroffene Annahme nicht eintrifft wie erwartet: Durch Zeitdruck werden in der Praxis Entscheidungen über potentielle Maßnahmen häufig intuitiv getroffen und ihre Auswirkungen nicht vollumfänglich vorausgedacht [Sch14b, S. 29ff.]. Infolgedessen gelingt die gewünschte Punktlandung häufig nicht oder die neue Marktleistung trifft nicht die Bedürfnisse bzw. die Anforderungen des Kunden. Dies kann dazu führen, dass ursprünglich rentabel geplante Marktleistungen ihren ROI niemals erreichen.

Befunde: Angesichts des in der Praxis herrschenden Zeitdrucks werden eilige Entscheidungen sehr häufig intuitiv getroffen; die Auswirkungen dieser Entscheidung können in der Regel wegen des komplexen Ursachen-Wirkungs-Gefüges nicht vollumfänglich vorausgedacht werden. Nachhaltig erfolgreiches unternehmerisches Handeln erfordert Hintergrundinformationen sowie ein Verständnis der Zusammenhänge. Dies ermöglicht eine Einschätzung, welche Wirkzusammenhänge im Kontext einer Anpassung zu berücksichtigen sind [GW16, S. 22].

Fazit

Hauptursachen für die zwingende Vernetzung von Strategischer Planung und Marktleistungsentwicklung sind die steigende Komplexität, der Innovationsdruck sowie der Effizienzbedarf. Der Umgang mit den geschilderten Herausforderungen erfordert eine abstrakte Darstellung der wesentlichen Wirkzusammenhänge sowie die Bereitstellung der entsprechenden Hintergrundinformationen und ihres systemischen Verhaltens. Die Bereitstellung dieser Informationen erfordert eine Kommunikations- und Kooperationsplattform. Diese soll die zielorientierte Zusammenarbeit der beiden Bereiche fördern.

2.4.2 Handlungsfelder in der Praxis

Die Betrachtung der Handlungsfelder in der Praxis erfolgt auf Basis einer empirischen Untersuchung. Grundlage der Untersuchung sind 65 Interviews mit Fachleuten aus Industrie- und Dienstleistungsunternehmen. Die Unternehmen unterschiedlicher Größe gehören durchweg zu den Spitzenreitern ihrer Branche. Gegenstand der Betrachtung sind der Maschinen- und Anlagenbau, die Automatisierungstechnik, Gerätehersteller, die Automobilindustrie und die Lichttechnik. Die Teilnehmer der Studie vertreten verschiedene Bereiche im Unternehmen und bekleiden verschiedene Positionen: Befragt wurden leitende Angestellte und Mitarbeiter aus den Bereichen Innovationsmanagement/Strategische Planung, Vertrieb, Marketing und Entwicklung. Dies ermöglicht ein weit gefächertes Bild über verschiedene Verantwortungs- und Anwendungsebenen [GW16, S. 22ff.]. Bild 2-11 zeigt die im Rahmen der Interviews genannten wesentlichen Herausforderungen und Handlungsfelder an der Schnittstelle zwischen Strategischer Planung und Marktleistungsentwicklung [GW16, S. 23].

Die hohe Bedeutung einer systematischen Vernetzung von Strategischer Planung und Entwicklung wird unabhängig von der Größe des Unternehmens und der Branche von nahezu allen befragten Personen bestätigt. Gleichzeitig weisen aber auch mehr als die Hälfte der Befragten darauf hin, dass diese Auffassung nicht bei allen am Prozess beteiligten Akteuren vertreten ist. Als Ursache wird häufig der Betrachtungswinkel angegeben: Je operativer das Aufgabengebiet eines Mitarbeiters, desto fokussierter auf eigene Themen stellt sich die Sichtweise dar. Diese bereichsorientierte Denkweise zeigt sich auch bei der Frage nach den derzeitigen Herausforderungen des Unternehmens: Während im Rahmen der Strategischen Planung Themen wie z.B. kürzer werdende Innovationszyklen, volatile Märkte und neue Geschäftsmodelle im Kontext von Industrie 4.0 im Fokus der Betrachtung stehen, sehen die Akteure aus der Entwicklung das Unternehmen mit steigender Interdisziplinarität und steigender Produktkomplexität konfrontiert. Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass über die Hälfte aller Befragten angibt, dass Strategische Planung und Entwicklung nicht Hand in Hand arbeiten. Die Schnittstellen zwischen den involvierten Bereichen werden häufig vernachlässigt. Die Ursachen hierfür sind hinlänglich bekannt und gleichermaßen natürlich: Problemstellungen des eigenen Bereichs werden als derart schwierig bewertet, dass eine Be-

trachtung von „Randbereichen“ vernachlässigt wird. Dies ist jedoch langfristig gesehen fatal – Experten sehen gerade an eben diesen Grenzen das Potential für zukünftige Produktinnovationen [WG16, S. 22].

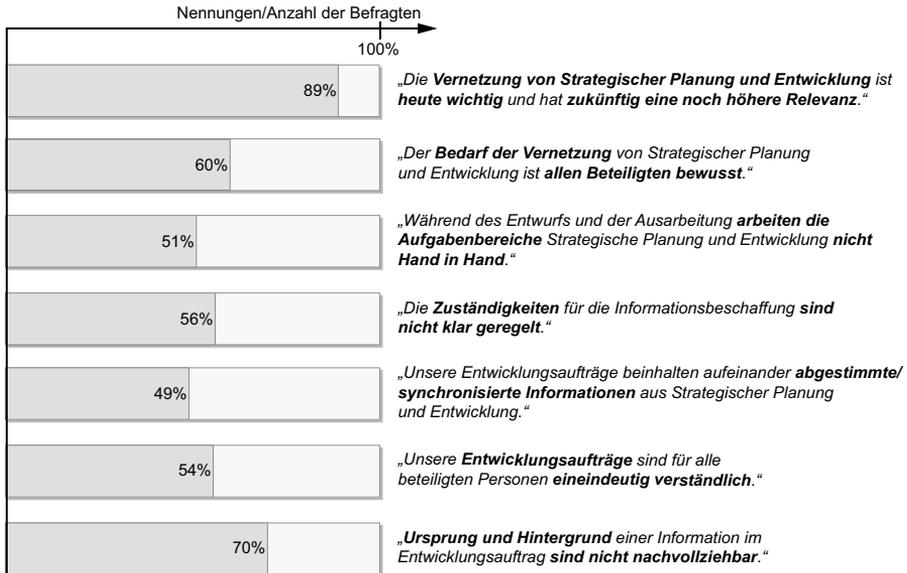


Bild 2-11: Schnittstelle zwischen Strategischer Planung und Entwicklung – aktuelle Situation, Herausforderungen und Handlungsfelder nach [GW16, S. 23]

Befunde: Die Herausforderungen in der Praxis bestätigen die Notwendigkeit einer gemeinsamen Sprache (vgl. Abschnitt 2.4.1). Nur so ist es möglich, dass die beteiligten Akteure über die Grenzen ihres Bereiches hinaus denken, kommunizieren und arbeiten. Hierzu bedarf es eines Instruments: Derzeit repräsentiert der Entwicklungsauftrag das Kommunikationsinstrument zwischen den beiden Aufgabenbereichen Strategische Planung und Entwicklung. In der Praxis weist die auf dem Entwicklungsauftrag beruhende Kommunikation erhebliche Defizite auf [GW16, S. 22f.].

Das Kommunikationsproblem spiegelt sich auch bei der Festlegung von Zuständigkeiten wider. Der Studie folgend, mangelt es an eindeutigen Verantwortungszuteilungen: Infolgedessen werden Informationen mehrfach ermittelt. In diesem Zusammenhang wurden häufig Beispiele aufgeführt, bei denen Anforderungen unvollständig aufgenommen oder kaum dokumentiert wurden, so dass eine erneute Nachfrage von Entwicklungsmitarbeitern bei den Kunden erforderlich war. Gerade einmal die Hälfte der Befragten (49%) ist der Auffassung, dass die im Entwicklungsauftrag enthaltenen Informationen abgestimmt sind. Aus Sicht der Strategischen Planung relevante Informationen werden bereitgestellt; allerdings ohne sich darüber im Klaren zu sein, ob sie für die Entwicklung relevant sind. Die Folge sind in der Regel Iterationsschleifen und Blindleistung. 54% der Befragten beschreiben die Entwicklungsaufträge hingegen als ein-

deutig verständlich. Das wirkt vor dem Hintergrund der vorangegangenen Ergebnisse zunächst überraschend. Nachgelagerte Gespräche lieferten dafür eine plausible Erklärung: Eineindeutige Entwicklungsaufträge gab es im Wesentlichen bei Unternehmen, deren Produkte langen Lebenszyklen unterliegen und Innovationen lediglich inkrementeller Natur sind. Ferner handelte es sich primär um Standardprodukte. Bei diesen Rahmenbedingungen ist davon auszugehen, dass Entwicklungsaufträge bereits aus vorherigen Projekten weitgehend bekannt sind [GW16, S. 22f.].

Befunde: Es sind klare Zuständigkeiten für die Informationsbeschaffung erforderlich. Die dargelegten Punkte zeigen darüber hinaus signifikante Schwächen bei der Ausgestaltung von Entwicklungsaufträgen; dies betrifft sowohl die Inhalte als auch die Art der Dokumentation. Vor diesem Hintergrund ist zu klären: *Wer, welche* Informationen erarbeitet und *wie* diese zu dokumentieren sind [GW16, S. 22f.].

Darüber hinaus stellte sich im Rahmen der Studie heraus, dass die Entwickler offensichtlich das Bedürfnis haben, die Hintergründe für das Zustandekommen einer Anforderung zu erfahren. Das ist wichtig für die Akzeptanz eines Entwicklungsauftrags und entscheidend für die Identifikation mit der damit verbundenen Entwicklungsaufgabe. Ganz abgesehen davon gelingt es mit den dürren Formulierungen eines Anforderungskatalogs bzw. eines Pflichtenheftes nur selten, den gewünschten Sachverhalt unmissverständlich und für alle Beteiligten gut nachvollziehbar darzulegen. Es kommt vor allem auch auf das Kontext-Wissen an. Allerdings geben 70% der Befragten an, dass ihnen bei vielen Eingangsinformationen die Hintergründe nicht bekannt sind [GW16, S. 22f.].

Befund: Die Bereitstellung von Hintergrundinformation und Kontext-Wissen ist wichtig für die Akzeptanz eines Entwicklungsauftrags und entscheidend für die Intensität der Hinwendung zu der damit verbundenen Entwicklungsaufgabe – sie wird jedoch von vielen Unternehmen unterschätzt.

Fazit

Die Herausforderungen in der Praxis zeigen die Notwendigkeit einer gemeinsamen Sprache zwischen Strategischer Planung und Entwicklung. Hierzu bedarf es eines Instruments: Derzeit repräsentiert der Entwicklungsauftrag das Kommunikationsinstrument, allerdings weist die auf dem Entwicklungsauftrag beruhende Kommunikation erhebliche Defizite auf. Es ist festzulegen, welche Informationen bereichsübergreifend wichtig sind und daher dargestellt werden müssen. Signifikante Schwächen liegen auch bei der Ausgestaltung von Entwicklungsaufträgen vor. Es ist eine Darstellung erforderlich, die alle beteiligten Akteure verstehen. Darüber hinaus ist die Bereitstellung von Hintergrundinformationen als ein wesentlicher Faktor identifiziert worden. Vor diesem Hintergrund bedarf es einer methodischen Auseinandersetzung mit dem Thema Entwicklungsaufträge.

2.4.3 Bestandteile von Entwicklungsaufträgen – eine empirische Untersuchung

Die Abschnitte 2.4.1 und 2.4.2 haben aufgezeigt: Im Zuge einer zielorientierten Zusammenarbeit zwischen den Bereichen Strategische Planung und integrative Marktleistungsentwicklung wird dem Entwicklungsauftrag eine besondere Rolle zuteil. Er ist das zentrale Kommunikationsinstrument und stellt die Verbindung der beiden Aufgabenbereiche dar. Die systematische Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen setzt die Kenntnis seiner wesentlichen Bestandteile voraus. Die Literatur offenbart jedoch ein heterogenes Bild hinsichtlich der relevanten Übergabedokumente (vgl. Abschnitt 2.1.4) sowie der dort enthaltenen Informationen. Vor diesem Hintergrund wurde am HEINZ NIXDORF INSTITUT eine empirische Studie durchgeführt. Ziel der Studie war die Identifikation der Bestandteile eines Entwicklungsauftrags – der sog. entwicklungsrelevanten Informationen [WDG14, S. 128ff.], [WDG15, S. 253ff.], [WG16, S. 58ff.]. Kern der Studie war eine Befragung in Form von 40 Interviews. Befragt wurden Fachleute aus der Strategischen Planung/Innovationsmanagement sowie der Produktentwicklung. Die Unternehmen unterschiedlicher Größe stammen aus dem Maschinen- und Anlagenbau, der elektrischen Verbindungstechnik sowie der Automobilindustrie und Informationstechnik. Gegenstand der Befragung sind 36 Informationen⁹, wie z.B. Nutzenversprechen oder Zukunftswissen. Die Befragten wurden bezüglich ihrer Einschätzung hinsichtlich der *Bedeutung der Information für den Entwickler* sowie der *derzeitigen Verfügbarkeit der Information in ihrem Unternehmen* befragt. Die Ergebnisse der Befragung sind in dem Portfolio mit den zwei Dimensionen Bedeutung und derzeitige Verfügbarkeit dargestellt (vgl. Bild 2-12) [WDG14, S. 131ff.], [WDG15, S. 253ff.], [WG16, S. 58ff.]:

- Die **Bedeutung** der Information gibt an, inwieweit die jeweilige Information den Entwickler im Rahmen seiner Tätigkeiten unterstützt.
- Die **derzeitige Verfügbarkeit** der Information gibt an, ob bzw. in welchem Maße die jeweilige Information den Entwicklern bereitgestellt wird.

Aus dem dargestellten Portfolio resultieren drei charakteristische Bereiche [WDG14, S. 131ff.], [WDG15, S. 253ff.], [WG16, S. 58ff.]:

- **Informationsdefizit:** Informationen mit einer hohen Bedeutung werden den Entwicklern nicht bzw. nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung gestellt. Hier liegt offensichtlich Handlungsbedarf vor.
- **Informationsgleichgewicht:** Hier besteht eine Balance zwischen der Bedeutung der Information und der Verfügbarkeit für den Entwickler – d.h. Informationen werden den Entwicklern entsprechend ihrer Bedeutung bereitgestellt.

⁹ Eine Übersicht der Informationen findet sich in A1.

- Informationsüberfluss:** Dem Entwickler werden Informationen zur Verfügung gestellt, die ihn bei seiner Arbeit nicht unterstützen. Dies hat zur Folge, dass Entwickler die bereitgestellten Dokumente sichten und relevante Informationen identifizieren müssen; dies wäre eine Vergeudung von Ressourcen.

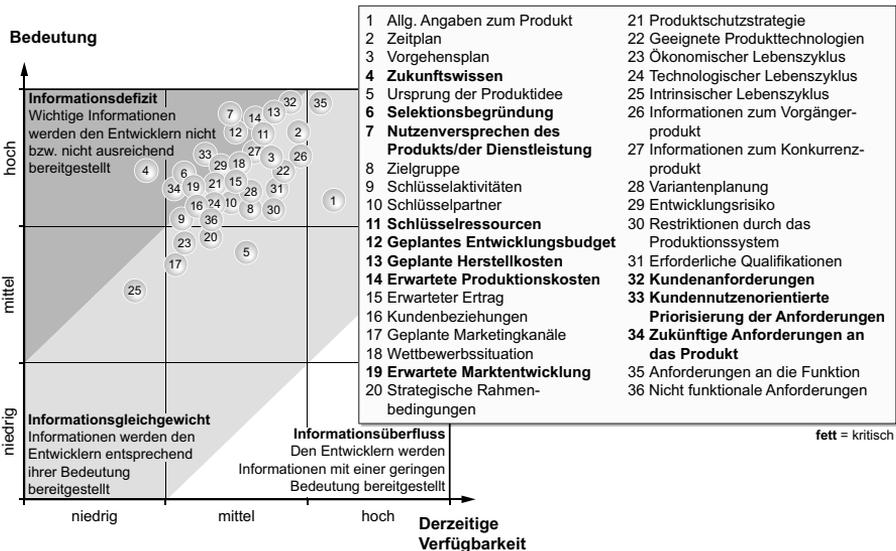


Bild 2-12: Auswertung der Befragung zum Thema entwicklungsrelevante Informationen [WDG14, S. 131ff.], [WDG15, S. 3ff.], [WG16, S. 59]

Das Portfolio zeigt deutlich: Den Informationen wurde in der Regel eine *hohe Bedeutung* zugesprochen. Keine der Informationen liegt im Bereich des Informationsüberflusses, d.h. es liegt keine Ressourcenverschwendung vor. Der Handlungsbedarf liegt vor allem im Bereich des Informationsdefizits: Hier mangelt es unter anderem an der Bereitstellung von *Zukunftswissen* (4), *Selektionsbegründungen* (6), sowie einer Beschreibung des *Nutzenversprechen des Produkts bzw. der Dienstleistung* (7). Zusammengefasst ist festzustellen, dass Entwickler nach der reinen Analyse des Entwicklungsauftrags zentrale Fragen der folgenden Art nicht sicher beantworten können [WG16, S. 60]:

- „Warum entwickle ich ein Produkt?“
- „Was genau muss ich entwickeln?“
- „Welche Mittel stehen mir zur Umsetzung zur Verfügung?“

Vor dem Entwicklungsstart müssen derartige Informationen häufig aufwändig beschafft werden. Dies geschieht meist durch erneutes Nachfragen in den zuständigen Abteilungen oder bei Kunden. Es resultiert in der Regel jedoch lediglich ein fragmentiertes Bild der Entwicklungsaufgabe [WG16, S. 60].

Fazit

Die systematische Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen setzt die Kenntnis seiner wesentlichen Bestandteile voraus. Die Literatur offenbart jedoch ein heterogenes Bild der entwicklungsrelevanten Informationen. Vor diesem Hintergrund wurde eine Studie durchgeführt, die aufzeigt, dass die heute übliche Informationsbereitstellung nicht ausreichend ist: Für ein umfassendes Verständnis der Marktleistung benötigen die Entwickler zusätzliche Informationen aus der Strategischen Planung.

2.5 Systems Engineering

Abschnitt 2.4 hat aufgezeigt, dass die Herausforderungen an der Schnittstelle zwischen Strategischer Planung und Entwicklung vielfältig sind. Die Schnittstelle ist geprägt von Multidisziplinarität sowie der daraus resultierenden Komplexität. Ein Ansatz der verspricht, derartigen Herausforderungen gerecht zu werden ist das Systems Engineering [GDS+13, S. 6ff.].

Systems Engineering (SE) versteht sich als durchgängige, fachdisziplinübergreifende Methodik zur Entwicklung technischer Systeme. Kern ist eine zielgerichtete und ganzheitliche Problembetrachtung mit dem Anspruch, die Akteure in der Entwicklung komplexer Systeme zu orchestrieren [INC16-01]. Eine allgemeingültige Definition zur Beschreibung der Kernphilosophie von Systems Engineering liefert HITCHINS:

„Systems Engineering is the art and science of creating whole solutions to complex problems“ [Hit07, S. 91].

Seine Wurzeln hat das SE in den philosophischen Betrachtungen zur allgemeinen Systemtheorie. BERTALANFFY kritisierte die deduktiven Verfahren der Naturwissenschaften und die damit einhergehende isolierte Betrachtung von Einzelphänomenen [Ber72]. Anstelle von Einzelphänomenen müssten Phänomene in ihrer Vernetzung beschrieben werden; es resultiert eine systemorientierte Betrachtung. Systeme existieren parallel in unterschiedlichen Wissensgebieten; dabei stehen sie miteinander in Interaktion und beeinflussen sich gegenseitig. Die industrielle Anwendung des SE hat ihren Ursprung in den BELL TELEPHONE LABORATORIES in den 40er Jahren. Den Durchbruch hatte das SE jedoch ab dem Ende der 1950er Jahre im Rahmen der militärischen Luft- und Raumfahrtprogramme der USA. Es entstanden zahlreiche Handbücher, Best Practices und Standards [GDS+13, S. 22ff.]. Heute wird das SE in seinen vielfältigen Facetten weltweit in verschiedenen Interessensgemeinschaften vorangetrieben. Dabei reicht das Spektrum vom Anforderungsmanagement über das Projektmanagement bis hin zur modellbasierten Verifikation und Validierung. Einen allgemeinen Ansatz liefern HABERFELLNER ET AL.; dieser wird in Abschnitt 2.5.1 vorgestellt. Den exponierten Schwerpunkt des Systems Engineering stellt das Model-Based Systems Engineering dar; es ist Gegenstand des Abschnitts 2.5.2.

2.5.1 Systems Engineering-Konzept nach HABERFELLNER ET AL.

Das Systems Engineering-Konzept nach HABERFELLNER ET AL. ist ein etabliertes Vorgehen zur Bearbeitung von Problemen¹⁰. In der Regel wird die Qualität der Problemlösung durch eine Vielzahl von Faktoren, wie z.B. Fachwissen oder Methodik maßgeblich beeinflusst. Ziel des SE-Konzepts ist es daher, diese Faktoren sinnvoll aufeinander abzustimmen und dadurch eine hohe Problemlösungsqualität zu ermöglichen. Hierfür umfasst das Konzept drei Ebenen (Bild 2-13) [HWF+12, S. 27ff.], [Pat82, S. 17ff.]:

- Die **strategische Ebene** beinhaltet das Grundgerüst des Konzepts mit dem Systemdenken und dem unten vorgestellten Vorgehensmodell als generelle Denkweise.
- Die Ebene des Problemlösungsprozesses wird als **operative Ebene** bezeichnet. Sie gliedert sich in die Bereiche Systemgestaltung und Projektmanagement. Die Systemgestaltung adressiert die konstruktive Arbeit im Rahmen der Lösungsfindung, während das Projektmanagement organisatorische und insbesondere koordinatorische Aspekte beinhaltet.
- Die untere Ebene repräsentiert die sog. **Tool-Ebene**; sie umfasst die Techniken zur Systemgestaltung und zum Projektmanagement.

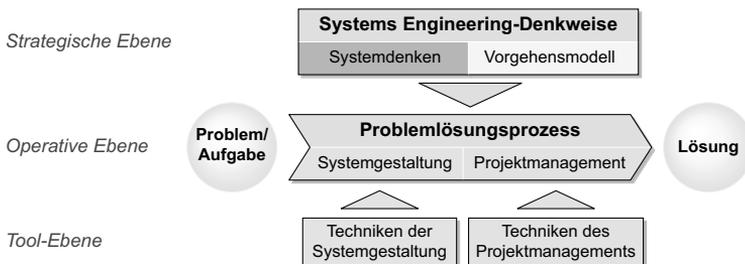


Bild 2-13: Konzept des Systems Engineering in Anlehnung an HABERFELLNER ET AL. [HWF+12, S. 28], [Pat82, S. 17]

Den zentralen Bestandteil des SE-Konzepts stellt das Vorgehensmodell dar. Basis des Modells sind die vier folgenden Grundgedanken [HWF+ou12, S. 57ff.]:

- **Vorgehen vom Groben zum Detail:** Das Betrachtungsfeld wird zunächst etwas weiter gefasst und anschließend schrittweise eingengt.
- **Prinzip des Denkens in Varianten:** Es werden verschiedene Konzepte als Lösungsmöglichkeiten in Betracht gezogen.

¹⁰ HABERFELLNER ET AL. definieren ein Problem als die Differenz zwischen der aktuell vorliegenden Situation und einem gewünschten Zustand [HWF+12, S. 27].

- **Phasenmodell** (Makro-Logik): Gliederung des Entwicklungsprozesses nach zeitlichen Gesichtspunkten.
- **Problemlösungszyklus** (Mikro-Logik): Anwendung eines formalen Vorgehensleitfadens zum Lösen von Problem entlang der Systementwicklung.

Fazit

Der Umgang mit komplexen Systemen erfordert eine ganzheitliche Problembetrachtung sowie ein generelles Vorgehensmodell zur Problemlösung. Das Vorgehensmodell gliedert sich nach zeitlichen Gesichtspunkten (Makro-Logik); die Durchführung der resultierenden Phasen erfolgt auf Basis eines Leitfadens (Mikro-Logik). Dabei wird der Betrachtungsgegenstand zunächst sehr weit gefasst und anschließend schrittweise eingeschränkt.

Ein wesentlicher Ansatz für die ganzheitliche Problembetrachtung ist das Model-Based Systems Engineering. Der Ansatz wird nachfolgend erläutert.

2.5.2 Model-Based Systems Engineering

Grundsätzlich ist die Verwendung von Modellen in der Produktentwicklung etablierter Standard [Win11, S. 4]; dabei sind Ziel und Zweck der **Modellbildung** sehr vielfältig [Lin09, S. 11]. Im Rahmen des Model-Based Systems Engineering (MBSE) wird ein sog. **Systemmodell** in den Mittelpunkt der Entwicklung gestellt. Es beschreibt das System fachdisziplinübergreifend, umfasst alle wesentlichen fachdisziplinübergreifenden Informationen und dient somit als Verständigungsmittel zwischen den Entwicklern verschiedener Disziplinen (z.B. Mechanik, Elektronik und Softwaretechnik) [GDS+13, S. 36], [IKD+13, S. 337f.], [Kai14, S. 24ff.]. Dies stellt besondere Herausforderungen an die **Modellierungssprache**. Nachfolgend werden die Themen Modellbildung, Systemmodell und Modellierungssprache näher betrachtet.

Modellbildung in der Produktentwicklung

In der Entwurfsphase werden innerhalb der einzelnen Entwicklungsdisziplinen Modelle genutzt, um komplexe Sachverhalte einheitlich und gut verständlich darzustellen; so dienen bspw. UML-Anwendungsfalldiagramme (Use Cases) als Kommunikationsmittel zwischen Software-Entwicklern. Diese als Kommunikationsgrundlage zu verwenden ist einfacher, als den Sachverhalt in einem Text zu beschreiben; vor allem weil dieser wiederum unterschiedlich interpretiert werden kann [Kai14, S. 23], [WEG+15, S. 2]. Darüber hinaus bieten Modelle die Möglichkeit, einheitlich über einen Sachverhalt zu kommunizieren. Hierfür werden vordefinierte Elemente nach festgelegten Regeln erstellt. Das Ergebnis sind einheitliche und dadurch eindeutig verständliche Modelle. Sie sind schnell erfassbar und einfach in der Pflege.

Die in den Fachdisziplinen bereits bekannten Vorteile grafischer Modelle werden in den aktuellen Forschungsarbeiten im Bereich des MBSE auf die fachdisziplinübergreifende

Systemebene übertragen; das Ergebnis dieser Arbeiten ist das Systemmodell [Alt12b, S. 19ff.], [Kai14, S. 24f.], [WEG+15, S. 2f.], [Wei06, S. 9].

Befunde: Die Verwendung von Modellen als Kommunikationsgrundlage hat sich in den einzelnen Fachdisziplinen und auch fachdisziplinübergreifend etabliert. Modelle ermöglichen eine einfache und gut verständliche Darstellung von komplexen Sachverhalten. Vor diesem Hintergrund erscheint die Verwendung von Modellen zur Beschreibung des Entwicklungsauftrags als sinnvoll.

Systemmodell

Das Systemmodell repräsentiert eine fachdisziplinübergreifende Beschreibung des zu entwickelnden technischen Systems. Im Rahmen des Produktentstehungsprozesses sind die Einsatzmöglichkeiten des Systemmodells vielfältig (vgl. Bild 2-14) [Kai14, S. 26f.].

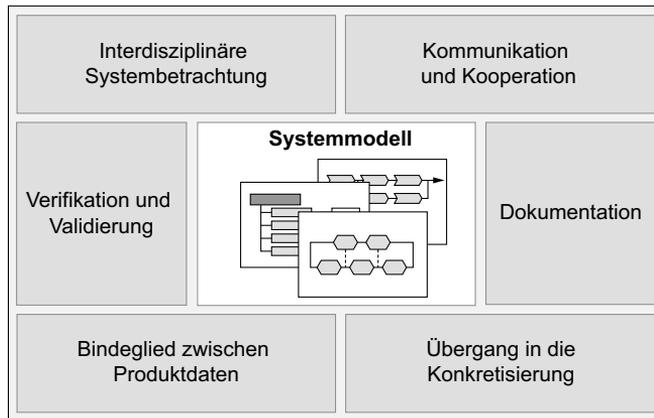


Bild 2-14: Einsatzbereiche des Systemmodells in Anlehnung an [Kai14, S. 27]

So fördert das Systemmodell durch die ganzheitliche **interdisziplinäre Systembetrachtung** das Systemdenken in starkem Maße. Hierfür muss bekannt sein, welche Informationen über das System interdisziplinär bedeutend sind und einen Beitrag zum einheitlichen Verständnis leisten [Kai14, S. 26ff.]. Gleichzeitig dient das Systemmodell auch als **Kommunikations- und Kooperationsplattform** für die an der Entwicklung beteiligten Akteure. Im Fokus der Betrachtung steht dabei ein gemeinsames Verständnis des Systems; es repräsentiert einen wesentlichen Schlüsselfaktor für den Erfolg der Entwicklung. In diesem Zusammenhang wird der grafischen Notation eine besondere Rolle zuteil: Sie ist so zu gestalten, dass sie von allen beteiligten Akteuren verstanden wird. Wesentliche Herausforderung hierbei ist, dass die beteiligten Entwickler Experten in einer bestimmten Disziplin sind; hier herrschen spezifische Denkmuster und Begriffswelten [Fra06, S. 44f.], [Kai14, S. 29], [VDI2206, S. 12ff.], [WEG+15, S. 2]. So kann es vorkommen, dass gleiche Begriffe in den verschiedenen Disziplinen unterschiedliche Bedeutung haben. Die Folge sind Missverständnisse [Kai14, S. 29]. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel des MBSE-Ansatzes ein Ausdrucksmittel, das Entwickler verschiede-

ner Disziplinen gleichermaßen verstehen. Mit der gemeinsamen Sprache wird ein Systemmodell erstellt, das ein umfassendes und bereichsübergreifendes Verständnis des Systems repräsentiert [Kai14, S. 30]. Einen Beitrag leistet hier die **Dokumentation** disziplinübergreifender Wirkzusammenhänge. Derzeit entstehen im Rahmen der Entwicklung viele fachdisziplinspezifische Modelle; sind Änderungen erforderlich, werden diese oftmals ausschließlich in den fachdisziplinspezifischen Modellen eingepflegt. Dies führt häufig zu Inkonsistenzen. Ferner besteht die Gefahr, dass nicht alle Auswirkungen sofort erkannt und alle Beteiligten informiert wurden. Die Folgen sind i.d.R. zeit- und kostenintensive Iterationen. Durch die gemeinsame Erarbeitung des Systemmodells in der frühen Phase dient es nachfolgend als Basis für die **Konkretisierung** innerhalb der einzelnen Fachdisziplinen. Im Verlauf der Entwicklung repräsentiert das Systemmodell das **Bindeglied zwischen den Produktdaten**: Die im Systemmodell enthaltenen Informationen werden in den Fachdisziplinen weiterverwendet und angepasst. Durch die Verknüpfung der jeweiligen Informationen untereinander können Anpassungen im Systemmodell an alle beteiligten Disziplinen propagiert werden. Dadurch kann die Konsistenz der Daten sowohl aus horizontaler Sicht (über alle Aspekte des Systemmodells) als auch aus vertikaler Sicht (zwischen dem Systemmodell und spezifischen Modellen) sichergestellt werden [Kai14, S. 32]. Durch die interdisziplinären Informationen über das System kann das Systemmodell auch bei der **Verifikation und Validierung** unterstützend eingesetzt werden.

Die Beschreibung des Systemmodells erfordert eine Modellierungssprache, Methode und Werkzeugunterstützung (vgl. Bild 2-15) [FMS12, S. 16ff.], [IDK+13, S. 339], [Kai14, S. 26]. Erst eine aufeinander abgestimmte Kombination dieser Bausteine ermöglicht einen effizienten Einsatz der Systemmodellierung in einem Unternehmen. Die Modellierungssprache repräsentiert ausschließlich das Ausdrucksmittel. Die Anwendung der Sprache wird durch eine Methode festgelegt; sie legt somit fest, was spezifiziert werden muss und in welcher Reihenfolge die Informationen entstehen. Für die Darstellung der Modelle ist ein Werkzeug erforderlich. [Est08, S. 2ff.], [Kai14, S. 26], [RFB12, S. 101ff.].

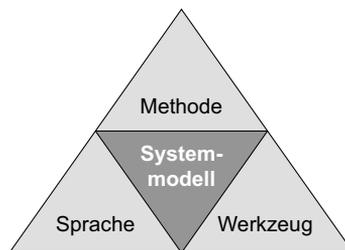


Bild 2-15: Bausteine zur Beschreibung eines Systemmodells in Anlehnung an [IDK+13, S. 339], [Kai14, S. 27]

Befunde: Ein einheitliches Systemverständnis gilt als Schlüsselfaktor für den Erfolg in der Entwicklung. Grundvoraussetzung dafür ist eine ganzheitliche und interdisziplinäre

Problembetrachtung. In diesem Zusammenhang spielt das Ausdrucksmittel eine wesentliche Rolle: Dieses muss von allen Beteiligten gleichermaßen verstanden werden. Basis hierfür ist eine gemeinsame Sprache. Auf diesem Weg können verschiedene Disziplinen ein einheitliches Verständnis des Systems erarbeiten und dokumentieren. Dieses dient nachfolgenden Entwicklungsarbeiten als Fundament und ist gleichzeitig Bindeglied zwischen den Entwicklern verschiedener Disziplinen. Für die Spezifikation eines derartigen Modells ist eine Modellierungssprache, Methode und Werkzeugunterstützung erforderlich; nur eine aufeinander abgestimmte Kombination dieser Bausteine ermöglicht einen effizienten Einsatz der Systemmodellierung in einem Unternehmen.

Modellierungssprachen

Eine Modellierungssprache wird durch Syntax und Semantik definiert (vgl. Abschnitt 2.1.3) [PM06, S. 19ff.]. Für die interdisziplinäre Beschreibung des Systemmodells werden semiformale Modellierungssprachen bevorzugt, da formale Modelle die Kreativität der Entwickler stark einschränken. Darüber hinaus erzeugen formale Modellierungssprachen durch ihre Komplexität Akzeptanzhürden bei den Beteiligten [Kai14, S. 34f.], [Moo09, S. 756ff.].

Zur Darstellung des Systemmodells werden überwiegend grafische Modellierungssprachen verwendet. Ihre Vorteile liegen in der Effektivität und Effizienz in Bezug auf Bearbeitung, Wahrnehmung und Pflege der Modelle durch den Benutzer [Kai14, S. 35], [SFP+09]. Diese Vorteile werden jedoch nicht vollständig genutzt, da im Rahmen der Sprachdefinition die Bedeutung der grafischen Notation stark unterschätzt wird [JWK+08, S. 5ff.], [Moo09, S. 756ff.]. Während die abstrakte Syntax und die Semantik sorgfältig definiert sind, wird die visuelle Repräsentation in der Regel als trivial angesehen: Die grafische Notation hat fälschlicherweise einen rein ästhetischen Charakter; die Auswahl der Ausdrucksmittel basiert daher meist auf dem persönlichen Geschmack des Entwicklers [Kai14, S. 35f.], [Moo07, S. 481ff.]. Dabei leistet die Visualisierung einen wesentlichen Beitrag zum Modellverständnis, denn der Mensch nimmt 75% seiner Umgebung visuell wahr und erhält daraus die notwendigen Informationen [Sch16-ol]. SCHEUERMANN folgend wirken Symbole, Diagramme und Animationen unterstützend bei der Vereinfachung komplexer Prozessabläufe und Objektbeziehungen in der Realwelt. Ferner erlaubt die Visualisierung einen vereinfachten Zugang zu Daten, z.B. durch Klassifikation und Datenstrukturierung. Sie hilft bei der Analyse und Interpretation von Daten, bei der Sichtbarmachung verborgener Trends sowie bei der Mustererkennung und unterstützt die angeborene menschliche Fähigkeit, die Umwelt zu erfassen und zu verstehen [Sch16-ol]. Eine Studie zum Thema Visual Business Analytics bestätigt diese Aussage. Der Studie zur Folge bewerten 78% die Bedeutung der Visualisierung für die Geschäftskommunikation als wichtig oder sehr wichtig (Bild 2-16) [KPS+12], [KPW13, S. 44].

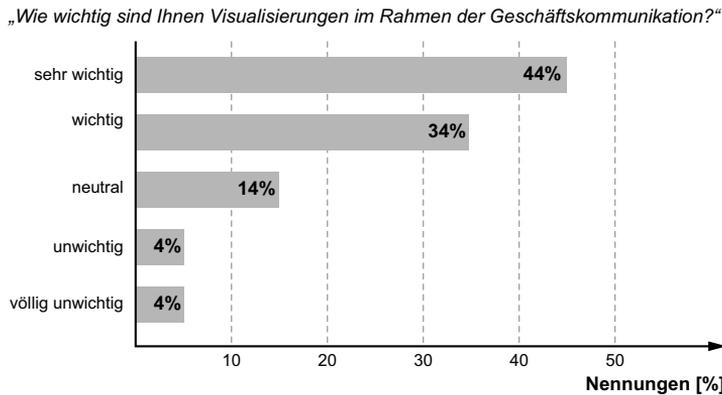


Bild 2-16: Bedeutung von Visualisierung für die Geschäftskommunikation in Anlehnung an [KPS+12], [KPW13, S. 44]

Diesem Grundgedanken folgend gestaltet sich der Kommunikationsprozess unter Einsatz der grafischen Notation wie folgt (vgl. Bild 2-17): Mit den gewählten Symbolen wird beabsichtigt, eine Nachricht zu übermitteln. Hierzu wird die Nachricht in Form des verwendeten Symbols vom Modellersteller codiert. Der Modellnutzer muss diese erst wieder decodieren, um die gesendete Nachricht zu erhalten [Kai14, S. 36], [Moo09, S. 756ff.].

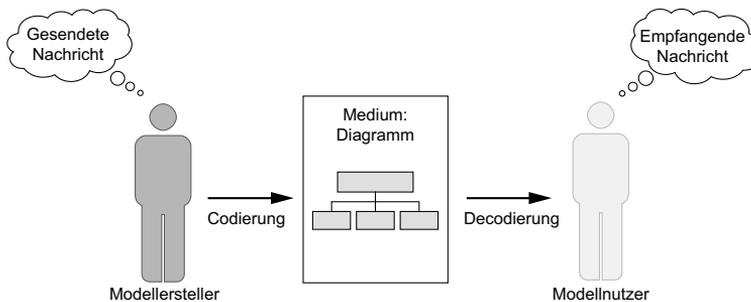


Bild 2-17: Theorie der Kommunikation unter Einsatz grafischer Notation in Anlehnung an [Kai14, S. 27], [Moo09, S. 756ff.]

Die Entscheidung für oder gegen eine Modellierungssprache wird unter anderem von der Benutzungsfreundlichkeit der Sprache beeinflusst. SCHALLES ET AL. bewerten diese mit den Attributen Erlernbarkeit, Einprägsamkeit, Effektivität, Effizienz, visuelle Wahrnehmbarkeit sowie Benutzerzufriedenheit [SRC10, S. 15ff.]. Der Benutzer muss die Sprache schnell erlernen und sich nach längerer Zeit ohne Spracheinsatz wieder an die verschiedenen Elemente und Regeln erinnern können. Effektiv und effizient ist eine Modellierungssprache dann, wenn der Benutzer unterstützt wird, das Modell fehlerfrei und schnell zu erstellen. Der Gesamteindruck des Modells sowie die definierten Ele-

mente (Formen, Farben) fallen unter die visuelle Wahrnehmbarkeit. Alles zusammen wirkt sich auf die Benutzerzufriedenheit aus. Diese wird anhand der individuellen Wahrnehmung beim Modellieren und Interpretieren gemessen [SRC10, S. 15ff.], [HN09, S. 9ff.]. In diesem Zusammenhang haben WIEDERKEHR ET AL. verschiedene Modellierungssprachen¹¹ analysiert und u.a. die folgenden Erfolgsfaktoren der Wahrnehmung von Modellierungssprachen identifiziert [WEG+15, S. 4ff.]: Bereitstellung einer strukturierten Modellierungsumgebung, in die der Anwender seine Konstrukte einbetten kann sowie ein Baukasten mit verschiedenen Grundbausteinen für eine schnelle Fokussierung auf die wesentlichen Informationen. In diesem Zusammenhang wurde die Visualisierung der Grundbausteine mittels Piktogrammen als sehr positiv bewertet [Dre84]: Eine eingängige Wahl der Symbolik ermöglicht ein intuitives Verständnis der Modellierungssprache – die Einarbeitungszeiten werden somit auf ein Minimum reduziert. Darüber hinaus ermöglicht das Bereitstellen eines Baukastens eine situationsspezifische Darstellung verschiedener Detaillierungsgrade sowie einen unterschiedlichen Modellfokus. Die Einführungen von Flüssen und Beziehungslinien für die Darstellung von Systemrelationen erlaubt eine sofortige Identifikation der wesentlichen Interaktionen zwischen den einzelnen Systemelementen. Das fördert das Modellverständnis. Ebenfalls positiv bewertet wurden Modellierungssprachen, die eine geringe Anzahl unterschiedlicher Konstrukte bereitstellen. Dadurch wird die Sprache leicht erlernbar und die Gefahr von Redundanzen wird reduziert. In der Regel werden disziplinübergreifende Modelle durch Teams im Rahmen von Workshops erarbeitet und anschließend durch eine Person aufbereitet. Die digitalisierten Modelle werden dann wiederum als Diskussionsgrundlage genutzt. Vor diesem Hintergrund wurde die Unterstützung der Modellbildung sowohl durch ein Softwarewerkzeug als auch durch ein Workshop-Set zur Modellierung als ein wesentlicher Erfolgsfaktor definiert [WEG+15, S. 4f.].

Befunde: Für die interdisziplinäre Beschreibung des Systemmodells werden überwiegend semiformale, grafische Modellierungssprachen verwendet. Vorteile sind die Effektivitäts- und Effizienzsteigerung bei der Erarbeitung, Analyse und Pflege des Modells – gleichzeitig schränken sie die Kreativität der Entwickler nicht ein. Um die Vorteile grafischer Modellierungssprachen vollständig erschließen zu können, ist insbesondere eine wohldefinierte grafische Notation erforderlich. Bisher wird die Bedeutung der grafischen Notation jedoch stark unterschätzt. Das wesentliche Kriterium für die Wahl einer Modellierungssprache ist ihre Benutzungsfreundlichkeit: Der Benutzer muss die Sprache schnell erlernen und diese auch nach längerer Zeit ohne Spracheinsatz anwenden können. Ferner sollte der Modellersteller das Modell schnell und fehlerfrei erstellen können. Wesentliche Erfolgsfaktoren sind eine strukturierte Modellierungsumgebung, Baukasten mit Grundbausteinen, die Visualisierung durch eine eingängige Symbolik, Einführungen von Flüssen und Beziehungslinien, eine geringe Anzahl unterschiedlicher

¹¹ Bei der Analyse standen Modellierungssprachen zur Beschreibung von Geschäftsmodellen und Produktkonzepten im Fokus der Betrachtung [WEG+15, S. 4].

Konstrukte sowie die Unterstützung der Modellbildung sowohl durch ein Softwarewerkzeug als auch durch ein Workshop-Set.

Fazit

Die Verwendung von Modellen als Kommunikationsgrundlage hat sich in den einzelnen Fachdisziplinen etabliert; sie ermöglichen eine einfache und gut verständliche Darstellung von komplexen Sachverhalten und schaffen ein einheitliches Systemverständnis. Dieses gilt als Schlüsselfaktor für den Erfolg in der Entwicklung. Grundvoraussetzung dafür ist eine intuitiv verständliche und benutzungsfreundliche Modellierungssprache, eine Methode, die die Anwendung der Sprache unterstützt sowie eine geeignete Werkzeugunterstützung.

2.6 Herausforderungen bei der Definition von Entwicklungsaufträgen

Entwicklungsaufträge sind die Schnittstelle zwischen Strategischer Planung und Entwicklung. Sie beinhalten die für die Entwickler relevanten Informationen und repräsentieren das wesentliche Kommunikationsinstrument zwischen Strategischer Planung und Entwicklung (vgl. Abschnitt 2.1.4 und Abschnitt 2.3). Die Entwicklung mechatronischer Systeme und die zunehmende integrative Betrachtung von Dienstleistungen birgt wesentliche Herausforderungen bei der Definition von Entwicklungsaufträgen: Es bedarf einer methodischen Auseinandersetzung mit der Thematik (vgl. Abschnitt 2.4). Wesentliche Handlungsfelder hierbei sind:

Ganzheitliche Abbildung entwicklungsrelevanter Informationen: Grundvoraussetzung für eine effektive und effiziente Umsetzung von Marktleistungen ist ein umfassendes Verständnis der Entwicklungsaufgabe (vgl. Abschnitt 2.5.1) [HWF+12, S. 33ff.]. In der Regel wird der Entwicklung eine Anforderungsliste oder das Lasten-/Pflichtenheft zur Verfügung gestellt (vgl. Abschnitt 2.1.4) [FGN+13, S. 319]. Diese Art der Informationsbereitstellung wird jedoch von den Entwicklern als unzureichend empfunden (vgl. Abschnitt 2.4.2); ihnen fehlen Zusatzinformationen wie z.B. zukünftige Entwicklungen oder das Nutzenversprechen. Auch die Verfügbarkeit von Informationen, die die Organisation der Entwicklung betreffen, werden als mangelhaft empfunden (vgl. Abschnitt 2.4.3). Darüber hinaus haben Entwickler das Bedürfnis, die Hintergründe für das Zustandekommen einer Anforderung zu erfahren (vgl. Abschnitt 2.4.2). Die Bereitstellung derartiger Information ist wichtig für die Akzeptanz eines Entwicklungsauftrags und entscheidend für die Intensität der Hinwendung zu der damit verbundenen Entwicklungsaufgabe [WG16, S. 58ff.]. Vor diesem Hintergrund besteht der Bedarf einer ganzheitlichen Abbildung der entwicklungsrelevanten Informationen.

Entwicklungsauftrag als Kommunikations- und Kooperationsplattform: Komplexitätssteigerungen, Innovationsdruck und Effizienzbedarf beeinflussen die Vorgehensweise in der Produktentstehung (vgl. Abschnitt 2.4.1). Anstatt einer sequentiellen Vorge-

hensweise ist ein integrativer Ansatz erforderlich (vgl. Abschnitte 2.3 und 2.4.3). Das bedeutet, dass Akteure aus der Strategischen Planung und der Produkt-, Dienstleistungs- und Produktionssystementwicklung eng zusammenarbeiten müssen. Bedingt durch unterschiedliche Ausbildungshintergründe werden hier jedoch vollkommen unterschiedliche Sprachen gesprochen (vgl. Abschnitte 2.4.2 und 2.5.2). Eine zielorientierte Zusammenarbeit erfordert eine gemeinsame Sprache (vgl. Abschnitt 2.5.2) [SGB03, S. 162ff.]. HAUSCHILD und SALOMO folgend ist die Kommunizierbarkeit einer Innovation von entscheidender Bedeutung für ihre Umsetzung: „*Je leichter die Innovation erläutert und mitgeteilt werden kann, desto leichter ist sie realisierbar*“ – dies erfordert die Lösung der „*Informations- und Kommunikationsproblematik*“ [HS07, S. 53]. In diesem Zusammenhang erscheint eine modellbasierte Vorgehensweise Erfolg versprechend. Die Verwendung von Modellen als Kommunikationsgrundlage ist in den einzelnen Fachdisziplinen wie z.B. der Mechanik und Softwaretechnik sowie fachdisziplinübergreifend bereits etablierter Standard. Grundvoraussetzung einer effizienten Anwendung ist eine aufeinander abgestimmte Kombination von Modellierungssprache, Methode und Werkzeugunterstützung (vgl. Abschnitt 2.5.2) [Est08, S. 2ff.], [IDK+13, S. 339]. Die Vorteile des modellbasierten Vorgehens sollen nun auf die Strategische Planung übertragen werden. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang ein intuitives Vorgehen, das sich durch eine hohe Benutzungsfreundlichkeit auszeichnet.

In der vorliegenden Arbeit soll eine Systematik erarbeitet werden, die die dargelegten Herausforderungen adressiert. Die Anwendung der Systematik soll einen Beitrag zu der integrativen Zusammenarbeit zwischen Strategischer Planung und Entwicklung leisten und die Informationsbereitstellung an die Entwicklung verbessern.

2.7 Anforderungen an eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge

Die Abschnitte 2.1 bis 2.6 haben die Herausforderungen bei der Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen aus Theorie- und Praxissicht beleuchtet. Aus diesen Abschnitten resultieren die Anforderungen an eine Systematik zur Erarbeitung von modellbasierten Entwicklungsaufträgen. Abschnitt 2.7.1 liefert zunächst übergeordnete Anforderungen an die Systematik. Nachfolgend werden die wesentlichen Handlungsfelder adressiert: Der Abschnitt 2.7.2 umfasst Anforderungen, die eine ganzheitliche Abbildung entwicklungsrelevanter Informationen adressieren. Abschnitt 2.7.3 thematisiert Anforderungen, die den Entwicklungsauftrag als Kommunikations- und Kooperationsplattform betreffen.

2.7.1 Übergeordnete Anforderungen

Im Folgenden werden Anforderungen dargestellt, die die gesamte Systematik adressieren und somit übergreifend Berücksichtigung finden müssen.

A1: Anwendungsbereich mechatronische Systeme

Moderne mechatronische Systeme bieten Unternehmen die Möglichkeit, sich im ständig zunehmenden Innovationswettbewerb vorteilhaft zu positionieren (vgl. Abschnitt 2.2). Die Systematik soll daher die Strategische Planung und Entwicklung von mechatronischen Systemen unterstützen. Hierzu sind die Charakteristika mechatronischer Systeme in den Mittelpunkt der Betrachtung zu stellen.

A2: Berücksichtigung von Dienstleistungen

Unternehmen, die ihre Rolle am Markt proaktiv wahrnehmen, erschließen den Kundenbedarf durch eine geschickte Kombination aus Produkt und zugehöriger Dienstleistung. Folgerichtig ist die Dienstleistungsentwicklung bereits fester Bestandteil des Produktentstehungsprozesses (vgl. Abschnitt 2.3). Vor diesem Hintergrund sind die Charakteristika der Dienstleistungsentwicklung im Rahmen der Systematik zu berücksichtigen.

A3: Methodische Auseinandersetzung mit Entwicklungsaufträgen

Die Systematik muss die Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen in den Kontext eines methodischen Vorgehens stellen (vgl. Abschnitt 2.4.2). Ziel ist ein systematisch erarbeiteter modellbasierter Entwicklungsauftrag. Das umfasst die Definition einer Modellierungssprache, eine Methode zur Anwendung der Modellierungssprache sowie eine Werkzeugunterstützung (vgl. Abschnitt 2.5.2 und Abschnitt 2.6).

2.7.2 Anforderungen an die ganzheitliche Abbildung von entwicklungsrelevanten Informationen

Nachfolgend werden Anforderungen subsumiert, die die ganzheitliche Abbildung von entwicklungsrelevanten Informationen betreffen.

A4: Abbildung von Informationen für ein umfassendes Verständnis der Marktleistung

Es müssen alle für ein umfassendes Verständnis der Marktleistung relevanten Informationen abgebildet werden (vgl. Abschnitt 2.5.1). Zusätzlich zur etablierten Produktbeschreibung anhand von Anforderungen sind somit auch strategische Begleitinformationen bereitzustellen; beispielhaft seien an dieser Stelle Informationen zu zukünftigen Entwicklungen oder das Nutzenversprechen der Marktleistung genannt (vgl. Abschnitt 2.4.3 und Abschnitt 2.6).

A5: Verfügbarkeit von Hintergrundinformationen

Die Bereitstellung von Hintergrundinformation zu Anforderungen ist wichtig für die Akzeptanz eines Entwicklungsauftrags und entscheidend für die Intensität der Hinwendung zu der damit verbundenen Entwicklungsaufgabe. Vor diesem Hintergrund sind im Rahmen des Entwicklungsauftrags Anforderungen mit den ihnen zu Grunde liegenden

Hintergrundinformationen zu verknüpfen (vgl. Abschnitt 2.4.2, Abschnitt 2.4.3 und Abschnitt 2.6).

A6: Bereitstellung organisatorischer Rahmenbedingungen

Der Entwicklungsauftrag muss Informationen für die Planung und Abwicklung des zugrundeliegenden Entwicklungsprojekts bereitstellen (vgl. Abschnitt 2.1.4, Abschnitt 2.4.3 und Abschnitt 2.6). Das umfasst z.B. die Darstellung von Tätigkeiten, Aufgaben und Bedingungen, die die Entwicklungsabteilung zur Erfüllung der dargelegten Anforderungen vorsehen muss. Ferner sind auch Informationen, die eine Identifikation des Entwicklungsdokuments erlauben, wie z.B. die Identifikationsnummer zu berücksichtigen.

2.7.3 Anforderungen an den Entwicklungsauftrag als Kommunikations- und Kooperationsplattform

Nachfolgend werden die Anforderungen dargestellt, die die Kommunikations- und Kooperationsplattform betreffen.

A7: Modellbasierte Abbildung des Entwicklungsauftrags

Eine zielorientierte Zusammenarbeit zwischen Strategischer Planung und Entwicklung erfordert eine Kommunikationsgrundlage. In diesem Zusammenhang ist die Verwendung von Modellen vielversprechend; sie ermöglichen eine einfache und gut verständliche Darstellung von komplexen Sachverhalten (vgl. Abschnitt 2.5.2). Durch die Verwendung einer gemeinsamen Sprache wird ein einheitliches Verständnis der Entwicklungsaufgabe sichergestellt (vgl. Abschnitt 2.6). Es besteht somit der Bedarf die entwicklungsrelevanten Informationen modellbasiert abzubilden. Ein modellbasierter Entwicklungsauftrag wird dem integrativen Charakter der Marktleistungsentstehung gerecht und fungiert im weiteren Verlauf der Entwicklung als Bindeglied zwischen Strategischer Planung und Entwicklung.

A8: Intuitives Verständnis durch eingängige grafische Notation

Der Mensch nimmt 75% seiner Umgebung visuell wahr und erhält daraus die notwendigen Informationen; Visualisierung erlaubt einen vereinfachten Zugang zu Daten, z.B. durch Klassifikation und Datenstrukturierung (vgl. Abschnitt 2.5.2). Vor diesem Hintergrund besteht der Bedarf an einer grafischen Notation, die ein intuitives Verständnis der Modellierungssprache ermöglicht (vgl. Abschnitt 2.6). Durch eine eingängige Wahl der Symbolik soll die Einarbeitungszeit auf ein Minimum reduziert werden.

A9: Benutzungsfreundliche Anwendung

Das wesentliche Kriterium für die Wahl einer Modellierungssprache ist ihre Benutzungsfreundlichkeit. Die Modellierungssprache ist so zu gestalten, dass der Modellersteller im Rahmen seiner Arbeit bestmöglich unterstützt wird. Als wesentlich gelten hier

eine strukturierte Modellierungsumgebung, die Bereitstellung eines Baukastens mit Grundbausteinen, Flüssen und Beziehungslinien, eine geringe Anzahl unterschiedlicher Konstrukte sowie die Unterstützung der Modellbildung durch ein Softwarewerkzeug und ein Workshop-Set (vgl. Abschnitt 2.5.2 und Abschnitt 2.6).

3 Stand der Technik

Ziel dieses Kapitels ist der Handlungsbedarf für eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge. Zu diesem Zweck werden Methoden und Ansätze aus dem Stand der Technik vor dem Hintergrund der in Abschnitt 2.7 identifizierten Anforderungen diskutiert.

Der Stand der Technik gliedert sich in drei Abschnitte. In Abschnitt 3.1 werden Ansätze zur Planung und Entwicklung von Marktleistungen analysiert, im Fokus stehen die Art der Übergabedokumente sowie der Zeitpunkt der Übergabe. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit den konkreten Bestandteilen der Übergabedokumente erfolgt in Abschnitt 3.2. Abschnitt 3.3 thematisiert verschiedene Modellierungssprachen. Ein Abgleich der Anforderungen mit dem Stand der Technik erlaubt die Ableitung des Handlungsbedarfs in Abschnitt 3.4.

3.1 Ansätze zur Planung und Entwicklung von Marktleistungen

Der Entwicklungsauftrag ist die wesentliche Schnittstelle zwischen Strategischer Planung und Entwicklung. Vor diesem Hintergrund thematisiert der folgende Abschnitt Methoden und Ansätze, die beide Bereiche des Entstehungsprozesses adressieren.

3.1.1 Vorgehen bei der Produktplanung nach FELDHUSEN ET AL.

Das Vorgehen zur Produktplanung nach FELDHUSEN ET AL. adressiert den Prozess von der Initiierung eines Projekts bis zur Erstellung der Anforderungsliste¹². Es lässt sich in sieben Phasen unterteilen (vgl. Bild 3-1) [FGN+13, S. 303ff.]. Die Phasen werden nachfolgend kurz vorgestellt.

Ausgangssituation analysieren: Gegenstand der ersten Phase ist das Erfassen und Sammeln von Daten bzw. Impulsen von außen. Sie können sowohl Auslöser für eine Produktplanung als auch Ansätze für die Suche nach neuen Produktideen liefern. Anschließend erfolgt die Analyse und Darstellung der aktuellen Situation des Unternehmens und/oder der Produkte [FGN+13, S. 303ff.].

Suchstrategie aufstellen: Ausgehend von der aktuellen Situation werden Suchfelder für Produktideen identifiziert. Basis hierfür liefern u.a. zukünftige Anforderungen und Bedürfnisse der Kunden, soziokulturelle Trends¹³ und die Technologie-Früherken-

¹² Dabei orientieren sich die Autoren an den Arbeiten von KRAMER sowie der VDI 2220 [Kra86], [VDI2220].

¹³ Dem Verständnis der Autoren folgend, beschreibt ein Trend *jede statistische erfassbare Tendenz* [FGN+13, S. 310].

nung¹⁴ sowie Problem-Lösungsidee-Kombinationen. Das Ergebnis dieser Phase ist ein Suchfeldvorschlag [FGN+13, S. 309ff.].

Produktideen finden: Gegenstand dieser Phase ist die systematische Generierung von Produktideen. Innovations-Workshops und Methoden wie bspw. die Extrapolation des Kundennutzens oder die systematische Parametervariation können einen wesentlichen Beitrag leisten. Gleiches gilt für die designgetriebene Ideengenerierung. Das Ergebnis dieser Phase ist eine Vielzahl von Produktideen [FGN+13, S. 311ff.].

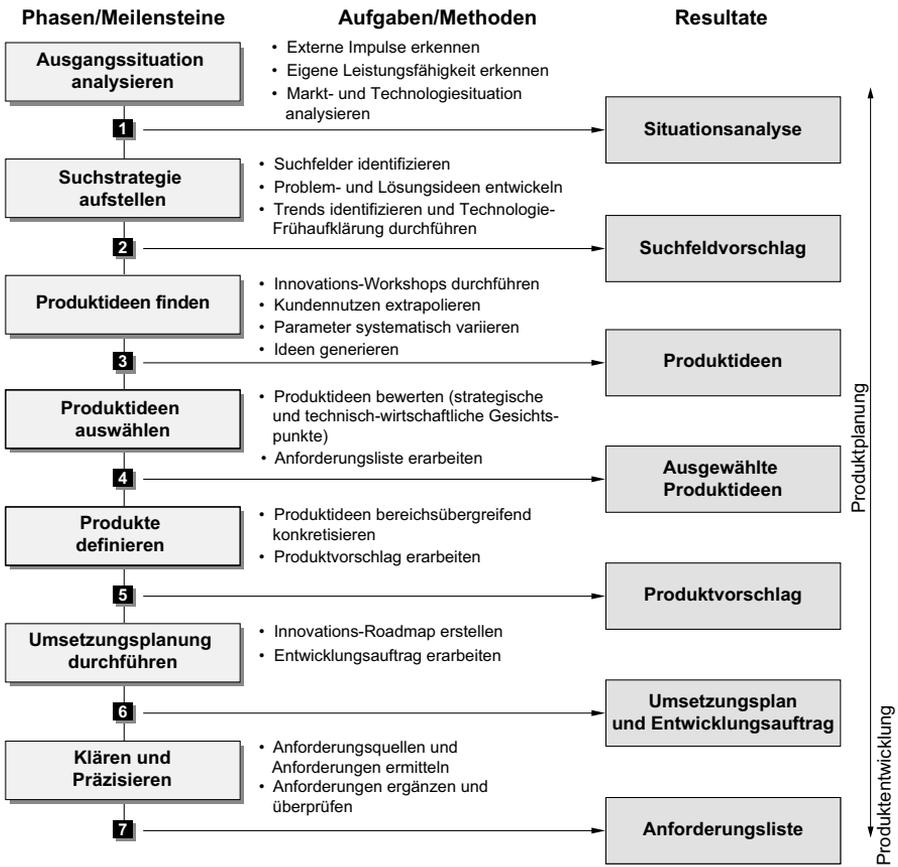


Bild 3-1: Vorgehen bei der Produktplanung in Anlehnung an FELDHUSEN ET AL. [FGN+13, S. 304]

Produktideen auswählen: Um den Aufwand der Produktplanung auf ein sinnvolles Maß zu begrenzen, wird im Rahmen dieser Phase die Anzahl der Produktideen redu-

¹⁴ Dem Verständnis der Autoren folgend, beschreibt Technologie-Frühaufklärung den Prozess zur gerichteten Suche und Erkennung unternehmensrelevanter Technologien [FGN+13, S. 304].

ziert. Dabei ist zu beachten, dass die ausgewählten Produktideen sowohl aus strategischer als auch aus technischer Sicht attraktiv sind. Vor diesem Hintergrund sollte der Produktentwicklungsbereich aktiv bei der Auswahl der Produktideen beteiligt werden. In diesem Rahmen sollte auch die zum Produktvorschlag gehörende Anforderungsliste gemeinschaftlich erarbeitet werden; dadurch wird gewährleistet, dass diese später in geeigneter Form vorliegt [FGN+13, S. 315f.].

Produkte definieren: In dieser Phase werden die ausgewählten Produktideen konkretisiert. Dazu werden im Wesentlichen Ansätze des methodischen Konstruierens verwendet. Hierbei ist es zweckmäßig, die Merkmale der späteren Anforderungsliste zu beachten; auf diese Weise können spätere Anpassungen in der Entwicklung vermieden werden. Spätestens in dieser Phase sollten Verkauf, Marketing, Entwicklungslabore und Konstruktion aktiv einbezogen werden [FGN+13, S. 317f.]. Das Ergebnis dieser Phase ist der Produktvorschlag.

Umsetzungsplanung durchführen: Die Umsetzung der Erfolg versprechenden Produktideen wird in einem übergreifenden Plan, einer sog. Innovations-Roadmap von der Unternehmensleitung festgelegt [Eve03, S. 27ff.]. Diese gilt als dynamisches Planungswerkzeug, das vor allem im Rahmen einer kontinuierlichen Produktplanung ständiger Überarbeitung unterliegt. Für die kurzfristigen Ziele des Umsetzungsplans wird ein Entwicklungsauftrag erteilt [FGN+13, S. 318f.].

Klären und Präzisieren: Durch den Entwicklungsauftrag wird die Produktentwicklung angestoßen; der erste Schritt besteht im Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung. Diese Phase definiert die Schnittstelle zwischen der Produktplanung und Produktentwicklung (vgl. Bild 3-1). Hierzu werden zunächst Anforderungsquellen und Anforderungen ermittelt und anschließend Anforderungen ergänzt und überprüft. Das Ergebnis ist die Anforderungsliste; die Zusammensetzung der Anforderungsliste nach FELDHUSEN ET AL. ist Gegenstand des Abschnitts 3.2.1 [FGN+13, S. 319].

Bewertung: Die Autoren liefern ein generisches Vorgehen zur Planung von technischen Produkten, welches sie durch Methodenvorschläge anreichern. Positiv hervorzuheben ist, dass die Autoren an verschiedenen Stellen des Vorgehens eine integrative Zusammenarbeit zwischen den Bereichen der Strategischen Produktplanung und Entwicklung fordern; dies ist vor allem bei den Phasen Auswahl von Produktideen sowie bei der Konkretisierung der Produktideen der Fall. Dafür schlagen die Autoren vor, die jeweiligen Fachdisziplinen in die relevanten Phasen einzubeziehen. Eine Kommunikationsplattform, die für eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit essentiell ist, wird nicht bereitgestellt. Im Rahmen des Vorgehens stellt der Entwicklungsauftrag ein wesentliches Ergebnis dar, durch ihn wird die nachfolgende Produktentwicklung angestoßen. Eine konkrete Beschreibung der Bestandteile des Entwicklungsauftrags bleiben die Autoren jedoch schuldig.

3.1.2 Ablaufplan der Produktplanung nach VDI 2220

Die Produktplanung umfasst die systematische Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produktideen und deren weitere Verfolgung. Sie gliedert sich in die Phasen Produktfindung, Produktplanungsverfolgung und Produktüberwachung [VDI2220, S. 2]. Bild 3-2 zeigt den Ablauf, die Phasen werden nachfolgend erläutert.

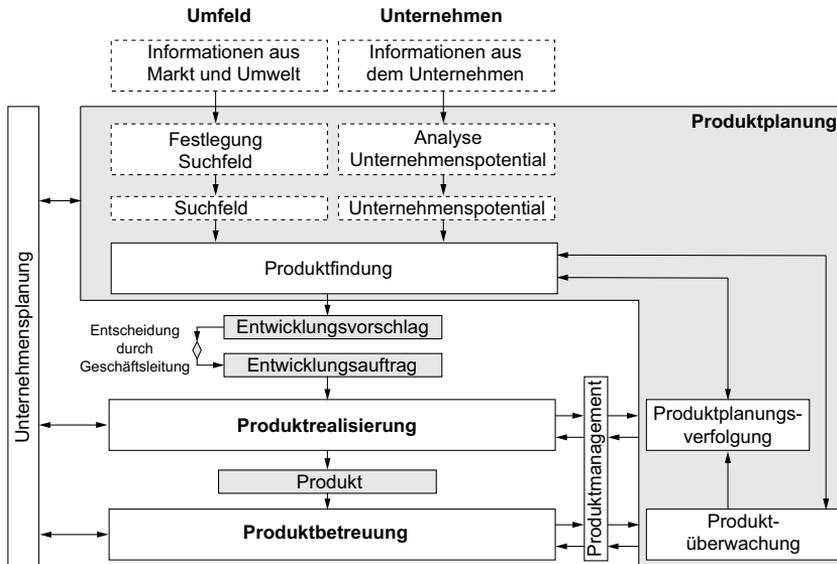


Bild 3-2: Ablauf der Produktplanung in Anlehnung an [VDI2220, S. 3]

Produktfindung: Die Phase der Produktfindung ist der wesentliche Aktionsbereich der Produktplanung. Ausgangspunkt stellen Informationen aus dem Umfeld sowie aus dem eigenen Unternehmen dar, auf deren Basis Suchfelder¹⁵ und Unternehmenspotentiale¹⁶ identifiziert werden. Ausgehend von den vorgegebenen Suchfeldern und unter Berücksichtigung des Unternehmenspotentials werden neue Produktideen ermittelt, Erfolg versprechende Ideen identifiziert und ein Entwicklungsvorschlag erarbeitet [VDI2220, S. 3ff.].

Der Entwicklungsvorschlag umfasst die Funktionen, das Arbeitsprinzip und die charakteristischen Daten eines Produkts. Den Kern des Vorschlags bilden die technischen Anforderungen, die das Produkt erfüllen muss. Darüber hinaus werden der vorgesehene

¹⁵ Im Rahmen der VDI-Richtlinie 2220 werden Suchfelder als Aktionsbereiche definiert, innerhalb derer nach neuen Produktideen gesucht werden soll [VDI2220, S. 4].

¹⁶ Der Definition der VDI-Richtlinie folgend beschreiben Unternehmenspotentiale die Gesamtheit der Möglichkeiten eines Unternehmens eine Nachfrage nach Problemlösungen zu erfüllen [VDI2220, S. 3].

Markt bzw. die Zielgruppe, zulässiger Entwicklungs- und Innovationsaufwand, die voraussichtliche Stückzahl pro Jahr, zulässige Herstell- und Betriebskosten sowie Termine bzw. Zeitpläne festgelegt und dokumentiert [VDI2220, S. 8].

Die Ergebnisse der Produktdefinition werden an die Geschäftsführung weitergegeben. Fällt diese Entscheidung positiv aus, wird aus dem Entwicklungsvorschlag ein Entwicklungsauftrag formuliert. Dieser stellt die Aufgabenstellung für die erste Phase der Produktrealisierung durch die Entwicklung dar [VDI2220, S. 8].

Produktplanungsverfolgung: Da die Produktrealisierung häufig längere Zeit in Anspruch nimmt, besteht die Möglichkeit, dass sich Voraussetzungen ändern oder getroffene Annahmen widerlegt werden. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, das neue Produkt im Rahmen der Produktentstehung zu kontrollieren. Zu diesem Zweck wird ein Projektverfolgungsplan erarbeitet und in regelmäßigen Abständen ein Abgleich der Ist-Situation mit dem im Entwicklungsauftrag definierten Soll durchgeführt. Im Fokus der Betrachtung stehen u.a. Kosten, Termine, Absatzwerte (Menge, Preis, Konkurrenz) und Amortisationskennzahlen sowie die grundsätzliche Zukunftsfähigkeit des Produkts. Liegen Abweichungen vor, so ist über die notwendigen Anpassungsmaßnahmen zu entscheiden [VDI2220, S. 8].

Produktüberwachung: Die Produktüberwachung beginnt mit der Einführung des Produkts auf dem Markt. Gegenstand sind die Kosten- und Erfolgsüberwachung von Produkten. Treten Planabweichungen auf, sind geeignete Maßnahmen einzuleiten [VDI2220, S. 8].

Bewertung

Die VDI 2220 liefert ein allgemeingültiges Vorgehen zur systematischen Suche und Auswahl Erfolg versprechender Produktideen. Die Planung und Konzeption von Dienstleistungen wird nicht betrachtet. Im Rahmen des Vorgehens stellt der Entwicklungsauftrag ein wesentliches Resultat dar: Er repräsentiert die Aufgabenstellung für die Produktrealisierung. Dabei erfolgt die Erarbeitung des Entwicklungsauftrags bereits durch die Entwicklungsabteilung; die Grundlage bildet der Entwicklungsvorschlag. Während die Inhalte des Entwicklungsauftrags nicht spezifiziert werden, geben die Autoren konkrete Hinweise zu den Bestandteilen des Entwicklungsvorschlags. Eine integrative Zusammenarbeit zwischen Strategischer Planung und Entwicklung wird nicht vordergründig thematisiert. Allerdings zeigt das Vorgehen, dass die Produktplanung auch nach dem Übergang in die Entwicklung in den Entstehungsprozess einbezogen werden sollte, um so einen Rückfluss von Informationen zu gewährleisten.

3.1.3 House of Value Creation nach FORZI und LAING

Bild 3-3 zeigt das House of Value Creation (HVC) nach FORZI und LAING. Es ist ein ganzheitlicher Ansatz für die Erarbeitung einer Marktleistung sowie dem zugrundeliegenden Geschäftsmodell. Die Säulen des HVC sind strategische Hebel, kundenorientier-

te Geschäftsmodellierung und das Geschäftsmodell. Jede Säule besteht aus sechs Ebenen. Bei der Geschäftsmodellentwicklung werden die Ebenen von der untersten zur obersten sequentiell durchlaufen. Ausgangspunkt bzw. Trigger für den Prozess sind interne oder externe Einflüsse, wie bspw. eine neue Geschäftsidee oder geänderte Rahmenbedingungen [FL03, S. 129]. Die Ebenen werden nachfolgend in aufsteigender Reihenfolge vorgestellt, im Fokus stehen die Phasen – die von den Autoren als Meta-Methoden bezeichnet werden.

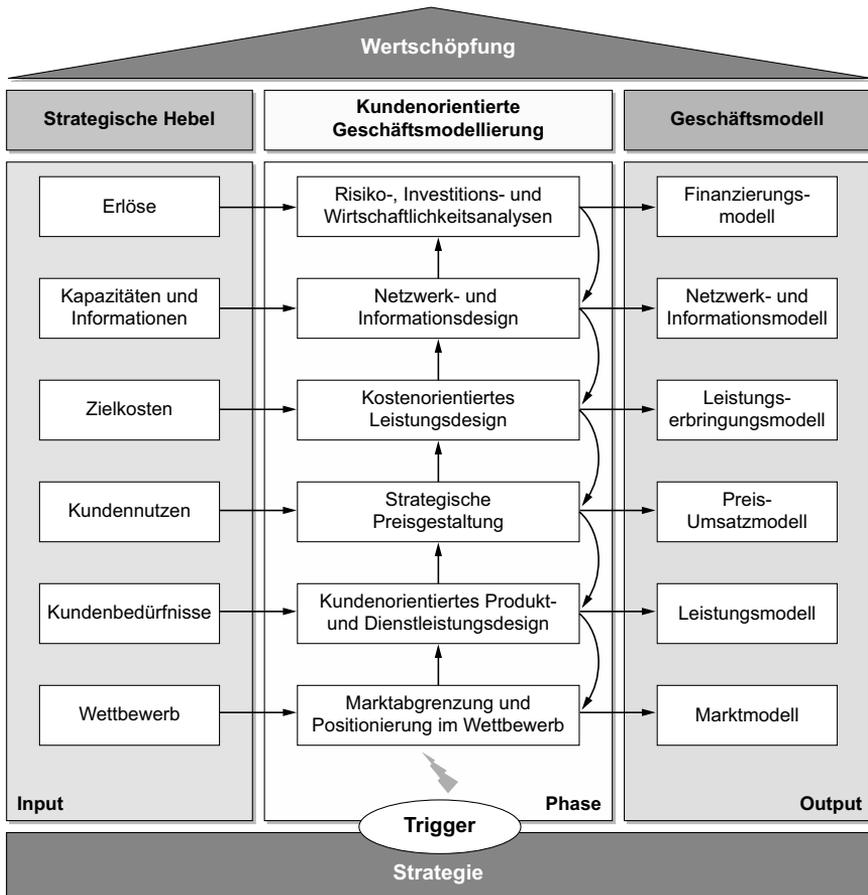


Bild 3-3: House of Value Creation in Anlehnung an [FL03, S. 120]

Marktabgrenzung und Positionierung im Wettbewerb: Für ein relevantes Marktsegment werden zunächst alle Marktakteure erfasst und die Rentabilität des Marktsegments abgeschätzt. Eingangsgröße sind allgemeine Branchen- und Wettbewerbsinformationen. Das Ergebnis ist das Marktmodell [FL03, S. 121ff.].

Kundenorientiertes Produkt- und Dienstleistungsdesign: Gegenstand dieser Ebene ist die Spezifikation der Marktleistung. Zu diesem Zweck werden Kundenbedürfnisse mittels des Quality Function Deployment (QFD) zu einer Marktleistung ausgestaltet. Als Ergebnis liegt das Leistungsmodell vor [FL03, S. 121ff.].

Strategische Preisgestaltung: Die Preisgestaltung für die Marktleistung erfolgt auf Basis des antizipierten Kundennutzens und orientiert sich an dem bereits realisierten Preisniveau des Wettbewerbers. Das Ergebnis ist das Preis-Umsatzmodell [FL03, S. 121ff.].

Kostenorientiertes Leistungsdesign: Ausgangspunkt dieser Phase stellen die Zielkosten sowie das Preis-Umsatzmodell der letzten Phase dar. Mittels Target-Costing wird eine Kostenobergrenze ermittelt, aus der durch ein kostenorientiertes Leistungsdesign Anforderungen an den Produktionsprozess resultieren. Das Leistungserbringungsmodell stellt das Ergebnis dar [FL03, S. 121ff.].

Netzwerk- und Informationsdesign: Gegenstand dieser Ebene ist die Make-or-Buy Entscheidung. Es wird festgelegt, welche Bestandteile der Leistung über Wertschöpfungspartner bezogen werden und welche selbst produziert werden. Eingangsgrößen sind die erforderlichen Kompetenzen, die Organisationsstruktur sowie die Technologieverfügbarkeit. Die Ergebnisse werden in einem Netzwerk- und Informationsmodell dokumentiert [FL03, S. 121ff.].

Risiko-, Investitions- und Wirtschaftlichkeitsanalysen: Auf Grundlage der erwarteten Erlöse werden abschließend Finanzierungsmöglichkeiten eruiert und mithilfe einer Risikoabschätzung priorisiert. Das Ergebnis ist das Finanzierungsmodell; dieses bietet Unterstützung bei der Suche nach Investoren [FL03, S. 121ff.].

Bewertung

FORZI und LAING liefern mit ihrem House of Value Creation ein systematisches und methodengestütztes Vorgehen zur Erarbeitung einer Marktleistung sowie dem zugrundeliegenden Geschäftsmodell. Der Strukturierungsrahmen bildet die unternehmerische Geschäftstätigkeit umfassend ab. Obwohl die Entwicklung von Marktleistung und Geschäftsmodell adressiert wird, werden ihre Wechselwirkungen nicht thematisiert. Die Dokumentation der erarbeiteten Ergebnisse erfolgt modellbasiert. Es wird allerdings nicht konkretisiert, welche Modellierungssprache Anwendung findet.

3.1.4 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte nach VDI 2221

Die VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ beschreibt ein allgemeingültiges und branchenunabhängiges Vorgehen in der Produktentwicklung. Die Richtlinie definiert Arbeitsabschnitte und Arbeitsergebnisse, die wegen ihrer generellen Logik und Zweckmäßigkeit als Leitlinie für

ein Vorgehen in der Praxis dienen sollen. Grundlage hierfür bildet die Systemtechnik als Problemlösungsansatz [Dae78] [VDI2221, S. 1ff.]. Das Vorgehen lässt sich in sieben Phasen gliedern (vgl. Bild 3-4).

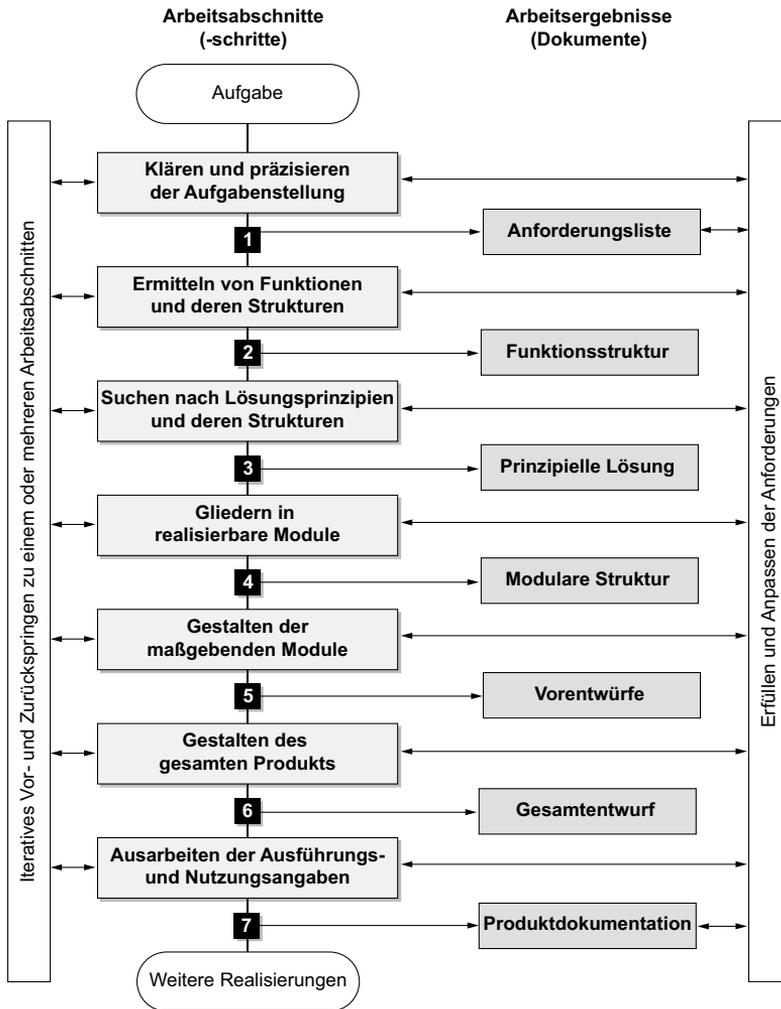


Bild 3-4: Ablauf der Produktplanung in Anlehnung an [VDI2221, S. 3]

Die Phasen werden je nach Aufgabenstellung vollständig, nur teilweise oder mehrmals durchlaufen. Nachfolgend werden die einzelnen Phasen erläutert [VDI2221, S. 8f.].

Klären und präzisieren der Aufgabenstellung: Ausgangspunkt dieser Phase ist eine Aufgabenstellung in Form von Anforderungen. Diese werden vom Kunden kommuniziert oder von der Produktplanung erarbeitet. In einem nächsten Schritt werden alle verfügbaren Informationen zusammengetragen, hinsichtlich Informationslücken analysiert

und Anforderungen ergänzt. Auf dieser Basis erfolgt die Formulierung der Aufgabenstellung durch den Konstrukteur, der in diesem Zusammenhang auch die erforderliche Strukturierung festlegt. Das Ergebnis ist eine Anforderungsliste. Im weiteren Verlauf repräsentiert die Liste eine Informationsunterlage, die stets auf dem aktuellen Stand zu halten ist; Erkenntnisse während des Entwicklungsablaufs können dazu führen, dass Anforderungen verändert oder ergänzt werden müssen. Die fortlaufende und konsequente Anpassung der Anforderungsliste betrifft alle Phasen der Produktentwicklung und muss die sich anschließenden Fertigungsbereiche umfassen. Die Anforderungsliste ist aber auch zur Produktplanung und zum Kunden offen, da dort spätere Änderungswünsche auftreten können [VDI2221, S. 8f.].

Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen: Gegenstand dieser Phase ist das Erarbeiten einer Funktionsstruktur. Dazu wird die Gesamtfunktion ermittelt und ihre Teilfunktionen festgelegt. Abschließend werden die Teilfunktionen durch Energie-, Stoff-, und Signalflüsse miteinander verknüpft. Das Ergebnis ist eine Funktionsstruktur [VDI2221, S. 10].

Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen: Anschließend werden für die Teilfunktionen Lösungsprinzipien gesucht. Hierzu werden in einem ersten Schritt physikalische, chemische oder andere Effekte ausgewählt und durch sog. wirkstrukturelle Festlegungen realisiert. Die Festlegungen bilden das Lösungsprinzip. Die Prinzipien werden anschließend zu einer Wirkstruktur verknüpft. Das Ergebnis ist eine prinzipielle Lösung [VDI2221, S. 10].

Gliedern in realisierbare Module: Die prinzipielle Lösung wird in realisierbare Module gegliedert. Die modulare Struktur dient als Vorbereitung für die Konkretisierung [VDI2221, S. 10].

Gestalten der maßgebenden Module: Gegenstand dieser Phase ist das Gestalten der für die Produkt- bzw. Systemoptimierung maßgebenden Module. Das Ergebnis sind Vorentwürfe [VDI2221, S. 10f.].

Gestalten des gesamten Produkts: Die Vorentwürfe der einzelnen Module werden nun zu einem Gesamtsystem verknüpft und die Lösung konkretisiert. Arbeitsergebnis ist ein Gesamtentwurf, der alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung enthält [VDI2221, S. 11f.].

Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben: Das Ausarbeiten dient der Detaillierung des bereits vorliegenden Gesamtentwurfs sowie der Produktdokumentation [VDI2221, S. 11f.].

Bewertung

Die VDI-Richtlinie 2221 beschreibt ein allgemeingültiges und branchenunabhängiges Vorgehen zur Entwicklung und Konstruktion technischer Systeme und Produkte. Die Spezifika von Dienstleistungen sind nicht Gegenstand der Richtlinie. Das Vorgehen

beginnt mit der Phase der Aufgabenklärung; Ausgangspunkt ist eine Aufgabenstellung in Form von Anforderungen. Konkrete Informationen hinsichtlich der einzelnen Bestandteile werden nicht benannt. Im weiteren Verlauf der Entwicklung wird die Anforderungsliste als der wesentliche Dreh- und Angelpunkt definiert; sie umfasst alle Änderungen. Diese werden allerdings nicht mehr an die Strategische Planung kommuniziert – es findet somit kein Rückfluss von Informationen statt. An der Schnittstelle zwischen Strategischer Planung und Entwicklung wird eine sequentielle Vorgehensweise propagiert: Die Strategische Planung erarbeitet eine Aufgabenstellung, die anschließend durch die Entwicklung übersetzt wird. In diesem Zusammenhang legt der Entwickler auch die Art der Darstellung fest.

3.1.5 Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme nach VDI 2206

Die VDI-Richtlinie 2206¹⁷ „Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme“ beschreibt ein generelles, fachdisziplinübergreifendes Vorgehen zur Entwicklung mechatronischer Systeme. Die Richtlinie hat den Anspruch, die Entwicklung ganzheitlich zu behandeln und somit eine wesentliche Grundlage für die Kommunikation und Kooperation der Fachdisziplinen zu schaffen [VDI2206, S. 3]. Das Vorgehen stützt sich im Wesentlichen auf die drei folgenden Elemente [VDI2206, S. 26ff.].

- 1) **Problemlösungszyklus auf der Mikroebene:** Der Problemlösungszyklus stellt eine Art Mikro-Logik dar, die als Leitfaden zur Bewältigung von vorhersehbaren und nicht vorhersehbaren Teilaufgaben und Problemen in jeder Phase eines Projekts Anwendung finden kann [HWF+12, S. 84f.], [VDI2206, S. 26]. Hierfür umfasst der Leitfaden eine Abfolge elementarer Schritte; beispielhaft sei an dieser Stelle die Situationsanalyse, Lösungssynthese, Analyse, Bewertung und Entscheidung genannt. Die Schritte lassen sich situationsspezifisch zusammenstellen [Dum11, S. 32], [HWF+12, S. 84f.], [VDI2206, S. 26].
- 2) **Das V-Modell auf Makroebene:** Das übergeordnete Vorgehen basiert auf dem V-Modell [BD95], [VDI2206, S. 26]. Es beschreibt das generische Vorgehen beim Entwurf mechatronischer Systeme, welches situationsspezifisch auszuprägen ist (vgl. Bild 3-5) [VDI2206, S. 29]. Abhängig von der Komplexität der Aufgabe sind die Phasen mehrmals zu durchlaufen:
 - **Anforderungen:** Den Ausgangspunkt bildet ein Entwicklungsauftrag. Die Aufgabenstellung wurde konkretisiert und anhand von Anforderungen beschrieben. Diese Anforderungen bilden zugleich den Maßstab, auf dessen Basis das spätere Produkt bewertet werden soll [VDI2206, S. 29].

¹⁷ Die Richtlinie versteht sich als Ergänzung zu den VDI-Richtlinien 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ und der VDI-Richtlinie 2224 „Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik“ [VDI2221], [VDI2224].

- **Systementwurf:** Im Rahmen des Systementwurfs wird das domänenübergreifende Lösungskonzept festgelegt; es beschreibt die wesentliche physikalische und logische Wirkungsweise des zukünftigen Produkts [VDI2206, S. 29f.].
- **Domänenspezifischer Entwurf:** Es folgt die Konkretisierung des Lösungskonzept in den beteiligten Domänen. In der Regel arbeiten die Fachdisziplinen¹⁸ parallel zueinander [VDI2206, S. 29f.].

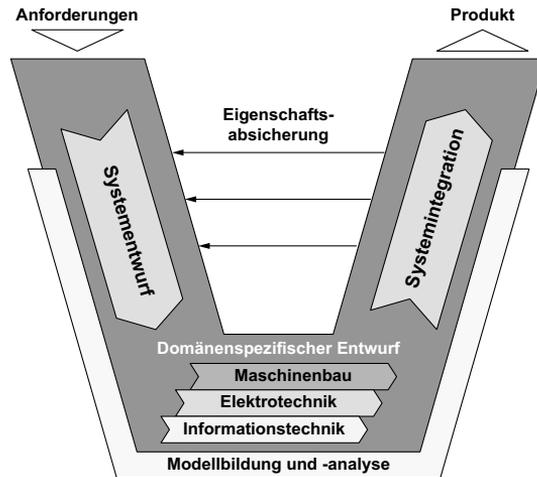


Bild 3-5: V-Modell als Makrozyklus in Anlehnung an [VDI2206, S. 32]

- **Systemintegration:** Die erarbeiteten Ergebnisse werden in einer Gesamtlösung zusammengeführt und das korrekte Zusammenwirken überprüft [VDI2206, S. 30].
- **Eigenschaftensicherung:** Der Entwurfsfortschritt wird fortlaufend auf Basis des spezifizierten Lösungskonzepts und der Anforderungen überprüft. Es gilt sicherzustellen, dass die tatsächlichen und die gewünschten Systemeigenschaften übereinstimmen [VDI2206, S. 30].
- **Modellbildung und -analyse:** Die Systemeigenschaften werden rechnergestützt modelliert und analysiert [VDI2206, S. 30].
- **Produkt:** Das Produkt ist das Ergebnis eines durchlaufenden Makrozyklus. Dabei muss das Produkt nicht zwingend das fertige, real existierende Erzeugnis sein; zunehmende Konkretisierungsgrade des zukünftigen Produkts sind ebenfalls gemeint [VDI2206, S. 30].

¹⁸ Im Rahmen dieser Arbeit werden die Begriffe Fachdisziplin und Domäne synonym verwendet.

- 3) **Prozessbausteine für wiederkehrende Arbeitsschritte:** Wiederkehrende Tätigkeiten im Rahmen des V-Modells werden als Prozessbausteine bezeichnet. Im Rahmen der Richtlinie existieren Prozessbausteine für die Teilschritte Systementwurf, Modellbildung und -analyse, domänenspezifischer Entwurf, Systemintegration und Eigenschaftsabsicherung.

Bewertung

Fokus der Entwicklungsmethodik sind mechatronische Systeme. Der Aufbau der Richtlinie, bestehend aus der Mikro- und Makro-Logik sowie den Prozessbausteinen für wiederkehrende Arbeitsschritte, liefert einen Erfolg versprechenden Ansatz für eine ganzheitliche Betrachtung. Die Modellbildung erlaubt die Bereitstellung einer Kommunikations- und Kooperationsplattform für die verschiedenen Disziplinen – allerdings erst im Rahmen des Systementwurfs. Der Entwicklungsauftrag ist Teil des V-Modells. Er bildet den Ausgangspunkt des Vorgehens und dient im Rahmen der Eigenschaftsabsicherung als Grundlage für die Bewertung der Systemeigenschaften. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit den Bestandteilen eines Entwicklungsauftrags findet im Rahmen der Entwicklungsmethodik nicht statt.

3.1.6 Methodik zur integrierten Produkterstellung nach EHRENSPIEL

Die Methodik zur integrierten Produkterstellung¹⁹ (IPE-Methodik) nach EHRENSPIEL ist ein bereichsübergreifender und allgemeingültiger Ansatz; er hat den Anspruch eine zielorientierte und bereichsübergreifende Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Akteuren zu fördern. Daher steht der Mensch im Mittelpunkt der Betrachtung [EM13, S. 325f.]. Die Basis der Methodik bildet die Annahme, dass die Produkterstellung, welche aus verschiedenen Ziel-, Handlungs- und Sachsystemen besteht, zu einem Gesamtsystem integriert werden kann (vgl. Bild 3-6) [EM13, S. 327f.].

Dabei beschreibt EHRENSPIEL das **Zielsystem** als eine strukturierte Menge der Zielvorgaben. Konkret handelt es sich um Anforderungen und deren Beziehungen untereinander. Sie können z.B. zeitlich oder hierarchisch geordnet sein und bilden die Grundlage für die Bewertung des entwickelten Sachsystems (s. u.) oder des Handlungsprozesses [EM13, S. 325f.].

Das **Sachsystem** umfasst die Ergebnisse, die aus dem ingenieurmäßigen Wirken hervorgehen. Diese sind nicht zwangsläufig materieller Natur; sie können auch immaterieller Natur sein wie z.B. Software. Ein Sachsystem ist dabei stets das Ergebnis des Handlungssystems (s. u.) d.h. es wird in diesem transformiert oder geht aus diesem hervor [EM13, S. 325f.].

¹⁹ Der Begriff „Produkterstellung“ ist mit dem in dieser Arbeit bisher verwendeten Begriff der „Produktentstehung“ gleich zu setzen. Der Begriffsverwendung EHRENSPIELS Rechnung tragend, wird im Rahmen dieses Abschnitts der Begriff „Produkterstellung“ verwendet.

Das **Handlungssystem** beinhaltet sämtliche Aktivitäten mit denen ein Sachsystem entsprechend einem Zielsystem generiert wird. Die Elemente können sowohl Sachmittel als auch Menschen oder Handlungen sein [EM13, S. 325f.].

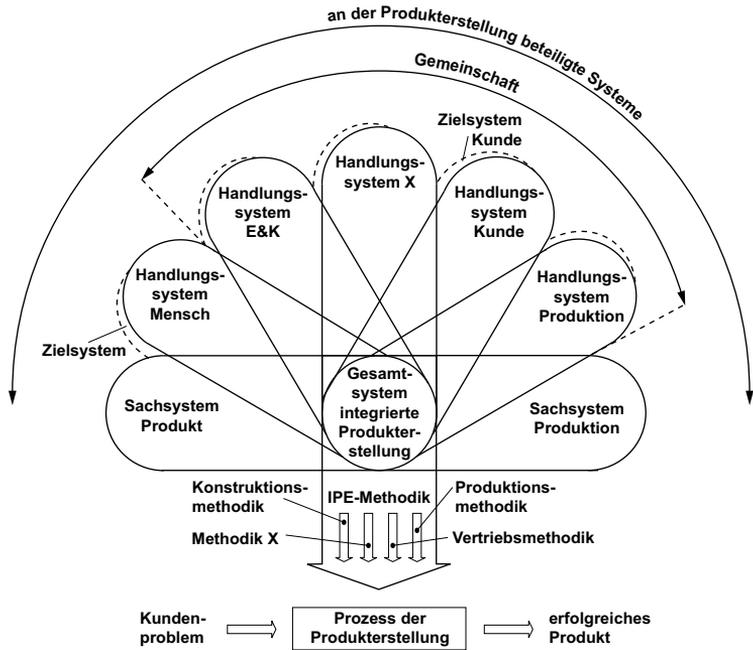


Bild 3-6: Die Methodik der integrierten Produkterstellung (IPE-Methodik) nach EHRLENSPIEL und MEERKAMM [EM13, S. 328]

Wesentlich bei der Methodik der integrierten Produkterstellung sind das Sachsystem Produkt, das Sachsystem Produktion, das Ziel- und Handlungssystem Mensch, das Ziel- und Handlungssystem Entwicklung und Konstruktion sowie das Ziel- und Handlungssystem Kunde. Gemeinsam bilden diese mit den Ziel- und Handlungssystemen weiterer an der Produkterstellung beteiligter Bereiche (der sog. Bereich X) das Gesamtsystem der integrierten Produkterstellung. Dieses setzt letztendlich den Prozess der Produkterstellung um, dessen Eingangsgröße das Kundenproblem ist und der ein erfolgreiches Produkt als Ausgangsgröße hat [EM13, S. 327f.].

Bewertung

Mit seiner IPE-Methodik liefert EHRLENSPIEL eine allgemeingültige Vorgehensweise für die Entwicklung interdisziplinärer technischer Systeme. Das Modell betrachtet den Produktentstehungsprozess ganzheitlich, wobei die Darstellung der einzelnen Subsysteme und ihrer Wechselwirkungen schematisch bleibt.

Der Entwicklungsauftrag wird im Rahmen des Modells nicht explizit adressiert. Er repräsentiert das Zielsystem zu einem bestimmten Zeitpunkt. Das Zielsystem wiederum, stellt

eine strukturierte Beschreibung von Anforderungen sowie deren Beziehungen untereinander dar. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit den einzelnen Bestandteilen des Zielsystems findet jedoch nicht statt.

3.1.7 Integriertes Produktentstehungs-Modell nach ALBERS

Das integrierte Produktentstehungs-Modell (kurz: iPeM) ist ein Rahmenwerk zur Erfassung und Unterstützung der Produktentstehung. Die Grundidee des Modells liegt in einer systemischen Betrachtungsweise der Produktentstehung; Basis dafür bilden die Arbeiten von ROPOHL zur Systemtheorie der Technik [Rop75]. Diesem Grundgedanken folgend wird die Produktentstehung in die drei Teilsysteme Ziel-, Handlungs- und Objektsystem unterteilt (vgl. Bild 3-7) [Alb10, S. 6f.].

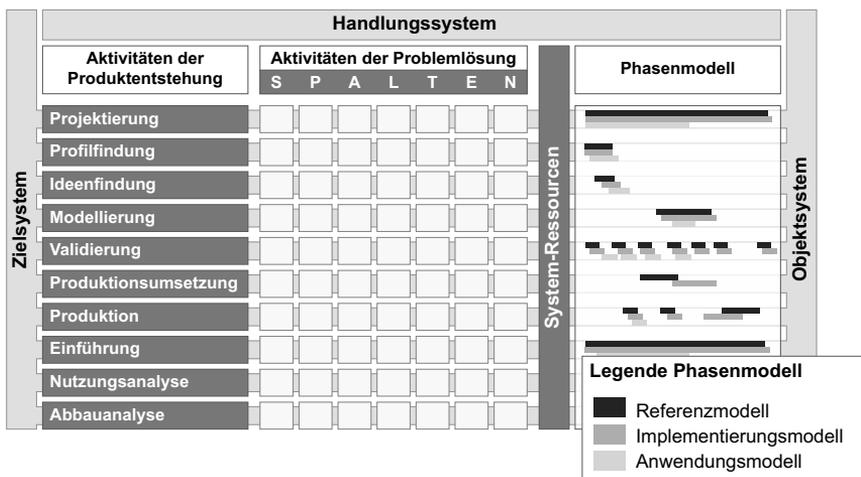


Bild 3-7: Integriertes Produktentstehungs-Modell in Anlehnung an [Alb10, S. 7]

Das **Zielsystem** beschreibt alle relevanten Ziele, ihre Wechselwirkungen, Randbedingungen und Begründungen, die für die Entwicklung eines Produkts erforderlich sind. Während des Entwicklungsprozesses wird das Zielsystem permanent erweitert und verfeinert [Alb10, S. 6ff.].

Das **Objektsystem** besteht aus den Ergebnissen der Aktivitäten. Dies sind bspw. Produktmodelle, Ergebnisse von Simulationen, Ergebnisse von Validierungsversuchen, aber auch mindestens ein marktfähiges Produkt [Alb10, S. 6ff.].

Das **Handlungssystem** überführt ein Zielsystem in ein Objektsystem. Diese Transformation gelingt durch verschiedene Aktivitäten und zugeordnete Ressourcen, wie bspw. Mitarbeiter, Methoden oder IT-Werkzeuge. Das Handlungssystem umfasst eine logische und eine zeitliche Sicht. Die logische Sicht wird gebildet durch die Aktivitäten der Produktentstehung und die Aktivitäten des Problemlösungsansatzes. Während die Akti-

vitäten der Produktentstehung den Makro-Zyklus kennzeichnen, repräsentieren die Aktivitäten des Problemlösungsansatzes den Mikro-Zyklus; dieser gliedert sich in sieben Schritte, die mit dem Akronym SPALTEN²⁰ umschrieben werden. Zusammen spannen die beiden eine Aktivitätenmatrix auf. Diese Matrix bildet einen universellen logischen Rahmen für die Modellierung von Produktentstehungsprozessen. Im Phasenmodell des iPeM werden die Aktivitäten in einen zeitlichen Bezug (zeitliche Sicht) zueinander gesetzt und ermöglichen somit die Abbildung von branchen-, unternehmens- oder produktspezifischen Referenzmodellen sowie von Implementierungs- und Anwendungsmodellen. Dieser Bereich repräsentiert die zeitliche Sicht [Alb10, S. 8ff.].

Im iPeM steht nicht die Bereitstellung eines allgemeingültigen präskriptiven Modells im Vordergrund. Vielmehr soll der Prozess zur Erstellung zweckmäßiger Modelle für jeweils einzigartige Produktentstehungsprozesse bestmöglich unterstützt werden [Alb10, S. 6ff.].

Bewertung

ALBERS liefert mit seinem iPeM ein systemisches Modell zur Produktentwicklung. Es werden die grundsätzlichen Aufgabenkomplexe der Produktentwicklung und eine allgemeine Problemlösungsstrategie bereitgestellt. Eine methodische Auseinandersetzung mit dem Thema Entwicklungsauftrag findet nicht statt. Grundsätzlich kann der Entwicklungsauftrag aber dem Zielsystem zugeordnet werden. ALBERS folgend besteht das Zielsystem aus den relevanten Zielen, ihren Wechselwirkungen, Randbedingungen und Begründungen, die für die Entwicklung eines Produkts erforderlich sind. Somit hat das Zielsystem das Potential, ein umfassendes Verständnis des Produkts bereitzustellen. Informationen, die die Planung und Abwicklung des Projekts betreffen, liefert das Phasenmodell. Hierbei stehen zeitliche Rahmenbedingungen im Vordergrund. Hilfsmittel zur modellbasierten Darstellung der Inhalte werden nicht bereitgestellt.

3.1.8 ZOPH-Modell nach NEGELE

Mit seinem ZOPH-Modell liefert NEGELE einen Ansatz zur ganzheitlichen Betrachtung der Produktentwicklung. Die Buchstaben ZOPH stehen dabei für Ziel-, Objekt-, Prozess- und Handlungssystem. Diese vier in Anlehnung an die Systemtechnik definierten Subsysteme bilden die gesamte Produktentwicklung ab (vgl. Bild 3-8). Das Modell

²⁰ SPALTEN ist ein generischer Problemlösungsprozess für technische Problemstellungen. Das Akronym steht für [Alb10, S. 8ff.]:

- Situationsanalyse (Situation Analysis),
- Problemeingrenzung (Problem Containment),
- Alternative Lösungssuche (Search for Alternative Solutions),
- Lösungsauswahl (Selection of Solutions),
- Tragweitenanalyse (Analysis of the Level of Fulfillment),
- Entscheiden/Umsetzen (Make Decision/Implement) und
- Nacharbeiten/Lernen (Recapitulate/Learn).

adressiert die Abstimmung von Informationsflüssen, die transparente Planung der im Rahmen der Produktentwicklung durchzuführenden Tätigkeiten und die Vernetzung aller verfügbaren Informationen. Für eine widerspruchsfreie Modellierung des Gesamtsystems, ist die Vernetzung der Subsysteme Ziel-, Objekt-, Prozess- und Handlungssystem erforderlich. Zu diesem Zweck stellt das ZOPH-Modell eine einheitliche systemische Modellierungssprache zur Verfügung [Neg06, S. 138ff.].

Im **Objektsystem** werden Voraussetzungen, zu bearbeitende Gegenstände und die Ergebnisse der Entwicklungstätigkeiten bzw. -prozesse beschrieben. Es beinhaltet also alle Artefakte sowie das (endgültige) Produkt [Neg06, S. 138ff.].

Das **Handlungssystem** beschreibt die sachlichen und personellen Ressourcen der Produktentwicklung und deren Abhängigkeiten in Form der Aufbauorganisation [Neg06, S. 138ff.].

Die während der Produktentwicklung erforderlichen Aktivitäten werden im **Prozesssystem** beschrieben. Ferner werden die verschiedenen Abhängigkeiten, Flüsse und Verknüpfungen zwischen den Prozesselementen abgebildet [Neg06, S. 138ff.].

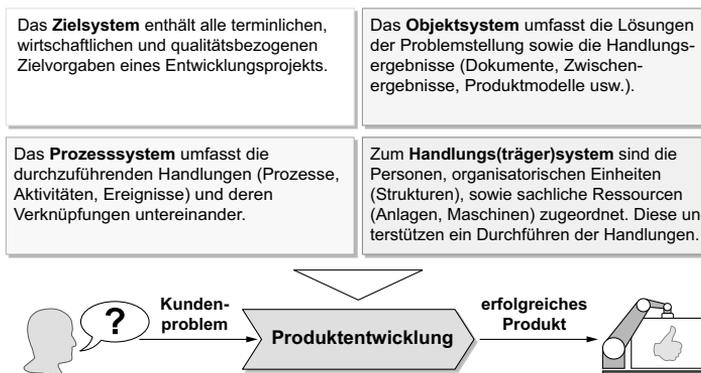


Bild 3-8: ZOPH-Modell der Produktentwicklung in Anlehnung an [Neg06, S.139]

Das **Zielsystem** umfasst alle Ziele, die für das Erarbeiten der richtigen Lösung relevant sind, ohne jedoch die Lösung selbst zu beschreiben. So beschreiben Produktziele bspw. Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt; Prozessziele betreffen den Entwicklungsablauf sowie die zeitlich-inhaltlichen, finanziellen und qualitätsbezogenen Erwartungen. Ferner werden auch die Zusammenhänge der Ziele und Anforderungen im Zielsystem abgebildet. Für die Strukturierung des Zielsystems schlägt NEGELE zwei Kriterien vor: *Betroffene Stakeholder*, wie z.B. Nutzer, Kunde oder Gesetzgeber und *Produktlebenszyklusphasen*, wie z.B. Konzeption und Produktion (vgl. Bild 3-9).

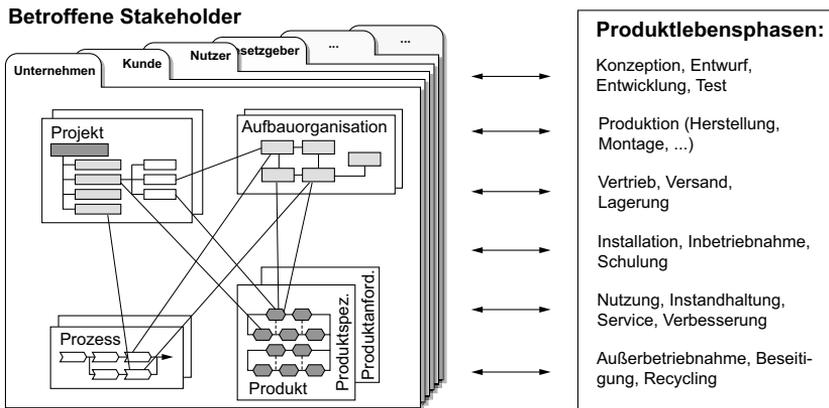


Bild 3-9: Mögliche Strukturierung der Inhalte des Zielsystems in Anlehnung an [Neg06, S. 142]

Für eine möglichst umfassende Ermittlung der Anforderungen schlägt NEGELE vor, für jeden Stakeholder zu prüfen, ob und welche Anforderungen bzw. Randbedingungen er bzgl. einer Lebensphase hat. In Anlehnung an das ZOPH-Modell können die Zielsysteminhalte auch in Umwelt-, Projekt-, Prozess- und (Aufbau-) Organisationsziele gegliedert werden. Da nicht alle Ziele gleich bedeutend sind, wird abschließend die Zielpriorität festgelegt. Für weitere Strukturierungsansätze verweist NEGELE auf etablierte Strukturierungsansätze wie PAHL und BEITZ (vgl. Abschnitt 3.2.1) oder EHRENSPIEL (vgl. Abschnitt 3.2.2) [Neg06, S. 141ff.]. Die Modellierung des Zielsystems erfolgt auf Basis einer systemtechnischen Modellierungssprache (vgl. Bild 3-10). Für jedes Zielsystem-Element werden *Eigenschaften* festgelegt; diese können sowohl quantitativer als auch qualitativer Natur sein. Die *Funktion* beschreibt den Zweck oder die Wirkung des Zielsystem-Elements. Durch die Verwendung von Ordnungsrelationen können Ziele dekomponiert und hierarchisch geordnet werden. Ferner ist es auch möglich, Beziehungen zwischen Zielen innerhalb und außerhalb des Zielsystems darzustellen [Neg06, S. 144ff.].

Bewertung

Mit seinem ZOPH-Modell liefert NEGELE eine sehr gute Strukturierung des Entwicklungsprozesses und klassifiziert die Bestandteile der Subsysteme. Es werden sachdienliche Hinweise zur Erarbeitung des Zielsystems geliefert; u.a. wird in diesem Zusammenhang neben eigenen Vorschlägen auch auf die etablierte Hauptmerkmalsliste nach PAHL und BEITZ [PBS+03] verwiesen. Darüber hinaus werden Wechselwirkungen der Zielelemente untereinander sowie zu anderen Subsystemen dargestellt. Die modellbasierte Darstellung leistet einen Beitrag zur Steigerung der Transparenz für die an der Entwicklung beteiligten Akteure. Allerdings ist die gewählte grafische Notation wenig übersichtlich – dies ist vor allem bei komplexen Modellen der Fall. Das ist einer intuitiven Anwendung nicht zuträglich.

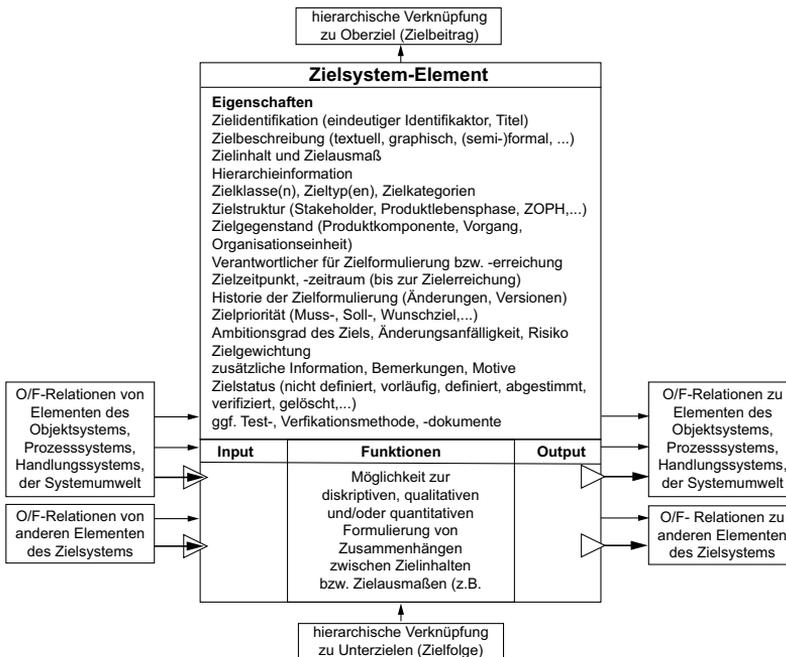


Bild 3-10: Modellierung der Zielsysteminhalte nach NEGELE [Neg06, S. 145]

3.1.9 5-Ebenen-Modell nach HITCHINS

HITCHINS beschreibt die Theorien und Methoden des Systems Engineering im Sinne einer angewandten Systemwissenschaft: Sein 5-Ebenen-Modell umfasst produkt-, projekt- oder system-, unternehmens-, industrie- und sozio-ökonomische Aspekte des Systems Engineering. Dabei repräsentiert ein Aspekt immer eine Ebene; jede Ebene ist integraler Bestandteil der folgenden Ebene (vgl. Bild 3-11). Dadurch sind alle Ebenen miteinander vernetzt. Nachfolgend werden die einzelnen Ebenen kurz erläutert [Hit07, S. 114].

- 1) **Produkt SE:** Die erste Ebene betrifft das zu entwickelnde (optimale) System²¹. Das umfasst das zugrundeliegende Problem, das Lösungskonzept, die Anforderungen und Wechselwirkungen, die Systemarchitektur sowie die erforderlichen Tests [Hit07, S. 114ff.].
- 2) **Projekt SE:** Hierunter fallen Referenzmodelle und Vorgehensweisen zur Planung und Steuerung des Entwicklungsprozesses; Referenzmodelle sind bspw. das V-Modell der Softwareentwicklung [Hit07, S. 117ff.].

²¹ Häufig ist die Wahrnehmung von Systems Engineering auf diese Ebene beschränkt [Hit07, S. 114].

- 3) **Unternehmensbezogenes SE:** In einem Unternehmen existieren in der Regel eine Vielzahl von Projekten. Die zentrale Aufgabe auf dieser Ebene ist die Optimierung der Wertschöpfung in einem Unternehmen [Hit07, S. 120f.].
- 4) **Industriebezogenes SE:** Hier steht das Zusammenwirken der einzelnen Unternehmen in (globalen) Wertschöpfungsnetzen im Fokus [Hit07, S. 121f.].
- 5) **Sozioökonomisches SE:** Gegenstand dieser Ebene ist das Verhältnis zu den Stakeholdern (Mitarbeiter, Kapitalgeber, Behörden etc.). Diese verfolgen im Kontext des Systems Ziele und verfügen über Einflussmöglichkeiten [Hit07, S. 122f.].

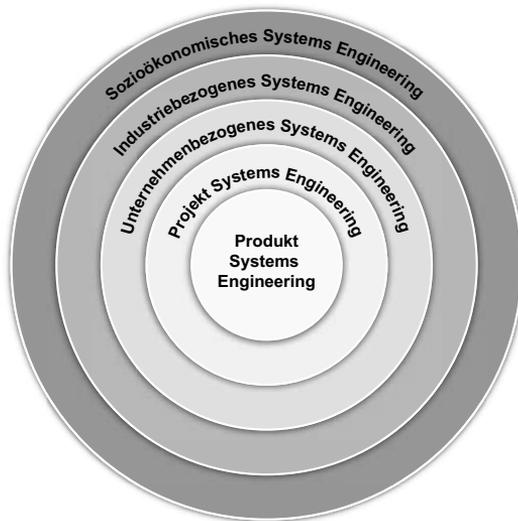


Bild 3-11: Das 5-Ebenen-Modell nach HITCHINS in Anlehnung an [Hit07, S. 114]

Bewertung

Mit seinem 5-Ebenen-Modell liefert HITCHINS ein Rahmenwerk für eine ganzheitliche Betrachtung des zu entwickelnden Systems. Im Fokus der Betrachtung steht das Produkt; aufgrund des hohen Abstraktionsgrades besteht die Möglichkeit, dieses auch auf die Analyse von Dienstleistungen zu übertragen. Somit ermöglicht das Modell eine umfassende Analyse der zu entwickelnden Marktleistung. Alle Ebenen sind miteinander vernetzt. Durch die Darstellung der Beziehungen zwischen Elementen unterschiedlicher Ebenen können Hintergrundinformationen und Anforderungsquellen abgebildet werden. Durch die Analyse der einzelnen Ebenen in aufsteigender Reihenfolge wird der Anwender gefordert, das eigene Betrachtungsfeld sukzessive zu erweitern. Das ermöglicht eine strukturierte und ganzheitliche Betrachtung komplexer Systeme.

3.2 Ansätze zur Spezifikation der Entwicklungsaufgabe

Der Entwicklungsauftrag ist der Startpunkt für den Entwicklungsprozess; er repräsentiert die Aufgabenstellung. In der Praxis, aber auch in der Literatur, haben sich eine Vielzahl verschiedener Bezeichnungen etabliert (vgl. Abschnitt 2.1.4). Gegenstand dieses Abschnitts sind Ansätze zur Spezifikation der Entwicklungsaufgabe. Zunächst werden in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.2 die in den Ingenieurwissenschaften etablierten Ansätze zur Entwicklung von Anforderungslisten thematisiert. Im Rahmen des Systems Engineering wird eine ganzheitliche Sichtweise propagiert, daher ist der generische Zielkatalog nach HABERFELLNER ET AL. Gegenstand des Abschnitts 3.2.3. Ferner wird in Abschnitt 3.2.4 die Methode zur Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung nach EBEL vorgestellt. Abschließend widmet sich der Abschnitt 3.2.5 dem Layer Modell für hybride Leistungsbündel nach MÜLLER.

3.2.1 Aufbau und Erstellung der Anforderungsliste nach FELDHUSEN ET AL.

Gegenstand dieses Abschnitts ist die systematische Erarbeitung der Anforderungsliste nach FELDHUSEN ET AL.²² Die Ausführungen in Abschnitt 3.1.1 zeigen, die Phase „Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung“ ist die wesentliche Schnittstelle zwischen den beiden Bereichen Produktplanung und Produktentwicklung. Wesentliches Ergebnis der Phase ist die Anforderungsliste; dabei repräsentiert die Anforderungsliste in dieser Phase die Zusammenstellung sämtlicher zuvor identifizierten Anforderungen an das Produkt [FGN+13, S. 319f.]. Diesem Grundverständnis folgend, ist die Anforderungsliste eine Konkretisierung und Erweiterung des Entwicklungsauftrags. Die wesentlichen Aktivitäten bei der Erarbeitung von Anforderungslisten unterteilen sich in die Bereiche Anforderungsquellen und Anforderungen ermitteln sowie Anforderungen ergänzen und überprüfen. Beide werden nachfolgend vorgestellt.

Anforderungsquellen und Anforderungen ermitteln: Zunächst werden Anforderungsquellen und ihre Anforderungen identifiziert und dokumentiert; dabei ist die Zuordnung von Anforderungsquelle und Anforderung wesentlich. So wird bspw. festgelegt, ob es sich bei der zugrundeliegenden Anforderung um eine vom Kunden explizit geäußerte Anforderung oder eine aus der Erfahrung des Unternehmens resultierende Anforderung handelt. Grundsätzlich unterteilen die Autoren die Anforderungsquellen in Anlehnung an POHL in die drei Kategorien Personen (z.B. Kunden, Monteure, etc.), Produkte (z.B. Konkurrenzprodukte, ähnliche Produkte im Unternehmen, etc.) und Dokumente (z.B. Gesetze, Normen etc.) [Poh08]. Bild 3-12 zeigt beispielhaft, welche Anforderungsquellen bei der Produktentwicklung berücksichtigt werden können.

²² Basis für das Vorgehen sowie zur Struktur der Anforderungsliste liefern die Arbeiten von PAHL und BEITZ [PB97], [PBS+03], [PBF+07].

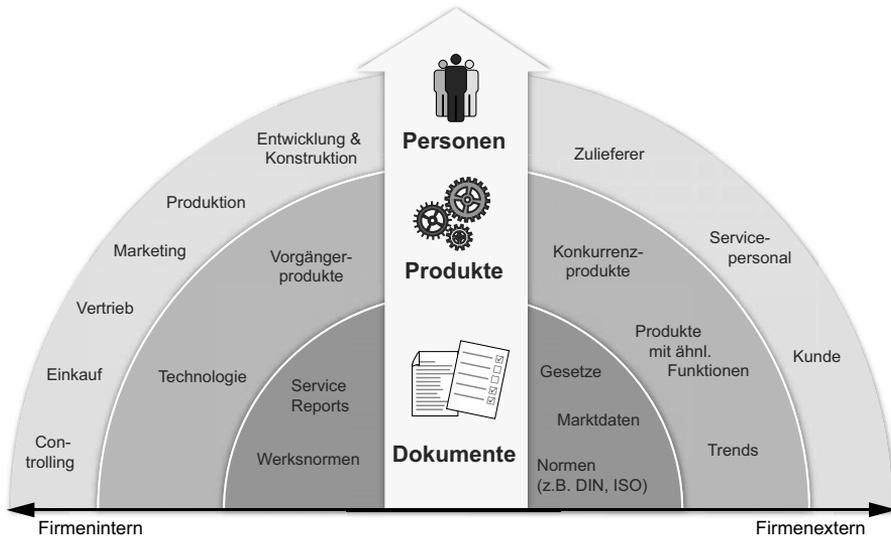


Bild 3-12: Mögliche Anforderungsquellen in Anlehnung an FELDHUSEN ET AL. [FGN+13, S. 328]

Für eine effiziente Identifikation von Anforderungsquellen empfehlen FELDHUSEN ET AL. die Erarbeitung einer unternehmensspezifischen Checkliste von Anforderungsquellen [FGN+13, S. 327f.]. Auf Basis geeigneter Quellen werden nun alle intuitiv hilfreich erscheinenden Anforderungen systematisch dokumentiert.

Anforderungen ergänzen und überprüfen: Gegenstand dieser Phase ist die systematische Ergänzung der zuvor intuitiv identifizierten Anforderungen. Hierfür stellen FELDHUSEN ET AL. eine Hauptmerkmalsliste zur Verfügung (vgl. Bild 3-13). Sie dient als Leitlinie: Ausgehend von den konkreten Punkten der Hauptmerkmalsliste werden mittels Assoziationen Erkenntnisse hervorgerufen, die zu relevanten Anforderungen führen. [FGN+13, S. 304f.]

Die Hauptmerkmale werden den drei folgenden Bereichen zugeordnet, die dem Anwender eine Orientierung für die Abarbeitung der Liste zur Verfügung stellen [FGN+13, S. 330]:

- **Konzept:** Merkmale, die das zu entwickelnde Produkt direkt betreffen.
- **Produktlebenszyklusphase:** Merkmale, die aus der Interaktion mit dem Produkt resultieren.
- **Organisation:** Aspekte, die eine reibungslose Durchführung des Projekts ermöglichen

Konzept		Produktlebensphase	
Stoff <ul style="list-style-type: none"> • Ein- und Ausgangsprodukte • Hilfsstoffe • vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetz u. ä.) • Materialfluss und -transport 	Elektrik/ Elektronik <ul style="list-style-type: none"> • Nennspannung • Nennstromung • Netzschwankungen • Sicherung • Schirmung • Filterung • EMV • Anschluss • Verdrahtung • Isolation • Luft-/ Kriechstrecken • Stecker • Modulordnung • Funktionsgruppen • SMD-Bauteile • Bauteilverfügbarkeit • Zugänglichkeit • Austausch 	Einkauf <ul style="list-style-type: none"> • Make-or-Buy-Strategie • A-Lieferanten • Local-Content • Katalogbaugruppen • Operativer/strategischer Einkauf • Datenaustausch 	Instandhaltung <ul style="list-style-type: none"> • Wartungsfreiheit bzw. Anzahl u. Zeitbedarf der Wartung • Inspektion • Austausch und Instandsetzung • Reinigung • Schmierung • Einsatzort
Energie <ul style="list-style-type: none"> • Leistung • Verlust • Wirkungsgrad • Zustandsgrößen • Erwärmung • Kühlung • Anschlussenergie • Speicherung • Arbeitsaufnahme • Energieumformung 	Software <ul style="list-style-type: none"> • Integration • Schnittstellen • Updates • Hardware • Testbarkeit • Notbetrieb 	Fertigung <ul style="list-style-type: none"> • Einschränkung durch Produktionsstätte • Größte herstellbare Abmessungen • Bevorzugtes Fertigungsverfahren • Fertigungsmittel • Mögliche Qualität und Toleranzen 	Recycling <ul style="list-style-type: none"> • Wiederverwendung • Entsorgung • Endlagerung • Beseitigung • Schad- und Gefahrstoffe • Recyclingkritische Stoffe • Zugänglichkeit • Lösbarkeit
Signal <ul style="list-style-type: none"> • Ein- und Ausgangssignale • Anzeigeart • Betriebsgeräte • Überwachungsgeräte • Signalform 	Sicherheit <ul style="list-style-type: none"> • Unmittelbare Sicherheitstechnik • Mittelbare Sicherheitstechnik • Hinweisende Sicherheitstechnik • Betriebssicherheit • Arbeitssicherheit • Umweltsicherheit • Gefährdungspotential • Grenzkisiko • Risikobewertung 	Kontrolle <ul style="list-style-type: none"> • Mess- und Prüfmöglichkeit • besondere Vorschriften (z.B. TÜV, DIN, ISO) 	Transport <ul style="list-style-type: none"> • Begrenzung durch Hebezeuge • Bahnprofil • Transportwege nach Größe und Gewicht • Versandart und -bedingungen • Lieferzeit
Geometrie <ul style="list-style-type: none"> • Abmaße/Dimensionen • Durchmesser • Bauraum • Anzahl • Anordnung • Anschluss • Erweiterung 	Ergonomie <ul style="list-style-type: none"> • Mensch-Maschine-Beziehung • Anzeige und Bedienelemente • Anthropometrische Maße • Bedienkräfte • Taktile Kodierung • Haptik 	Montage <ul style="list-style-type: none"> • Besondere Montagevorschriften • Zusammenbau • Einbau • Baustellenmontage • Fundamentierung • Werkzeuge • Hilfsstoffe • Sicherheitsdatenhalter 	Gebrauch <ul style="list-style-type: none"> • Geräuscharm • Verschleißrate • Anwendung und Absatzgebiet • Einsatzort (z.B. schwefelige Atmosphäre, Tropen, ...) • Feuchtigkeit • Dienstleistung
Mechanik <ul style="list-style-type: none"> • Gewicht • Last • Kräfte • Reibung • Wärmespannung • Stabilität • Festigkeit • Kinematik • Kinetik 			
Industrial Design <ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung • Ästhetische Funktionen • Anzeichenfunktion • Symbolfunktionen • Produktwiedererkennungswert • Farbgebung • Sinus-Mileu 			
		Organisation	
		Planung <ul style="list-style-type: none"> • max. zulässige Herstellkosten • Werkzeugkosten • Investition • Amortisation • Ende der Entwicklung • Liefertermin • Netzplan für Zwischenschritte • Pönalen • Unternehmens-Know-How 	Nachhaltigkeit <ul style="list-style-type: none"> • Öko-Bilanz • Energieeffizienz • Systemkosten
			Markt <ul style="list-style-type: none"> • Wettbewerber • Kundensegmente • Kundenverhalten u. -bedürfnisse • marktüblicher Standart • Verkaufszahlen • Trends

Bild 3-13: Hauptmerkmalsliste nach FELDHUSEN ET AL. [FGN+13, S. 331]

Bewertung

Das Vorgehen zur systematischen Identifikation und Dokumentation von Anforderungen anhand der Hauptmerkmalsliste ist bereits etablierter Standard in den Ingenieurwissenschaften. Es liefert einen gut nachvollziehbaren und anwendungsnahen Leitfaden, der die Identifikation von Anforderungsquellen und Anforderungen sinnvoll unterstützt. Im Fokus der Betrachtung steht das technische Produkt – die Ermittlung von Anforderungen an eine Dienstleistung ist nicht Gegenstand des Vorgehens. Die Identifikation von Anforderungsquellen ermöglicht den Bezug zu Hintergrundinformationen; auch die Ermittlung und Dokumentation von organisatorischen Rahmenbedingungen wird betrachtet. Für die Dokumentation der identifizierten Anforderungen wird auf die etablierte Anforderungsliste mit einer textuellen Beschreibung der Anforderungen zurückgegriffen. Je nach Komplexität des Produkts können diese jedoch schnell unübersichtlich werden. Die Anforderungen hinsichtlich des Einsatzes als Kommunikations- und Kooperationsplattform werden nicht erfüllt.

3.2.2 Aufgabenklärung nach EHRENSPIEL und MEERKAMM

EHRENSPIEL und MEERKAMM folgend ist keine Phase in der Produkterstellung so ausschlaggebend für den Erfolg eines Produkts wie die Aufgabenklärung. Ausgangspunkt dieser Phase ist eine Aufgabenstellung. Diese kann in unterschiedlicher Art und Weise an die Entwicklung und Konstruktion herangetragen werden [EM13, S. 391]:

- vom Kunden als Aufforderung zu einem **Angebot** oder als **Auftrag** aufgrund eines früheren Angebots,
- von externen oder unternehmensinternen Stellen als **Entwicklungsauftrag** oder
- von unternehmensinternen Stellen als **Verbesserungsvorschlag** eines vorhandenen Produkts.

Ein zusammenfassendes Deckblatt eines Entwicklungsauftrags aus der Praxis ist in Bild 3-14 dargestellt [EM13, S. 399f.]. Den Autoren folgend, ist die Aufgabenstellung allein in der Regel nicht ausreichend, um der Entwicklung ein umfassendes Verständnis der geplanten Leistung zu vermitteln. Vielmehr rücken die Autoren eine intensive Kommunikation und Kooperation zwischen der Entwicklung und dem Auftraggeber in den Fokus der Betrachtung. Für eine zielführende Diskussion schlagen die Autoren die Nutzung von Checklisten, Leitlinien und Fragelisten vor. Das Ergebnis dieser Gespräche ist eine „gelebte“ und immer wieder aktualisierte Anforderungsliste [EM13, S. 391ff.]. Sie umfasst sowohl technisch-wirtschaftliche als auch organisatorische Anforderungen (vgl. Bild 3-15) [EM13, S. 399f.].

ENTWICKLUNGSaufTRAG		Bezeichnung:		Abteilung:			
Auftragsnummer:				Projektleiter:			
Erzeugnisnummer:				Tag: Änderung:			
1 Beschreibung							
Ersetzt Gerät:		Hierzu gehört Ablaufplan vom:					
		Anforderungsliste vom:					
2 Veranlassung		zutreffende angekreuzt	3 Umsatzerwartungen U und geplanter Gewinn G				
neues Arbeitsgebiet			U		G		
Ergänzungen Geräteprogramm			Stück				
zu hohe Herstellkosten			Wert				
technische Mängel bestehender Geräte							
Marktlücke			Stück				
Anpassung an Stand der Technik			Wert				
Konkurrenzdruck							
Kundenwunsch			Stück				
sonstige			Wert				
			Jahr	1	2	3	
4 Kosten			ge-schätzt	vorkal-kuliert	nachkal-kuliert		
HK zulässige Herstellkosten							
VP angestrebter Brutto-Verkaufspreis							
5 Aufwand							
Entwicklung und Konstruktion bis endgültige Genehmigung							
Entwicklung und Konstruktion danach							
Prototypenherstellung			Werkstattstunden				
			Material				
Sonderwerkzeuge, Maschinen							
Vorrichtungen							
bei Einzelfertigung							
bei Serienfertigung bis			Stück				
bei Serienfertigung über			Stück				
6 Zeitplan							
Monate bis zur endgültigen Genehmigung							
Monate danach bis Ablieferung durch Sonderfertigung							
Monate danach bis zur Ablieferung durch Serienfertigung							
7 Warenzeichen		BRD	inter-national	8 Genehmigung			
zu beantragendes Warenzeichen				vorläufige Genehmigung			
festgelegtes Warenzeichen				endgültige Genehmigung			
				Serienfertigung			
				Einzelfertigung			
9 Schlussbemerkung							
			Geprüft:	Tag:			

Bild 3-14: Zusammenfassendes Deckblatt eines Entwicklungsauftrags aus der Praxis nach EHRENSPIEL und MEERKAMM [EM13, S. 393]

Darüber hinaus definieren die Autoren (neben dem externen Verhältnis zum Kunden) auch interne Aspekte wie z.B. Stückzahlen, Umsätze, Gewinne sowie adressierte Märkte und die Konkurrenzsituation als Gegenstand der Anforderungsliste. In diesem Zusammenhang schlagen die Autoren die Beantwortung der „W-Fragen“ (*wer?, was?, wozu?, warum?* und mit *wem?*) vor.

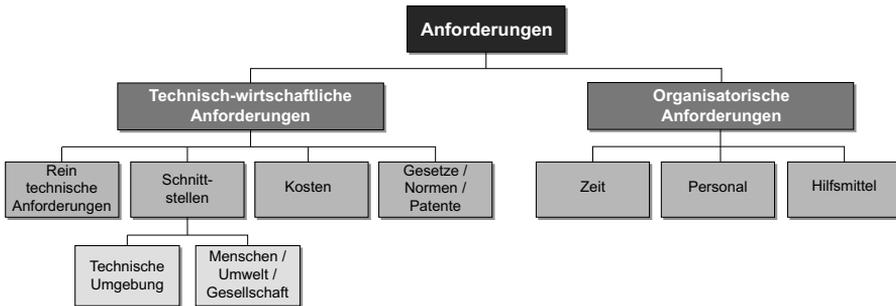


Bild 3-15: Anforderungsarten nach EHRENSPIEL und MEERKAMM [EM13, S. 400]

Bewertung

EHRENSPIEL und MEERKAMM subsumieren den Entwicklungsauftrag sowie ein Kundenangebot bzw. einen Kundenauftrag unter dem Überbegriff *Aufgabenstellung*. Den Autoren folgend ist diese nicht ausreichend, um dem Entwickler ein umfassendes Verständnis der geplanten Leistung zu vermitteln. Vielmehr wird eine intensive Kommunikation und Kooperation zwischen der Entwicklung und dem Auftraggeber fokussiert. Als Gesprächsleitfaden schlagen die Autoren Checklisten vor. Die resultierenden Diskussionsergebnisse werden in Form einer Anforderungsliste dokumentiert. Hintergrundinformationen werden im Rahmen der Diskussion erörtert, aber nicht dokumentiert. Die Verwendung eines zusammenfassenden Deckblatts ist positiv hervorzuheben. Schwächen offenbart das Vorgehen in Bezug auf die Anforderungen im Bereich Kommunikations- und Kooperationsplattform. Eine modellbasierte Abbildung der Informationen erfolgt nicht; die Benutzungsfreundlichkeit wird als gering bewertet.

3.2.3 Generischer Zielkatalog nach HABERFELLNER ET AL.

Mit ihrem generischen Zielkatalog liefern HABERFELLNER ET AL. eine Checkliste, die den Anwender bei der Generierung und Gliederung von Zielen bei Entwicklungsvorhaben unterstützen soll. Bild 3-16 zeigt den Zielkatalog [HWF+12, S. 228ff.].

Im Mittelpunkt steht das Prinzip des ganzheitlichen Denkens, welches auch im Bereich der Zielformulierung Anwendung finden soll. Im Kern geht es darum, dass alle wichtigen Informationen und Interessenlagen berücksichtigt bzw. erwogen wurden. Vor diesem Hintergrund sind folgende Informationen zu berücksichtigen [HWF+12, S. 229]:

- Mängel, Schwierigkeiten, Gefahren im Problemfeld
- Vermutete Chancen und Möglichkeiten
- Übergeordnete Ziele (z.B. Unternehmensziele)

Ferner ist die Zielvorstellung aller beteiligten Stakeholder einzuholen; dazu zählen Management, Kunden (intern/extern), Mitarbeiter (Betroffene/Beteiligte), verschiedene

Abteilungen bzw. deren Mitarbeiter (Anwender/Umsetzer), Lieferanten, Gesellschaft, Öffentlichkeit, Staat etc. [HWF+12, S. 229f.].

Zielkatalog	
<p>Finanziell relevante Zielinhalte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftlichkeitserfordernisse: Verhältnis Aufwand zu Nutzen, Return on Investment • Kosten- und Ertragsziele, z.B. laufende Kosten, Kosteneinsparungen, Pay-Back-Periode • Beanspruchung der Liquidität z.B. Höhe des Investitionsbetrags, Finanzierung aus Cashflows, keine Fremdmittel • etc. 	<p>Funktionell relevante Zielinhalte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leistung bzw. Funktionalität des Systems, z.B. Output pro Zeiteinheit • Sicherheit • Qualität • Flexibilität, z.B. hinsichtlich der Bewältigung kurzfristiger Belastungsspitzen • Schnittstellengestaltung, z.B. bei der Verknüpfung von Teilsystemen • Service- und Unterhaltungsaspekte • Autonomie vs. Abhängigkeit • etc.
<p>Soziale u. gesellschaftliche Zielinhalte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ziele, die sich auf die Beachtung ökologischer Auswirkungen richten (Umweltbelastung, Entsorgungsfreundlichkeit) • Ziele, die die personelle Akzeptanz von Lösungen betreffen (Bediener, Benutzer) • Ziele, allgemeiner und sozialer Natur • etc. 	<p>Personalrelevante Zielinhalte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alle Ziele, die gewünschte oder ungewünschte Auswirkungen auf Personen zum Inhalt haben, z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Bedienungsfreundlichkeit • Ergonomie • Arbeitsbedingungen • Personalqualifikation • Personalunabhängigkeit • etc.

Bild 3-16: Generischer Zielkatalog nach HABERFELLNER ET AL. [HWF+12, S. 229]

Die dokumentierten Ziele sind entsprechend ihrer Bedeutung zu priorisieren. Dafür schlagen HABERFELLNER ET AL. eine Klassifizierung der Ziele in Mussziele, Soll-/Hauptziele und Wunsch-/Nebenziele vor [HWF+12, S. 230f.].

Bewertung

HABERFELLNER ET AL. liefern einen generischen Leitfaden zur Definition und Strukturierung von Zielen. Positiv hervorzuheben ist der Grundgedanke einer ganzheitlichen Denkweise. Vor diesem Hintergrund wird auch der Betrachtungsgegenstand sehr breit gefasst: Im Vordergrund steht die Lösung eines Problems. Für die Identifikation von Zielen wird eine Vielzahl verschiedener Suchbereiche definiert. Diese erscheinen grundsätzlich sinnvoll, aufgrund ihres Abstraktionsgrades liefern sie jedoch wenig konkrete Ansatzpunkte. Auch Aussagen zur Kommunikation und Kooperation bleiben generisch. Die Dokumentationsart des Zielsystems wird nicht adressiert.

3.2.4 Methode zur Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung nach EBEL

Die Methode zur Modellierung von Zielsystemen hat den Anspruch, den Anwendern eine effektive Identifikation relevanter Anforderungen und Ziele sowie eine effiziente

Modellierung des Zielsystems im Zuge der Produktentstehung zu ermöglichen. Dafür baut die Methode auf den zentralen Merkmalen der Systemtheorie auf und integriert die Modelltheorie. Die Methode folgt der Prämisse, dass Zielsysteme vernetzt, nachvollziehbar und kontinuierlich im Produktentstehungsprozess modelliert werden müssen, um der Komplexität der heutigen Produktentstehung Rechnung tragen zu können [Ebe 15, S. 2f.].

Zur Modellierung des Zielsystems definiert EBEL die folgenden neun Partialmodelle. Sie bilden im Prinzip das Metamodell des Zielsystems [Ebe15, S. 152ff.]:

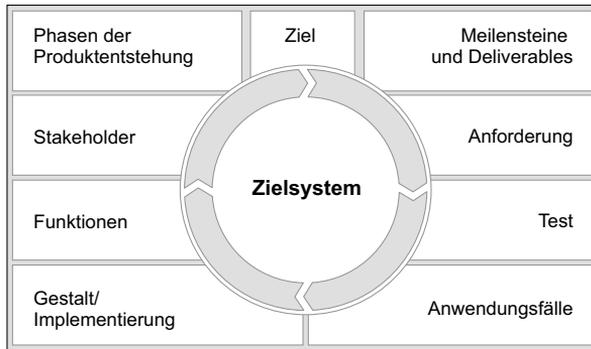


Bild 3-17: Metamodell zur Modellierung des Zielsystems eigene Darstellung in Anlehnung an [Ebe15, S. 152ff.]

- **Ziel:** Dieses Partialmodell beschreibt alle Ziele, die im Rahmen eines Entwicklungsprojekts erreicht werden sollen. Somit beschreibt es den Sinn und Zweck eines Entwicklungsprojekts – sämtliche Inhalte der verbliebenen Partialmodelle müssen sich daran messen lassen. Innerhalb des Partialmodells können die Ziele nach ihrer Quelle strukturiert werden, dabei bilden bspw. Stakeholder oder Produktlebenszyklusphasen wesentliche Quellen [Ebe15, S. 152].
- **Anforderung:** Dieses Partialmodell beschreibt sämtliche Anforderungen (funktional und nicht funktional) an das zu entwickelnde Produkt. Das umfasst explizite Eigenschaften und Bedingungen, die das System aufweisen muss, um ein formell vorgegebenes Dokument (z.B. einen Vertrag) zu erfüllen [Ebe15, S. 152ff.].
- **Anwendungsfälle:** Dieses Partialmodell beschreibt sämtliche (formale) Beschreibungen der Interaktion zwischen dem zu entwickelnden System und den Systemnutzern.
- **Funktionen:** Gegenstand dieses Partialmodells sind sämtliche Funktionen, die zur Realisierung der formulierten Ziele erforderlich sind. Die einzelnen Funktionen lassen sich entsprechend ihrer Dekomposition in einer Funktionshierarchie abbilden.

- **Gestalt/Implementierung:** Im Fokus dieses Partialmodells stehen die Gestalt beschreibenden Eigenschaften und Merkmale.
- **Phasen der Produktentstehung:** Im Rahmen dieses Partialmodells werden die Handlungen adressiert, die zur Erreichung der formulierten Ziele erforderlich sind.
- **Meilensteine und Deliverables:** Das Partialmodell umfasst sämtliche Zeitpunkte bzw. Ereignisse zu denen der Projektfortschritt explizit zu überprüfen ist.
- **Stakeholder:** Das Partialmodell beschreibt alle Personen, Gruppen oder Organisationen, die ein berechtigtes Interesse am Verlauf oder Ergebnis des Produktentstehungsprozesses haben.
- **Test:** Gegenstand dieses Partialmodells sind Testfälle, Testumgebung und Testinterpretation, die zur Erfüllung der zuvor formulierten Ziele und Anforderungen erforderlich sind.

Im Rahmen der Modellierung von Zielsystemen werden getroffene Entscheidungen einschließlich Begründungen und relevanter Dokumente in allen Partialmodellen dokumentiert [Ebe15, S. 148]. Für die Werkzeugunterstützung empfiehlt EBEL den gleichzeitigen Einsatz eines MediaWiki sowie einer Mind-Map, um die Schwächen der jeweils anderen Lösung zu kompensieren.

Bewertung

EBEL liefert einen systematischen Ansatz zur Modellierung des Zielsystems. Insbesondere der Grundgedanke, dass Zielsysteme vernetzt, nachvollziehbar und kontinuierlich im Produktentstehungsprozess modelliert werden müssen ist positiv hervorzuheben. Im Fokus der Betrachtung steht die Planung und Entwicklung von mechatronischen Produkten – Dienstleistungen werden nicht vordergründig adressiert. Die Methode stellt eine Vielzahl verschiedener Informationen für ein umfassendes Verständnis der Marktleistung zur Verfügung – diese konzentrieren sich allerdings hauptsächlich auf Informationen, die im Rahmen der Entwicklung generiert werden. Ergebnisse der Strategischen Planung wie z.B. zukünftige Entwicklungen werden nicht berücksichtigt. Auch die Kooperation mit der Strategischen Planung ist nicht Gegenstand der Methode. Die Dokumentation des Zielsystems erfolgt auf Basis einer Ontologie. Der Einsatz von zwei verschiedenen Modellierungswerkzeugen erfüllt die Anforderung nach Benutzungsfreundlichkeit nicht vollumfänglich. Eine grafische Notation durch Symbole ist nicht Gegenstand des Vorgehens.

3.2.5 Layer Methode für hybride Leistungsbündel nach MÜLLER

MÜLLER liefert mit seiner Layer Methode ein Hilfsmittel zur Planung und Klärung der Entwicklungsaufgabe. Im Fokus der Betrachtung stehen hybride Leistungsbündel²³ (kurz: HLB). Die Methode umfasst das Layer-Modell sowie eine Anforderungscheckliste [SM12, S. 49]. Beide Aspekte werden nachfolgend erläutert.

HLB-Layer-Modell

Das HLB-Layer-Modell dient der Entwicklung neuer HLB-Ideen, der Klärung der Entwicklungsaufgabe und in Verbindung mit der HLB-Anforderungscheckliste der modellgetriebenen Anforderungsgenerierung (vgl. Bild 3-18) [SM12, S. 49].

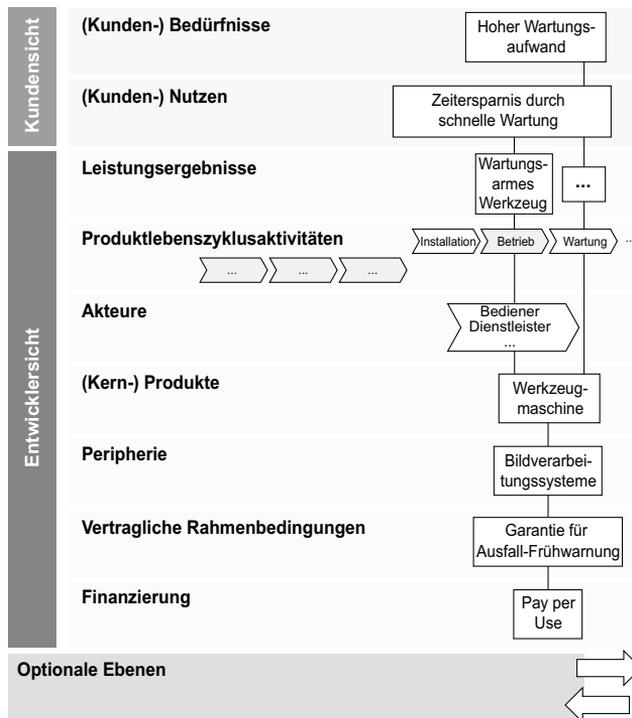


Bild 3-18: Konzeptionelle Darstellung des HLB-Layer-Modells in Anlehnung an [Mül13, S. 165 und S. 173], [Pei15, S. 78], [SM12, S. 50]

Hierfür umfasst das Layer-Modell neun Gestaltungsdimensionen (Klassen), die in horizontalen Ebenen (Layers) abgebildet werden. Alle Systemelemente sind diesen Gestaltungsdimensionen zugeordnet. Dabei wird zwischen einer Kunden- und einer Entwick-

²³ Hybride Leistungsbündel bezeichnen die Kombinationen aus Sach- und Dienstleistungen, die am Markt als integriertes Leistungsbündel angeboten werden [MUK05, S. 528ff.].

lersicht unterschieden. Das Ergebnis ist ein Architekturbild für HLB-Ideen, dessen Elemente direkt mit den Anforderungen in Verbindung stehen. Das Modell kann ähnlich einem Use-Case-Diagramm (vgl. Abschnitt 3.3.5) verwendet werden.

Die Anwendung erfolgt iterativ, wobei die erzeugten Modelle schrittweise verfeinert werden. Die HLB-Elemente werden dabei mit einfachen Skizzen und Text beschrieben. Die Anwendung wird durch Moderations- und Anwendungsvorlagen in Papierform sowie einem Softwareprototypen unterstützt. Im Zuge der Anwendung der HLB-Layer-Methode werden Anforderungen generiert und gemäß der Systematik in einer Checkliste erfasst.

HLB-Anforderungscheckliste

Ziel der HLB-Anforderungscheckliste ist die Unterstützung der Anforderungsgenerierung. Hierfür umfasst die Checkliste über 100 gruppierte Kriterien. Bild 3-19 zeigt einen Ausschnitt aus der Checkliste zur HLB-Anforderungsgenerierung.

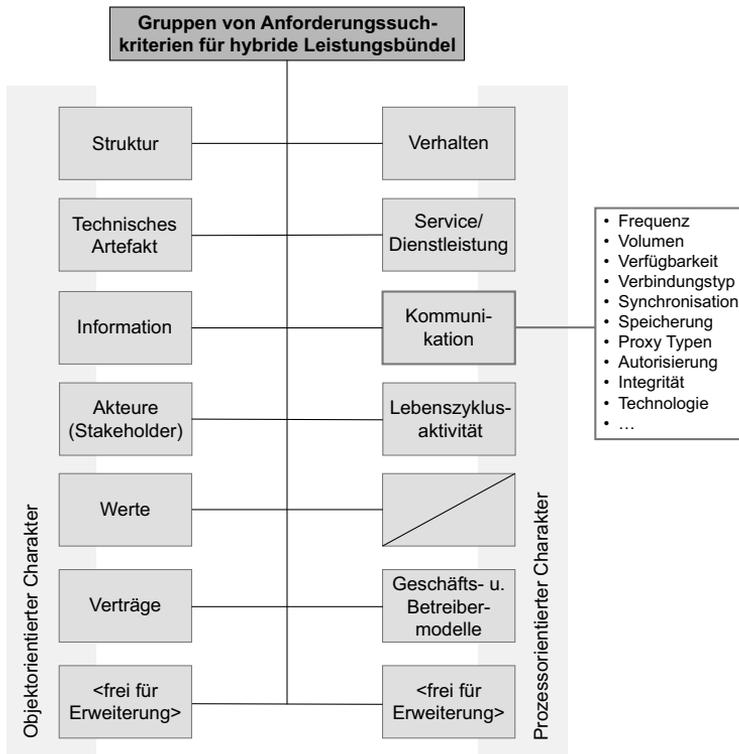


Bild 3-19: Ausschnitt aus der Checkliste zur HLB-Anforderungsgenerierung in Anlehnung an [SM12, S. 51]

Basis hierfür sind klassische Modelle der Produktentwicklung, dem Service-Engineering sowie der Software, Systems und Requirements Engineering. Der Aufbau der Checkliste ist angelehnt an die Struktur des HLB-Layer-Modells [SM12, S. 51].

Bewertung

MÜLLER liefert mit seiner Layer Methode ein sehr gutes und wohl strukturiertes Hilfsmittel zur Planung und Klärung der Entwicklungsaufgabe. Betrachtungsgegenstand sind hybride Leistungsbündel – d.h. Produkt und Dienstleistungen werden gleichermaßen adressiert. Zur Darstellung von Hintergrundinformationen wird ein Architekturbild erstellt, dessen Elemente direkt mit den Anforderungen in Verbindung stehen. Für die Identifikation von Anforderungen liefert MÜLLER eine umfangreiche Checkliste, die die etablierten Methoden umfasst und diese um Anforderungen der integrativen Entwicklung von hybriden Leistungsbündel betreffend erweitert. Für die Abbildung des Architekturbildes definiert MÜLLER neun Ebenen. Je nach Komplexität der zu beschreiben Leistung können diese schnell unübersichtlich werden. Ferner bilden die gewählten Kategorien (Ebenen) das Geschäftsgefüge nur unzureichend ab. Die Anforderung nach einem umfassenden Verständnis wird daher nur zum Teil erfüllt.

3.3 Ansätze zur Modellbildung

Im Rahmen der Strategischen Planung und Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen kommt eine Vielzahl verschiedener Ansätze zur Modellbildung zum Einsatz. Diese können einen Beitrag zur Erfüllung der Anforderungen des Entwicklungsauftrags als Kommunikations- und Kooperationsplattform liefern. Abschnitt 3.3.1 und Abschnitt 3.3.2 adressieren die modellbasierte Abbildung von Geschäftsmodellen²⁴. Ein umfassenderes Bild liefern die Abschnitte 3.3.3 und 3.3.4; sie thematisieren die Beschreibung und Analyse der gesamten Wertschöpfung. Im Rahmen von Abschnitt 3.3.5 und Abschnitt 3.3.6 wird die Spezifikation von Produktkonzepten thematisiert. Gegenstand von Abschnitt 3.3.7 ist ein Ansatz zur Beschreibung und Analyse von Geschäftsprozessen; Abschnitt 3.3.8 thematisiert einen Ansatz zur Beschreibung von Dienstleistungsprozessen.

3.3.1 Business Model Kit des BOARD OF INNOVATION

Das belgische Beratungsunternehmen BOARD OF INNOVATION liefert mit seinem Business Model Kit eine Systematik zur Erarbeitung und Darstellung von Geschäftsmodellen. Die Systematik umfasst eine Modellierungssprache sowie eine Werkzeugunterstützung. Für die Darstellung der Geschäftslogik stellt das Kit 16 Geschäftsmodellbausteine

²⁴ Methoden zur Geschäftsmodellentwicklung wie z.B. von OSTERWALDER und PIGNEUR [OP10], GASSMANN ET AL. [GFC13], WIRTZ [Wir11], SCHALLMO [Sch13a], [Sch13b], FINK [FSS01], KÖSTER [Kös14] sind nicht im Fokus – betrachtet wird lediglich die modellbasierte Abbildung.

zur Verfügung. Diese sind unterteilt in sechs Stakeholder und zehn Transaktionsaktionsgüter. Die Stakeholder stellen die Bestandteile der Modellierungssprache dar (vgl. Bild 3-20). Sie werden nachfolgend vorgestellt [Bor16-ol]:



Bild 3-20: Stakeholder des Business Model Kit in Anlehnung an [Bor16-ol]

- **Meine Organisation** repräsentiert das Unternehmen, dessen Geschäftsmodell dargestellt werden soll. Er stellt den Ausgangspunkt für die Modellentwicklung dar.
- Der Baustein **Unternehmen** findet in logischer Konsequenz vor allem in Business-to-Business Geschäftsmodellen Anwendung. Hier übernimmt er die Funktion des Kundenbausteins.
- **Kunde** visualisiert die Empfänger der vom Unternehmen angebotenen Marktleistung; sie errichten eine Gegenleistung in Form von monetären Mitteln.
- **Zulieferer** repräsentiert die Lieferanten des Unternehmens. Sie unterstützen das Unternehmen bei der Erbringung der Marktleistung.
- **Non-Profit** beschreibt Organisationen, die einem gemeinnützigen sozialen, kulturellen oder wissenschaftlichen Ziel dienen.
- Der **Staat** beeinflusst das Geschäftsmodell durch seine Politik.

Die Transaktionsgüter (vgl. Bild 3-21) repräsentieren die Beziehungen zwischen den Stakeholdern. Sie werden nachfolgend vorgestellt [Bor16-ol]:



Bild 3-21: Transaktionsgüter des Business Model Kit in Anlehnung an [Bor16-ol]

- **Produkt** adressiert die materiellen Güter, die von dem betrachteten Unternehmen angeboten werden.

- **Dienstleistungen** umfassen alle immateriellen Güter, die von dem betrachteten Unternehmen angeboten werden. Dienstleistungen können auch in Kombination mit Produkten angeboten werden.
- **Erfahrung** beschreiben das Know-how, welches potentielle Kunden im Umgang mit den Produkten und Dienstleistungen eines Unternehmens sammeln.
- **Aufmerksamkeit** beschreibt das Interesse, das einem Produkt oder einer Dienstleistung durch potentielle Kunden geschenkt wird.
- **Reputation** repräsentiert den Ruf oder das Ansehen, das der Kunde durch den Kauf eines Produkts bzw. einer Dienstleistung erfährt.
- **Geld** bezeichnet monetäre Mittel in der Währung, mit der der Kunde üblicherweise bezahlt. In der Regel stellen die monetären Mittel die Gegenleistung für ein Produkt oder eine Dienstleistung dar.
- **Weniger Geld**, auch hier werden monetäre Mittel adressiert. Im Fokus steht hier jedoch die Menge: Diese ist geringer als normalerweise. Es findet bspw. Einsatz, wenn das Geschäftsmodell auf Rabatten beruht.
- **Credits** steht für Kreditsysteme; diese können eine Art der Kundenbindung darstellen.
- **Daten** repräsentieren Daten und Informationen; sie stellen die Grundlage für moderne Geschäftsmodelle dar.
- Der Baustein **Rechte** bildet Berechtigungen ab, die Stakeholder untereinander austauschen. Beispielfhaft seien an dieser Stelle Eigentumsrechte genannt.

Im Fokus des Vorgehens steht die gemeinschaftliche Erarbeitung von Geschäftsmodellen. Die Modelle werden dementsprechend im Rahmen von Workshops erarbeitet. Hierfür stellt das BOARD OF INNOVATION ein Karten-Set zur Verfügung. Um die visuelle Komplexität so gering wie möglich zu halten, werden zur Darstellung der verschiedenen Konstrukte Piktogramme genutzt [Bor16-ol].

Bewertung

Das Business Model Kit bietet einen umfassenden und anwendungsorientierten Baukasten zur Modellierung von Kundensegmenten und Partnern sowie ihrer Beziehungen untereinander. Auf diese Weise können Geschäftsmodelle je nach Einsatzzweck mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad oder Modellfokus dargestellt werden. Positiv hervorzuheben ist die grafische Notation: Durch ihre eingängige Symbolik ist das Modell intuitiv verständlich – die Einarbeitungszeit kann auf ein Minimum reduziert werden. Die Beziehungen zwischen den Elementen bzw. Stakeholdern werden mit Hilfe von Flüssen dargestellt. Dennoch werden alleine für die Darstellung von Geschäftsmodellen bereits 16 Bausteine benötigt. Der Baukasten liefert mit den vordefinierten Konstrukten einen wesentlichen Beitrag zur Benutzungsfreundlichkeit: Die Konstrukte liefern eine

Art Leitfaden zur Erarbeitung des Modells. Ferner bietet das BOARD OF INNOVATION sowohl eine Software-Lösung als auch ein Workshop-Set zur Unterstützung der Anwendung.

3.3.2 [moby]-Geschäftsmodellframework nach WEINER ET AL.

Das [moby]-Geschäftsmodellframework (auch: [moby]-Business Model Ontology) hat den Anspruch, alle Bausteine eines Geschäftsmodells abzubilden. Dafür stellen die Autoren ein Metamodell zur Verfügung, das ein Überblick über die Bausteine eines Geschäftsmodells darstellt. Im Rahmen des Frameworks wird zwischen einer externen und einer internen Perspektive unterschieden. Die externe Perspektive ist durch die Markt- und Angebotsperspektive geprägt; finanzielle Aspekte und die Wertschöpfungsperspektive bilden die interne Sicht. Die Verknüpfung erfolgt über die Nutzenbeschreibung. Die Perspektiven werden nachfolgend vorgestellt [Wei16-ol], [WRW12a, S. 85ff.]:

- Die **Marktperspektive** umfasst Zielkunden, Wettbewerber, Partner, Kanäle und die Beziehungen des eigenen Unternehmens zu diesen Akteuren.
- Die **Angebotsperspektive** beschreibt das Angebot sowie dazu komplementäre Angebote und notwendige Vereinbarungen wie Service Levels oder andere Verträge.
- Die **finanziellen Aspekte** beinhalten Kosten und Erlöse, Preismodelle, Gewinn und Investitionen sowie Umsatzverteilungen.
- Die **Wertschöpfungsperspektive** umfasst Fähigkeiten und Kompetenzen, Ressourcen und Geschäftsprozesse, die für eine Wertschöpfung erforderlich sind.
- Die zentrale Funktion des Modells stellt die **Nutzenbeschreibung** dar. Die entsprechende Positionierung im Modell repräsentiert, dass jeder Aspekt des Geschäftsmodells unmittelbare Auswirkungen auf den Nutzen haben kann; so können bspw. Entscheidungen über das Preismodell oder über ausgelagerte Geschäftsprozesse ebenso Auswirkungen auf den Kundennutzen haben wie das Produkt- oder Dienstleistungsangebot selbst.

Bei der Modellerstellung müssen nicht alle Perspektiven gleichermaßen erarbeitet werden. Vor diesem Hintergrund werden optionale Elemente und Pflichtelemente unterschieden [Wei16-ol], [WRW12a, S. 85ff.]. Bild 3-22 zeigt das Framework mit optionalen und Pflichtelementen.

Im Laufe der Geschäftsmodellentwicklung werden die dargestellten Perspektiven durch die sog. Querschnittsebenen konkretisiert. Die Querschnittsebenen umfassen Werkzeuge und Methoden, die Hilfestellungen für die Gestaltung der Elemente leisten sowie Quellen und Referenzen, die bei der Konkretisierung der Bausteine helfen können. Die dritte Ebene (Strategische Aspekte) liefert Hinweise auf einflussnehmende Strategien, die bei der Gestaltung der Bausteine unterstützen. Die visuelle Darstellung des Ge-

schäftsmodells erfolgt mithilfe der Web Ontology Language (WOL). Die zugrundeliegende Ontologie umfasst etwa 30 verschiedene Elemente, die mit etwa 60 unterschiedlichen Flüssen verbunden werden können. Das Vorgehen folgt dabei dem Grundgedanken ein zunächst grobes Geschäftsmodell immer weiter auszudetaillieren. Hierdurch werden äußerst komplexe Abhängigkeiten IT-technisch erfasst und grafisch repräsentiert. Sie dienen als Grundlage für Gruppendiskussionen. Im Fokus der Software und des zugrundeliegenden Metamodells stehen IT-Unternehmen und ihre Geschäftsmodelle [Wei16-ol], [WRW12a, S. 85ff.], [WRW12b, S. 88ff.].

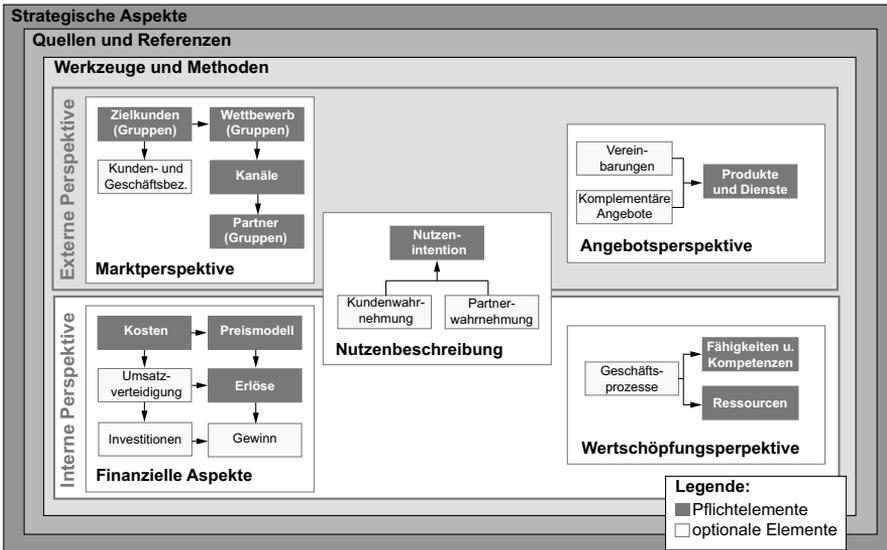


Bild 3-22: Das [moby]-Geschäftsmodellframework in Anlehnung an [WRW12a, S. 85]

Bewertung

WEINER ET AL. stellen ein umfassendes Instrument zur Beschreibung von Geschäftsmodellen zur Verfügung. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht der Nutzen. Die Umsetzung des Nutzens durch entsprechende Produkte und Dienstleistungen wird nicht fokussiert; folglich wird ein umfassendes Verständnis der Marktleistung ebenfalls nicht vermittelt. Durch die Querschnittebenen werden allerdings Hintergrundinformationen teilweise bereitgestellt. Die visuelle Darstellung erfolgt mit Hilfe einer Ontologie. Diese ist nur bedingt als intuitiv zu bezeichnen. Darüber hinaus erscheint die Anzahl der Systemelemente sowie der Beziehungen zwischen den Elementen zu hoch. Positiv zu bewerten ist das webbasierte Softwarewerkzeug, welches die modellbasierte Abbildung von Geschäftsmodellen unterstützt.

3.3.3 Business Engineering Navigator (BEN) nach WINTER

Der Business Engineering Navigator (BEN) stellt einen Ansatz zur Dokumentation, Analyse und Gestaltung von Geschäftslösungen dar. Das umfasst die fachliche Lösungsbeschreibung sowie die Spezifikation der IT-Systeme, die diese Geschäftslösung unterstützen. Grundlage ist das BEN-Metamodell; dieses beschreibt ein Unternehmen, eine Unternehmenseinheit oder ein Unternehmensnetzwerk mit Hilfe der Gestaltungsobjekte Unternehmen, Markt und Geschäftsfeld. Die Dokumentation des BEN-Metamodells erfolgt mit der Modellierungssprache UML. Die Gestaltungsobjekte (Entitätstypen) des BEN-Metamodells werden mit UML-Klassen dargestellt. Für die Darstellung der Beziehungen zwischen den Entitätstypen werden die Beziehungstypen Generalisierung, Assoziation und Aggregation verwendet. Bild 3-23 zeigt einen Überblick des BEN-Metamodells [Win11, S, 14ff.].

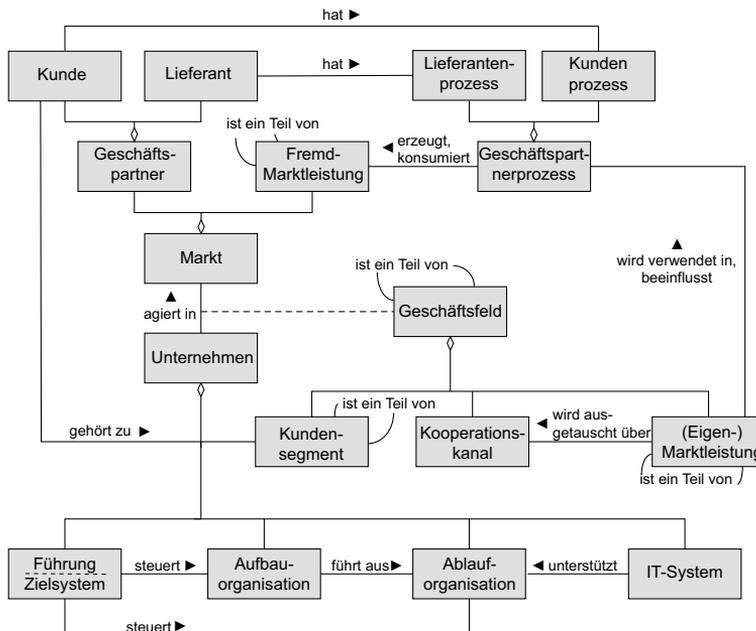


Bild 3-23: BEN-Metamodell in Anlehnung an [Win11, S. 21]

Angesichts des hohen Umfangs sowie der resultierenden Komplexität des Gesamtmodells stellt BEN verschiedene Architekturebenen zur Verfügung. Basis für die Definition der Architekturebenen sind die inhaltlichen Zusammenhänge zwischen den Modellelementen [Win11, S. 22f.]. Für die Abbildung der jeweiligen Architekturebenen werden mehrere Modelle bereitgestellt.

Strategieebene: Gegenstand dieser Ebene ist die betrachtete Einheit selbst (Unternehmen, Geschäftseinheit, aber auch Wertschöpfungsnetz). Betrachtet werden die Positionierung im Wettbewerb, die Beziehungen mit Kunden und Wertschöpfungspartnern, das

Produkt-/Leistungsprogramm und das Zielsystem. Ihre Ausgestaltung lässt sich mit der Beantwortung der „*Was*“-Frage gleichsetzen [Win11, S. 22].

Organisationsebene: Im Fokus der Betrachtung stehen Aktivitäten, Abläufe, Verantwortlichkeiten und Berichtswege (Governance), operative Führung, organisatorische Einheiten sowie Informationsbedarfe und Informationsflüsse der betrachteten Einheit. Ihre Ausgestaltung lässt sich mit der Beantwortung der „*Wie*“-Frage gleichsetzen [Win11, S. 22f.].

IT-Ebene: Hier werden für die betrachtete Einheit IT-Funktionalitäten, Datenstrukturen sowie Hardwarekomponenten betrachtet. Zur weiteren Differenzierung von Modellen und Methoden kann die IT-Ebene in Unterebenen zerlegt werden, z.B. für IT-Infrastruktur (Hardwarekomponenten) einerseits und Softwaresysteme (IT-Funktionalitäten und Datenstrukturen) andererseits. Ihre Ausgestaltung lässt sich mit der Beantwortung der „*Womit*“-Frage gleichsetzen [Win11, S. 23].

Politisch-kulturelle Ebene: Hier werden für die betrachtete Einheit Organisationskultur, Führung, Macht, Motivation und Verhalten betrachtet. Diese Gestaltungsfragen lassen sich auch als „*Warum*“-Frage bezeichnen, weil es hier um die Ursachen und Hintergründe für die Unterstützung oder Verhinderung von Veränderungen geht [Win11, S. 23].

Bewertung

WINTER liefert mit seinem Business Engineering Navigator einen umfassenden Ansatz zur Dokumentation, Analyse und Gestaltung von Geschäftslösungen. Im Fokus der Betrachtung stehen IT-Systeme. Die Dokumentation erfolgt mithilfe der Modellierungssprache UML. Für die Beschreibung des Modells steht eine Vielzahl verschiedener Konstrukte zur Verfügung. Dies ermöglicht einerseits die konkrete Abbildung unterschiedlicher Aspekte und liefert gute Hinweise für die Modellierung von Geschäftslösungen – andererseits wird das Modell schnell unübersichtlich und der Einarbeitungsaufwand ist hoch. Das hat einen negativen Einfluss auf die Intuitivität und die Benutzungsfreundlichkeit. Positiv hervorzuheben ist die Grundidee, die Modellkomplexität durch die Einführung verschiedener Ebenen zu reduzieren.

3.3.4 Value Delivery Modeling Language (VDML)

Die von der OMG²⁵ entwickelte Value Delivery Modeling Language (VDML) ist eine semiformale grafische Modellierungssprache. Im Fokus der Betrachtung stehen die Geschäftstätigkeiten eines Unternehmens, die für eine Erfolg versprechende Generierung und Vermarktung eines Kundennutzens erforderlich sind. Die Adressaten dieser Model-

²⁵ OBJECT MANAGEMENT GROUP (<http://www.omg.org>), ein internationales Konsortium zur Standardisierung objektorientierter und modellbasierter Systementwicklung

lierungssprache sind leitende Angestellte, Analysten, Manager und Entwickler. Dabei verfolgt die VDML die folgenden Ziele [OMG15, S. 1ff.]:

- Modellierung von greifbaren und nicht greifbaren Wertströmen sowie des Kundennutzens
- Modellierung von komplexen Kooperations- und Wertschöpfungsnetzen
- Darstellung von Geschäftsaktivitäten in einem volatilen Umfeld
- Unterstützung eines effektiven Managements von Kompetenzen

Um dies zu erreichen, fasst die VDML verschiedene Modellierungskonzepte aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen und -ebenen zusammen. Bild 3-24 zeigt einen Überblick der Modelle, die Bestandteil der VDML sind.

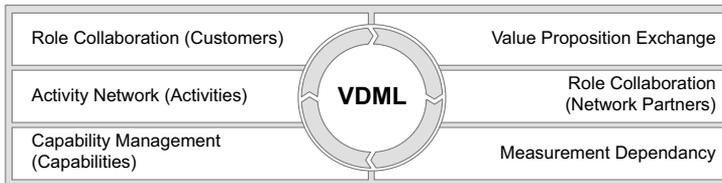


Bild 3-24: VDML-Modelle in Anlehnung an [OMG15, S. 21]²⁶

Diese Basis ermöglicht die Bereitstellung eine Vielzahl verschiedener Sichten, die sich über alle Modelle erstrecken. Bild 3-25 gibt einen Überblick der Sichten, die im Rahmen der Entwicklung von VDML definiert wurden.

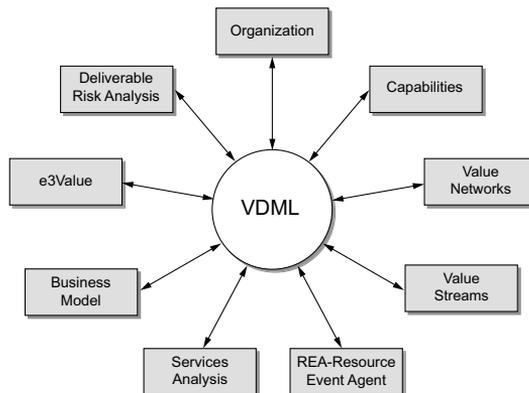


Bild 3-25: Sichten in der VDML in Anlehnung an [OMG15, S. 21]

²⁶ Da bisher keine offizielle Übersetzung der englischen Begrifflichkeiten vorliegt, werden an dieser Stelle die englischen Begriffe verwendet.

Bewertung

Mit der VDML liefert OMG eine umfassende Darstellung der Geschäftstätigkeiten eines Unternehmens. Dabei wird die Entwicklung von Produkt und Dienstleistung gleichermaßen adressiert. Das Gesamtmodell stellt eine Vielzahl verschiedener Partialmodelle zur Abbildung von Geschäftstätigkeiten zur Verfügung und erlaubt somit ein weitgehendes Verständnis der Marktleistung. Informationen aus der Strategischen Planung werden nicht vollumfänglich fokussiert. Die Modelle sind wenig intuitiv und erfordern einen hohen Einarbeitungsaufwand. Eine eingängige grafische Notation ist nur in Teilen vorhanden. Benutzungsfreundlichkeit ist nur bedingt vorhanden.

3.3.5 Systems Modeling Language (SysML)

Mit der Systems Modeling Language (SysML) liefert die OMG gemeinsam mit der INCOSE²⁷ eine semiformale, grafische Modellierungssprache für das Systems Engineering [Alt12a, S. 29ff.]. Ziel ist eine ganzheitliche und disziplinübergreifende Spezifikation, Analyse, Verifikation und Validierung technischer Systeme. Die Basis der SysML ist die UML²⁸. Mit dem Vorhaben eine Beschreibung von technischen Systemen zu ermöglichen wurde die UML zum Teil erweitert; gleichzeitig wurden unnötige Bestandteile gestrichen. Einen Überblick der resultierenden Diagramme zeigt Bild 3-26; Struktur-, Anforderungs- und Verhaltensdiagramme werden nachfolgend erläutert [Alt12a, S. 40ff.], [FMS12, S. 29ff.], [OMG12, S. 4ff.], [Wei06, S. 157ff.].

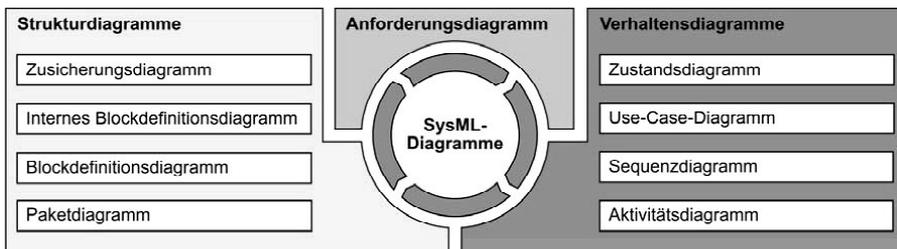


Bild 3-26: Diagramme der SysML in Anlehnung an [GTS14, S. 37], [Wei06, S. 160]

Strukturdiagramme: Die Beschreibung der Systemstruktur erfolgt mit Hilfe von Blöcken. Sie eignen sich gleichermaßen zur Abbildung informationsverarbeitender oder physikalischer Elemente. Das Blockdefinitionsdiagramm wird für die Darstellung der Beziehungen zwischen den Blöcken genutzt. Die Beziehungen zwischen den Bestand-

²⁷ International Council on Systems Engineering (<http://www.incose.org>), eine internationale Organisation zur Förderung von Wissenschaft und Bildung im Bereich des Systems Engineering in Industrie, Forschung und Lehre.

²⁸ UML (Unified Modeling Language) ist eine grafische Sprache, die im Rahmen der Softwareentwicklung Anwendung findet. Die UML wird von der OMG entwickelt und ist aktuell in der Version 2.4.1 in der ISO/IEC 19505-1 und ISO/IEC 19505-2 standardisiert [ISO19505-1], [ISO19505-2].

teilen eines Blocks werden durch Ports, Konnektoren und Flüssen im Rahmen des internen Blockdefinitionsdiagramms dokumentiert. Zusicherungsdiagramme beschreiben die Beziehungen zwischen Eigenschaften verschiedener Blöcke [OMG12, S. 31ff.], [Wei06, S. 183ff.].

Anforderungsdiagramm: Das Anforderungsdiagramm dient der Beschreibung von funktionalen und nicht funktionalen Anforderungen sowie ihrer Beziehungen untereinander. Dabei werden folgende Arten von Beziehungen unterschieden: Ableitungs-, Enthält-, Erfüllungs-, Kopie-, Prüf-, Verfeinerungs- und Verfolgungsbeziehungen. Die Darstellung erfolgt mittels Grafiken und Tabellen [OMG12, S. 125ff.], [Wei06, S. 163ff.].

Verhaltensdiagramme: Für die Modellierung des Verhaltens nutzt die SysML vier Diagrammtypen: Das Zustandsdiagramm dient der Beschreibung von Zuständen und Zustandsübergängen. Das Use-Case-Diagramm ermöglicht die Darstellung von Betriebssituationen. Mit Hilfe von Sequenzdiagrammen werden Interaktionen zwischen Systemelementen im Hinblick auf ihren zeitlichen Verlauf dargestellt. Das Aktivitätsdiagramm ermöglicht die Darstellung von Systemabläufen inkl. Ein- und Ausgabedaten [OMG12, S. 89ff.], [Wei06, S. 272ff.].

Grundsätzlich gibt die SysML kein Vorgehensmodell vor [Alt12a, S. XI]. Vor einer Einführung der SysML, ist daher ein entsprechendes Vorgehensmodell zu konzipieren. Derzeit existiert eine Vielzahl unterschiedlicher unternehmens- bzw. IT-Werkzeug-spezifischer Vorgehensmodelle, die eine Leitlinie liefern; beispielhaft seien an dieser Stelle Harmony-SE und RUP/SE [Est08], OOSEM (Object Oriented Systems Engineering Method) der INCOSE [FMS12, S. 431ff.] und SYSMOD nach WEILKIENS [Wei06, S. 29ff.] genannt. Bisher konnte sich jedoch kein Ansatz zu einem grundsätzlichen Vorgehensmodell durchsetzen.

Bewertung

Die Spezifikationstechnik SysML ermöglicht eine fachdisziplinübergreifende Abbildung von komplexen technischen Systemen; die Abbildung von Dienstleistungen wird nicht berücksichtigt. Die SysML setzt bei der Konzeption eines Systems an und ist daher technisch orientiert. Informationen aus der Strategischen Planung oder organisatorische Rahmenbedingungen werden nicht berücksichtigt. Zur Beschreibung des Systems stellt die SysML drei verschiedene Diagrammtypen zu Verfügung; ihre Verwendung ist ohne Methode nur grob vordefiniert; die Anwendung der SysML ist daher nicht immer eindeutig oder intuitiv. Ferner ist die Einarbeitung durch die Vielzahl an Konstrukten sehr zeitintensiv. Die Benutzungsfreundlichkeit ist daher nur in Teilen gegeben.

3.3.6 Spezifikationstechnik CONSENS

Die Spezifikationstechnik CONSENS (Conceptual Design Specification Technique for the Engineering of Complex Systems) hat den Anspruch, mechatronische Systeme

ganzheitlich und disziplinübergreifend abzubilden. Dafür umfasst CONSENS eine Modellierungssprache, ein Vorgehensmodell sowie eine Werkzeugunterstützung. Die semi-formale und grafische Modellierungssprache wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 614 „Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus“²⁹ entwickelt und setzt auf den Arbeiten von FRANK, GAUSEMEIER und KALLMEYER auf [DDG+14], [Fra06], [GEK01], [GFD+08a], [GFD+08b], [Kal98].

Die Modellierungssprache gliedert sich in die in Bild 3-27 dargestellten Aspekte Umfeld, Anwendungsszenarien, Anforderungen, Funktionen, Verhalten und Gestalt. Diese Aspekte werden im Rahmen der Entwicklung rechnerintern durch Partialmodelle repräsentiert und im Folgenden näher erläutert [GTS14, S. 37ff.]:

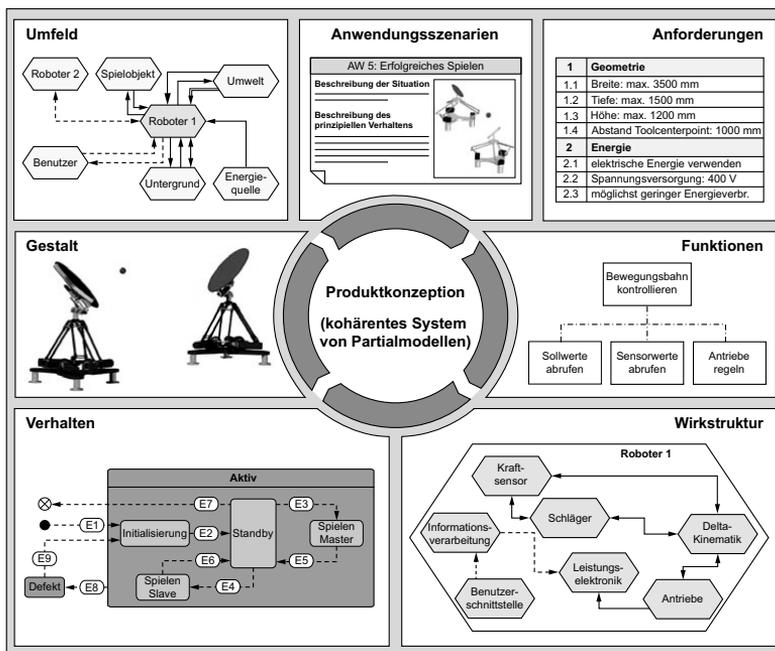


Bild 3-27: Partialmodelle der Spezifikationstechnik CONSENS [GTS14, S. 38]

Umfeld: Dieses Partialmodell beschreibt das Umfeld sowie dessen Interaktion mit dem zu entwickelnden System. Dabei wird das System zu Beginn als „Black Box“ in seinem Umfeld abgebildet. Dargestellt werden alle Einflüsse, die auf das System wirken sowie Systemelemente des Umfelds, die in Wechselwirkung mit dem System stehen.

²⁹ Der SFB 614 „Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus“ wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG); vgl. dazu auch [SFB614-ol].

Anwendungsszenarien: Anwendungsszenarien enthalten für einen bestimmten Fall das zu lösende Problem und dessen Lösung; d.h. sie beschreiben dabei, in welcher Art und Weise sich das System in einer bestimmten Situation verhalten soll. Anwendungsszenarien bestehen aus einem Steckbrief und verweisen auf alle für das Szenario relevanten Elemente der Prinziplösung.

Anforderungen: Das Partialmodell umfasst eine strukturierte Sammlung aller Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt. Jede Anforderung wird textuell beschrieben; quantifizierbare Anforderungen werden durch Attribute und deren Ausprägungen konkretisiert. Beim Aufstellen von Anforderungslisten wird auf klassische Methoden verwiesen [Ehr03], [PBF+07], [Rot01].

Funktionen: Eine Funktion ist der allgemeine und gewollte Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen mit dem Ziel, eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen. Dieses Partialmodell umfasst eine hierarchische Aufgliederung der Systemfunktionalität des Systems.

Wirkstruktur: Die Wirkstruktur ist das zentrale Modell der Spezifikationstechnik. Mit ihr werden die Systemelemente sowie ihre Beziehungen untereinander abgebildet. Somit beschreibt dieses Partialmodell die Systemstruktur. Im Entwicklungsverlauf wird sie zum Dreh- und Angelpunkt vieler partialmodellübergreifender Beziehungen.

Gestalt: Das Partialmodell beinhaltet Angaben über Anzahl, Form, Lage, Anordnung und Art der Wirkflächen und Wirkorte des Systems. Des Weiteren können Hüllflächen und Stützstrukturen beschrieben werden. Die rechnerunterstützte Modellierung erfolgt mit Hilfe gängiger 3D-CAD-Systeme.

Verhalten: Dieses Partialmodell umfasst die Aktivitäten, Zustände und Zustandsübergängen sowie die Auswirkung auf die Wirkstruktur des betrachteten Systems.

Bewertung

Die Spezifikationstechnik CONSENS liefert eine allgemeinverständliche Beschreibung komplexer mechatronischer Systeme. Dafür stellt sie den Anwendern eine Methode, Modellierungssprache sowie eine Werkzeugunterstützung zur Verfügung. Die Anwendung von CONSENS ist in der Konzipierungsphase zu verorten; Informationen aus der Strategischen Planung oder organisatorische Rahmenbedingungen sind daher nicht Gegenstand der Betrachtung. Zur Beschreibung der prinzipiellen Lösung stellt CONSENS eine Modellierungssprache zur Verfügung, die für Entwickler intuitiv anwendbar und benutzungsfreundlich ist.

3.3.7 Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse (OMEGA)

OMEGA ist eine objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse. Sie wurde am Heinz Nixdorf Institut entwickelt und gemeinsam mit der UNI-

TY AG³⁰ weiterentwickelt [Fah95]. Ziel ist ein intuitiv verständliches, vollständiges Modell der Ablauforganisation. Hierfür wird die Aufbau- und Prozessorganisation in einem Diagramm abgebildet. Auf dieser Basis können anschließend formale Prozessspezifikationen für Workflow- und Produktdatenmanagementsysteme abgeleitet werden. Die Visualisierung ermöglicht eine intuitive Verständlichkeit des Prozessmodells. Dafür stellt die Methode eine grafische Notation zur Verfügung, die alle wesentlichen Sachverhalte veranschaulicht [GP14, S. 254 ff.]. Bild 3-28 gibt einen Überblick über die Konstrukte der Methode OMEGA. Die Konstrukte der Methode werden nachfolgend erläutert [GP14, S. 254 ff.]

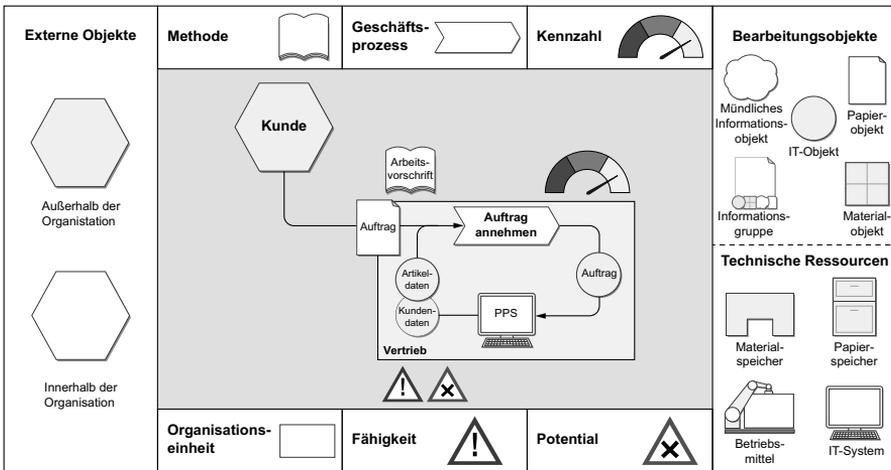


Bild 3-28: Überblick der OMEGA-Konstrukte [GP14, S. 38]

Ein **Geschäftsprozess** wird als eine Abfolge logisch zusammenhängender Aktivitäten bezeichnet. Er dient der Transformation eines Objekts oder dem Erbringen eines Ergebnisses. Anfang und Ende des Prozesses sind durch Auslöser bzw. Input und Ergebnis bzw. Output fest definiert. Die Input- und Output-Größen eines Geschäftsprozesses werden durch **Bearbeitungsobjekte** dargestellt. OMEGA unterscheidet IT-Objekte, Papierobjekte, mündliche Informationen, Materialobjekte und Informationsgruppen. Die Durchführung eines Geschäftsprozesses erfordert Hilfsmittel; diese werden als **technische Ressourcen** bezeichnet. Dazu gehören IT-System, Betriebsmittel, Papierspeicher und Materialspeicher. Die Ausführung des Geschäftsprozesses erfolgt durch eine **Organisationseinheit**. Sie repräsentiert eine Stelle in der Aufbauorganisation des Unternehmens (z.B. Abteilung, Person, Rolle etc.). Organisationen, die außerhalb der betrachteten Organisationseinheit liegen werden als **interne Objekte** dargestellt. Organisationen außerhalb des Untersuchungsbereichs, werden als **externe Objekte** dargestellt; das sind bspw. externe Personen, Firmen, Institutionen etc. Geschäftsprozesse, externe

³⁰ Die UNITY AG ist eine technologieorientierte Managementberatung [Uni16-ol]

Objekte und technische Ressourcen werden über **Kommunikationsbeziehungen** miteinander verbunden. Sie übermitteln die Bearbeitungsobjekte und machen so die Informations- und Materialflüsse im Prozess sichtbar. Jede Kommunikationsbeziehung hat dabei immer genau einen Sender und genau einen Empfänger.

Eine werkzeugtechnische Unterstützung erfolgt durch den OMEGA Process Modeller (OPM). Der OPM ist ein grafisch interaktives IT-Werkzeug zur Erzeugung und Analyse von Geschäftsprozessmodellen. Er basiert auf Microsoft Visio und folgt daher dem software-ergonomischen Konzept von Microsoft. Dadurch ist er vor allem für Microsoft-Nutzer intuitiv anwendbar.

Bewertung

OMEGA stellt eine intuitiv verständliche Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse zur Verfügung. Dafür strukturiert und klassifiziert OMEGA einzelne in einem Geschäftsprozess eingesetzte Objekte und stellt intuitiv verständliche Symbole zu deren Darstellung bereit. Die Methode fokussiert die Abbildung und Analyse bestehender Prozesse sowie die darauf aufbauende Prozessverbesserung und Definition von Sollprozessen. Dies erlaubt auch die Darstellung von Dienstleistungsprozessen. Für die Erarbeitung der Prozessmodelle stellt OMEGA ein Workshop-Set sowie eine Werkzeugunterstützung zur Verfügung. Da die Werkzeugunterstützung dem Software-ergonomischen Konzept von Microsoft folgt, ist die Einarbeitungszeit gering. Die Benutzungsfreundlichkeit ist somit als hoch zu bewerten.

3.3.8 Service-Blueprinting

Service-Blueprinting ist eine Methode zur systematischen Strukturierung und grafischen Abbildung von Dienstleistungsprozessen. Im Fokus der Betrachtung steht die Integration des Kunden. Ein Service-Blueprint bezeichnet dabei ein grafisches Abbild eines Dienstleistungsprozesses und seiner Teilaktivitäten. Das Grundmodell geht zurück auf die Überlegungen von SHOSTACK [Sho82, S. 49ff.]. Sie visualisierte in einem Ablaufdiagramm Punkte, an denen es zur Interaktion zwischen Kunden und dem Personal des Dienstleisters kommt [Kle00, S. 4f.], [Sho82, S. 49ff.]. Heute existiert eine Vielzahl verschiedener Blueprinting-Konzepte mit unterschiedlichen Schwerpunkten; hierfür wurde das Grundmodell von SHOSTACK erweitert [ELW+06, S. 432ff.]. Einen umfassenden Ansatz liefert KLEINALTENKAMP, dessen Arbeiten nachfolgend vorgestellt werden [BS05, S. 58f.] [KH99, S. 170f.], [Kle97, S. 89ff.]. Für die Abbildung des Dienstleistungsprozesses stehen dem Anwender die Konstrukte Prozess, Entscheidung und Dokument zur Verfügung. Die Konstrukte werden auf verschiedenen Ebenen dargestellt, die gemeinhin als „Linien“ bezeichnet werden (vgl. Bild 3-29). Die Verknüpfung der Konstrukte erfolgt über einen einheitlichen, nicht näher spezifizierten Verbindungspfeil [ELW+06, S. 432ff.].

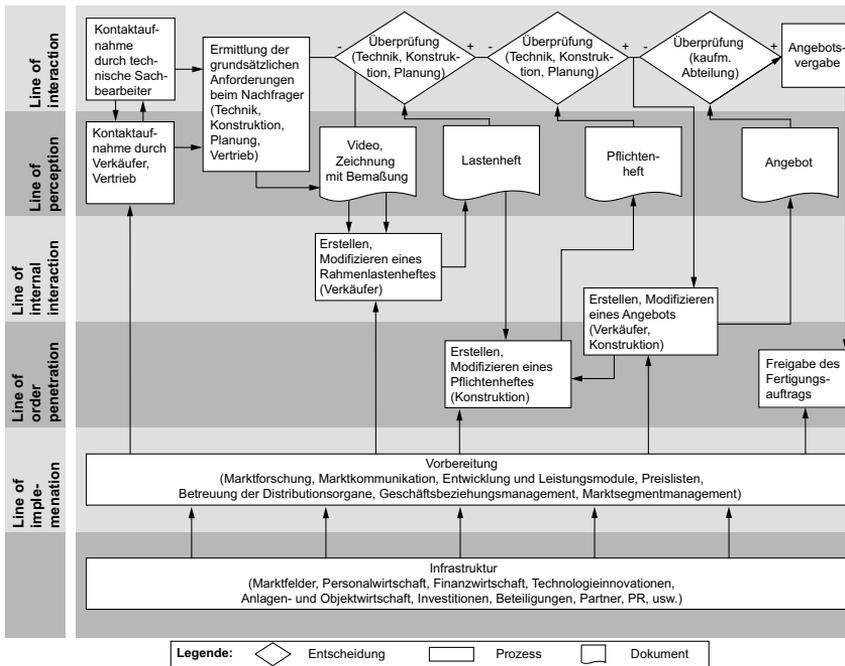


Bild 3-29: Service-Blueprint eines Verkaufsprozesses in Anlehnung an [BS05, S. 59] [Kle01, S. 12], [WJ00, S. 583]

Je nach Betrachtungsfokus kann die Anzahl der Ebenen bzw. Linien variieren. Nachfolgend werden die von KLEINALTENKAMP, SALMAN sowie WEIBER und JACOB definierten Linien vorgestellt [Kle00, S. 12ff.], [Sal04, S. 64f.], [WJ00, S. 583ff.]:

- **Kundeninteraktionslinie (line of interaction)** beschreibt die vom Kunden ausgeführten Prozesse.
- **Sichtbarkeitlinie (line of visibility/line of perception)** trennt die für den Kunden sichtbaren Prozesse von den für ihn im Verborgenen stattfindenden Prozessen.
- **Interne Interaktionslinie (line of internal interaction)** trennt Prozesse mit unmittelbarem Zusammenhang zur Kundenintegration von den unterstützenden Tätigkeiten, die der Vorbereitung von primären Prozessen dienen.
- **Vorplanungslinie (line of order penetration)** trennt Prozesse, die dem Leistungsprozess direkt zugeordnet werden können von den Prozessen, die zu seiner Vorbereitung erforderlich sind.
- **Implementierungslinie (line of implementation)** trennt die konkreten Vorbereitungsprozesse von allgemeinen Prozessen zur Markterschließung, wie z.B. Marktstudien und F&E-Aktivitäten.

Bewertung

Das Service-Blueprinting ist ein allgemeingültiger und anwendungsorientierter Ansatz zur Abbildung und Strukturierung von Dienstleistungsprozessen. Im Fokus der Betrachtung stehen der Kunde und die Aktivitäten, die zur Erbringung der Dienstleistung erforderlich sind. Ein umfassendes Verständnis der Marktleistung wird nicht adressiert. Positiv hervorzuheben ist die geringe Anzahl verschiedener Konstrukte – die Einarbeitungszeit ist minimal. Die Übertragung dieses Ansatzes auf einen anderen Betrachtungsgegenstand erscheint jedoch schwierig.

3.4 Handlungsbedarf

Bild 3-30 zeigt die zusammenfassende Bewertung der vorgestellten Ansätze, Methoden und Hilfsmittel aus dem Stand der Technik hinsichtlich der Anforderungen an eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge (vgl. Abschnitt 2.7). Da kein Ansatz alle Anforderungen erfüllt, wird nachfolgend der verbleibende Handlungsbedarf thematisiert.

A1: Anwendungsbereich mechatronische Systeme

Die Anforderung wird von einer Vielzahl der Ansätze aus dem Stand der Technik erfüllt; die untersuchten Ansätze sind in der Regel nicht auf eine bestimmte Disziplin beschränkt und lassen sich für mechatronische Systeme anwenden.

A2: Berücksichtigung von Dienstleistungen

Die Anforderung nach der Berücksichtigung von Dienstleistungen wird nur von einzelnen Ansätzen thematisiert. Es besteht der Bedarf an einer Systematik, die die Charakteristika von Dienstleistungen gleichberechtigt zum Produkt adressiert. Die HLB-Layer Methode nach MÜLLER sowie das Service Blueprinting liefern einen guten Ansatz.

A3: Methodische Auseinandersetzung mit Entwicklungsaufträgen

Die Systematik muss die Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen in den Kontext eines methodischen Vorgehens stellen. Diese Anforderung wird lediglich von einigen wenigen untersuchten Ansätzen teilweise erfüllt. Es besteht Handlungsbedarf bei der systematischen Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge. Das umfasst die Bereitstellung einer Modellierungssprache, einer Methode und einer Werkzeugunterstützung.

A4: Abbildung von Informationen für ein umfassendes Verständnis der Marktleistung

Keiner der untersuchten Ansätze liefert ein umfassendes Verständnis der Marktleistung vor dem Hintergrund der Strategischen Planung. In der Regel erfolgt nur eine selektive Betrachtung des Produkts oder der Dienstleistung. Wesentliche Vorarbeiten aus der Strategischen Planung werden nicht oder nur unzureichend abgebildet. Vor diesem

Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der gestellten Anforderungen. Fragestellung: Wie gut erfüllen die untersuchten Ansätze (Zeile) die gestellten Anforderungen an eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge (Spalte)? Bewertungsskala: ○ = nicht erfüllt ◐ = teilweise erfüllt ● = voll erfüllt		Anforderungen (A)								
		Übergeordnet		Ganzheitliche Abbildung			Komm.- u. Koop.-plattform			
		Anwendungsbereich mechatronische Systeme	Berücksichtigung von Dienstleistungen	Methodische Auseinandersetzung mit Entw.-aufträgen	Abb. von Inf. für ein umfassendes Verständnis der ML	Verfügbarkeit von Hintergrundinformationen	Bereitstellung organisatorischer Rahmenbedingungen	Modellbasierte Abbildung des Entwicklungsauftrags	Intuitives Verständnis durch eingängige graf. Notation	Benutzungsfreundliche Anwendung
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Ansätze zur Planung und Entwicklung von Marktleistungen	Vorgehen bei der Produktplanung nach FELDHUSEN ET AL.	◐	○	○	◐	◐	◐	○	○	○
	Ablaufplan der Produktplanung nach VDI 2220	◐	○	○	◐	◐	◐	○	○	○
	House of Value Creation nach FORZI und LAING	◐	◐	○	◐	○	○	◐	○	○
	Methodik zum Entwickeln und Konstruieren techn. Systeme und Produkte nach VDI 2221	◐	○	○	◐	○	○	○	○	○
	Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme nach VDI 2206	◐	○	○	◐	○	○	○	○	○
	Methodik zur integrierten Produktentwicklung nach EHRENSPIEL	◐	◐	○	◐	◐	○	○	○	○
	Integriertes Produktentstehungs-Modell nach ALBERS	◐	◐	○	◐	◐	○	○	○	○
	ZOPH-Modell nach NEGELE	◐	○	○	◐	◐	○	◐	○	○
5-Ebenen-Modell nach HITCHINS	◐	○	○	◐	◐	○	○	○	○	
Ansätze zur Spezifikation der Entw.-aufgabe	Aufbau und Erstellung der Anforderungsliste nach FELDHUSEN ET AL.	◐	○	◐	◐	◐	◐	○	○	○
	Aufgabenklärung nach EHRENSPIEL und MEERKAMM	◐	○	◐	◐	○	◐	○	○	○
	Generischer Zielkatalog nach HABERFELLNER ET AL.	◐	◐	◐	◐	◐	○	○	○	○
	Methode zur Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplin. Produktentstehung nach EDEL	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐	○	◐
	Layer Methode für hybride Leistungsbündel nach MÜLLER	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Ansätze zur Modellierung	Business Model Kit des BOARD OF INNOVATION	○	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐
	[moby]-Geschäftsmodellframework nach WEINER ET AL.	○	○	○	◐	◐	○	◐	◐	◐
	Business Engineering Navigator (BEN) nach WINTER	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐
	Value Delivery Modeling Language (VDML)	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐
	Systems Modeling Language (SysML)	◐	○	○	◐	○	○	◐	○	◐
	Spezifikationstechnik Consens	◐	○	○	◐	○	○	◐	◐	◐
	Objektorientierte Methode zur Geschäftsmodellierung und -analyse (OMEGA)	○	○	○	○	○	○	◐	◐	◐
	Service-Blueprinting	○	◐	○	◐	○	○	◐	◐	◐

Bild 3-30: Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der Anforderungen an eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge

Hintergrund herrscht Handlungsbedarf bei der Bereitstellung von strategischen Begleitinformationen.

A5: Verfügbarkeit von Hintergrundinformationen

Die Verfügbarkeit von Hintergrundinformationen wird von einigen Methoden aus dem Stand der Technik thematisiert – häufig wird jedoch lediglich ihre hohe Bedeutung herausgestellt und auf eine verbale Abstimmung verwiesen oder die Ausführungen bleiben konzeptioneller Natur. Es besteht der Bedarf an einer systematischen Dokumentation von Hintergrundinformationen durch eine Verknüpfung mit den Anforderungen. Erfolg versprechende Ansätze zur Umsetzung dieser Anforderung stellen das 5-Ebenen-Modell nach HITCHENS sowie die HLB-Layer Methode nach MÜLLER dar.

A6: Bereitstellung organisatorischer Rahmenbedingungen

Die Darstellung von organisatorischen Rahmenbedingungen wird von einigen Ansätzen betrachtet. So kann bspw. die Erstellung von Anforderungslisten nach FELDHUSEN ET AL. sowie EHRENSPIEL und MEERKAMM einen Beitrag zur Anforderungserfüllung leisten.

A7: Modellbasierte Abbildung des Entwicklungsauftrags

Die modellbasierte Abbildung entwicklungsrelevanter Informationen wird von keinem der untersuchten Ansätze vollumfänglich erfüllt. Es existiert zwar eine Vielzahl modellbasierter Ansätze aus der Strategischen Planung und der Entwicklung – die Schnittstelle zwischen den beiden Bereichen wird jedoch nicht oder lediglich in Teilen thematisiert. Allerdings können die dargelegten Ansätze Ansatzpunkte für die Entwicklung einer Modellierungssprache liefern.

A8: Intuitives Verständnis durch eingängige grafische Notation

Einige wenige Ansätze haben eine eingängige grafische Notation. In diesem Zusammenhang hat sich vor allem die Darstellung mit Hilfe von Piktogrammen als besonders Erfolg versprechend herauskristallisiert. Die wesentlichen Erfolgsfaktoren sind zu identifizieren und bei der Definition der grafischen Notation zu berücksichtigen.

A9: Benutzungsfreundliche Anwendung

Nur wenige der untersuchten Ansätze zeichnen sich durch eine hohe Benutzungsfreundlichkeit aus. Die Spezifikationstechnik CONSENS und OMEGA überzeugen vor allem durch eine geringe Anzahl verschiedener Konstrukte bzw. Elemente. Die Beziehungen werden durch Linien dargestellt. Das Business Model Kit stellt einen Baukasten mit vordefinierten Bausteinen zur Verfügung. Alle drei Ansätze stellen dem Anwender sowohl ein Workshop-Set als auch ein Software-Werkzeug zur Anwendung zur Verfügung. Diese Faktoren sind hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit zu untersuchen.

4 Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge

„Ein Bild sagt mehr als tausend Worte.“

– FRED R. BARNARD

Dieses Kapitel beschreibt die *Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge*. Die Systematik hat den Anspruch, den im Rahmen der Problemanalyse identifizierten Herausforderungen und Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.6 und 2.7) gerecht zu werden sowie den zuvor dargestellten Handlungsbedarf (vgl. Abschnitt 3.4) zu erschließen. Die hier vorgestellte Systematik soll einen Beitrag zu einer zielorientierten Zusammenarbeit von Strategischer Planung und Entwicklung leisten.

Abschnitt 4.1 gibt einen Überblick über die Systematik. Dafür wird zunächst die Grundidee der Systematik vorgestellt und anschließend ihre Bestandteile erläutert. Gegenstand von Abschnitt 4.2 ist der Entwicklungsauftrag sowie seine Struktur und Inhalte. Die entwickelte Systematik umfasst eine Modellierungssprache, eine Methode sowie eine Werkzeugunterstützung; zum besseren Verständnis werden Modellierungssprache (Abschnitt 4.3), Methode (Abschnitt 4.4) und Werkzeugunterstützung (Abschnitt 4.5) anhand eines Validierungsbeispiels erläutert.

Das Validierungsprojekt zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge³¹ wurde in Zusammenarbeit mit der Weidmüller Gruppe durchgeführt. Weidmüller ist ein Hersteller der elektrischen Verbindungstechnik und Elektronik – aus Gründen der Geheimhaltung erfolgt die Darstellung des Projekts in Auszügen, vertrauliche Elemente wurden modifiziert. Gegenstand des Validierungsprojekts ist ein Druckersystem (vgl. Bild 4-1).



Bild 4-1: Druckersystem der Weidmüller Gruppe³²

Druckersysteme ermöglichen die Beschriftung der hochkomplexen Verschaltungen einer Produktionsanlage und erleichtern so die Inbetriebnahme und Instandhaltung. Das bisherige Marktleistungskonzept konzentrierte sich auf den Vertrieb des Druckersys-

³¹ Die Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge wurde im Zuge des BMBF-Projekts ADISTRA (Adaptierbares Instrumentarium für die Strategische Produktplanung) zusätzlich bei der SKF GMBH, WINCOR NIXDORF INTERNATIONAL GMBH und FISCHER IMF GMBH & Co. KG angewendet und validiert vgl. dazu auch [GOA+16]. Darüber hinaus fand eine Anwendung und Validierung der Systematik bei der FRIEDRICH REMMERT GMBH statt.

³² ©Weidmüller-Gruppe

tems sowie der zugehörigen Verbrauchsmaterialien. Im Zuge der internationalen Marktentwicklung wurde eine neue Geschäftsidee entwickelt: Zukünftig sollen kundenindividuelle Markierungslösungen für Schaltschrankkomponenten mittels Webshop vertrieben werden, d.h. der Kunde kann sein individuelle bedruckte Schild online bestellen. Aufgrund der Komplexität des Vorhabens wurde ein modellbasierter Entwicklungsauftrag angestrebt.

4.1 Die Systematik im Überblick

Gegenstand dieses Abschnitts ist ein Überblick der entwickelten Systematik. Zu diesem Zweck wird zunächst die Grundidee der Systematik (vgl. Abschnitt 4.1.1) erläutert. Anschließend werden die einzelnen Bestandteile der Systematik (vgl. Abschnitt 4.1.2) dargestellt.

4.1.1 Grundidee

Das Referenzmodell der Strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen bildet das übergeordnete Rahmenwerk für die nachfolgend dargestellte Systematik. Grundgedanke des Referenzmodells ist das zyklische Vorgehen – demnach ist der Entstehungsprozess von Marktleistungen keine stringente Folge von Phasen- und Meilensteinen; vielmehr ist es ein Wechselspiel von Aufgaben, die sich zu Zyklen zusammenfassen lassen. Diese sind eng aufeinander abgestimmt voranzutreiben, um sicherzustellen, dass alle Möglichkeiten eines aus unternehmerischer und technischer Sicht Erfolg versprechenden Marktleistungskonzepts ausgeschöpft werden (vgl. Abschnitt 2.3) [GAD+14, S. 11ff.], [GP14, S. 25ff.].

Die entwickelte Systematik unterstützt diesen Grundgedanken des Referenzmodells, indem sie entscheidend zu einer zielorientierten und integrativen Zusammenarbeit zwischen der Strategischen Planung und der Entwicklung von Marktleistungen beiträgt. Zu diesem Zweck verfolgt die Systematik die beiden folgenden Ziele:

- **Ganzheitliche Abbildung entwicklungsrelevanter Informationen**, d.h. der Entwicklungsauftrag umfasst genau die Inhalte, die für das Verständnis der Marktleistung entscheidend sind. Zu diesem Zweck werden die etablierten Elemente des Entwicklungsauftrags bestehend aus Anforderungen und organisatorischen Rahmenbedingungen um die erarbeiteten Resultate der Strategischen Planung wie z.B. Zukunftswissen erweitert. Es werden Hintergrundinformationen sowie das Ursachen-Wirkungs-Gefüge dargelegt. Die abstrakte Darstellung von Wirkzusammenhängen erlaubt es, die Komplexität von Entscheidungen zu managen und für Dritte nachvollziehbar zu gestalten. Hierdurch können Fragen nach Beweggründen oder gar Sinnhaftigkeit minimiert bzw. beantwortet werden. Ferner sind Hintergrundinformationen entscheidend für die Akzeptanz des Entwicklungsauftrags.

- **Plattform für Kommunikation und Kooperation der beteiligten Akteure**, d.h. der modellbasierte Entwicklungsauftrag ist ein intuitiv verständliches Ausdrucksmittel, das die Kommunikation und Kooperation der verschiedenen Bereiche unterstützt. Dies ermöglicht den involvierten Akteuren den Austausch auf einer Ebene – unabhängig vom Ausbildungshintergrund. Hierdurch wird ein einheitliches Verständnis des Gesamtsystems herbeigeführt.

Bild 4-2 zeigt eine schematische Darstellung des resultierenden modellbasierten Entwicklungsauftrags. Ausgangspunkt ist die Schnittstelle der Aufgabenbereiche Potential- und Produktfindung sowie Geschäftsplanung, Dienstleistungs-, Produkt-, und Produktionssystemkonzipierung. Im Kern geht es um die wesentlichen Ausgangs- bzw. Eingangsgrößen der Aufgabenbereiche. Beispielhaft sei an dieser Stelle das Referenzszenario als ein Ergebnis der Potentialfindung genannt.

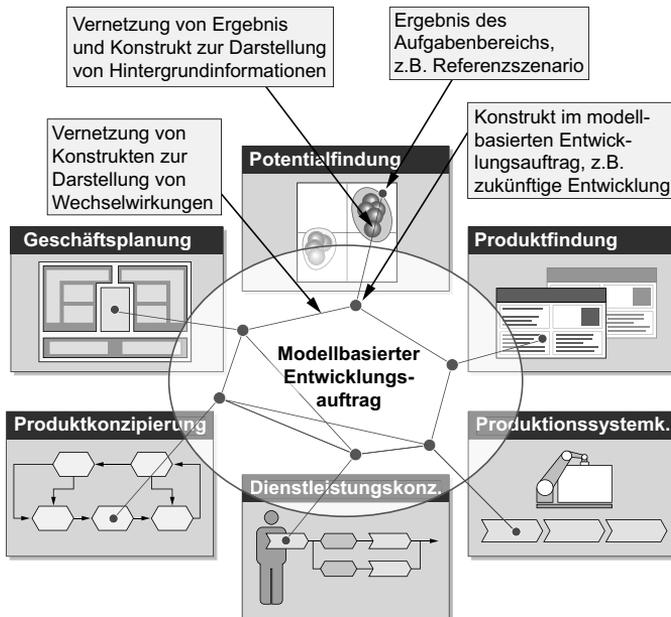


Bild 4-2: Schematische Darstellung des modellbasierten Entwicklungsauftrags [WG16, S. 62]

Bei der Erarbeitung des Entwicklungsauftrags ist es selten effizient, alle erarbeiteten Ergebnisse in vollem Umfang zu dokumentieren. Vor diesem Hintergrund werden die wesentlichen Erkenntnisse extrahiert und in Form eines Konstrukts im modellbasierten Entwicklungsauftrag dargestellt. In dem im Bild 4-2 dargelegten Beispiel werden die wesentlichen Ergebnisse des Referenzszenarios als *zukünftige Entwicklung* im Modell abgebildet [WG16, S. 61f.].

Die auf diesem Weg resultierenden Elemente des Entwicklungsauftrags bleiben jedoch mit ihrem Ursprung (hier: dem Referenzszenario) vernetzt. Dies erlaubt die stetige Verfügbarkeit von Hintergrundinformationen: Je nach Bedarf können diese jederzeit herangezogen werden. Gleichzeitig werden auch die einzelnen Elemente des Entwicklungsauftrags untereinander verknüpft. Hierdurch ist die Darstellung von Wechselwirkungen möglich – sowohl zwischen den einzelnen Aufgabenbereichen der Strategischen Planung als auch zwischen der Strategischen Planung und Entwicklung. So kann die Konsistenz zwischen den beteiligten Aufgabenbereichen sichergestellt und potentielle Änderungen an alle beteiligten Akteure propagiert werden [WG16, S. 62f.].

Zusammengefasst resultiert für den Entwicklungsauftrag eine neue Rolle im Marktleistungsentstehungsprozess: Er avanciert von einem reinen Übergabedokument zu einem vernetzten Modell. Die Umsetzung dieser neuen Rolle erfordert eine Modellierungssprache, eine Methode sowie eine Werkzeugunterstützung. Zusammengenommen ergeben diese drei Bestandteile die Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge. Die einzelnen Bestandteile werden nachfolgend erläutert.

4.1.2 Bestandteile der Systematik

Die entwickelte Systematik umfasst drei wesentliche Bestandteile, wie sie in Bild 4-3 dargestellt sind: Die **Modellierungssprache** dient der bereichsübergreifenden Beschreibung des Entwicklungsauftrags, gegliedert nach den Aspekten Unternehmensumfeld, Unternehmen, Marktleistung und Anforderungen. Die Aspekte werden rechnerintern durch Partialmodelle abgebildet. Der modellbasierte Entwicklungsauftrag ist ein kohärentes System von Partialmodellen. Für eine einfache Anwendbarkeit der Sprache, wurde eine intuitiv verständliche grafische Notation (konkrete Syntax) der Modellierungssprache gewählt. Sie fußt auf Arbeiten im Bereich visuelle Kommunikation und orientiert sich an den Grundsätzen der ordnungsgemäßen Modellvisualisierung (GoMV). Den Kern der Modellierungssprache bildet das Metamodell (abstrakte Syntax, statische Semantik).

Die **Methode** unterstützt die Fachleute bei der Anwendung der Sprache. Hierfür umfasst die Methode ein Vorgehensmodell, welches die idealtypische Abfolge der durchzuführenden Tätigkeiten festlegt. Ferner wird aufgezeigt, wie Sichten für spezifische Interessengruppen (z.B. das Management, Entwickler) erarbeitet werden.

Die **Werkzeugunterstützung** umfasst zwei verschiedene Arten von Hilfsmitteln, die eine effiziente Modellierung des Entwicklungsauftrags unterstützen: Das ist zunächst ein Karten-Set, welches eine effiziente Durchführung von Workshops unterstützt sowie eine Software-Lösung. Erst eine aufeinander abgestimmte Kombination von Modellierungssprache, Methode und Werkzeugunterstützung ermöglicht eine effektive und effiziente Modellierung von Entwicklungsaufträgen.

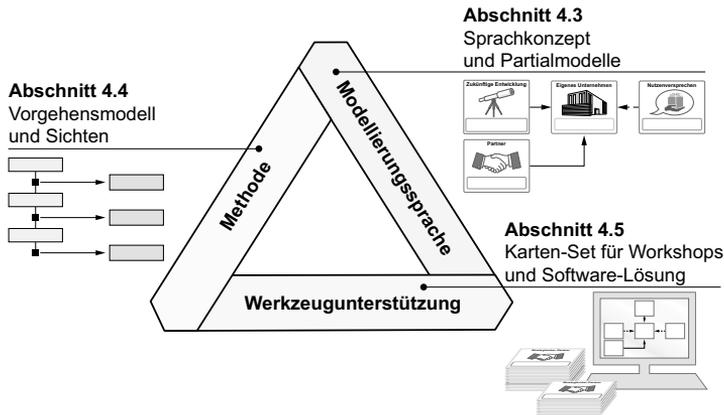


Bild 4-3: Bestandteile der Systematik in Anlehnung an [WG16, S. 60]

Ausgangspunkt für die Entwicklung der Systematik ist die Festlegung der Informationen und Aspekte zur Beschreibung des Entwicklungsauftrags. Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend die Inhalte und Struktur des Entwicklungsauftrags thematisiert.

4.2 Struktur und Inhalte des Entwicklungsauftrags

Der Entwicklungsauftrag repräsentiert das zentrale Kommunikationsinstrument zwischen der Strategischen Planung und Entwicklung und definiert vollumfänglich die geplante Marktleistung. Hierfür umfasst der Entwicklungsauftrag alle relevanten Informationen, die für ein umfassendes Verständnis der Marktleistung erforderlich sind [WG16, S. 60]. Diese Informationen lassen sich in die drei Bereiche organisatorische Rahmenbedingungen, strategische Begleitinformationen und Anforderungen gliedern, die die Struktur eines Entwicklungsauftrags vorgeben (vgl. Bild 4-4). Die Bereiche werden nachfolgend erläutert.

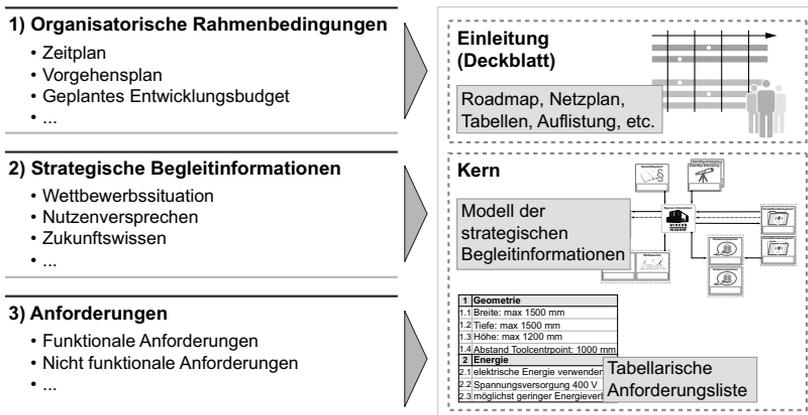


Bild 4-4: Struktur und Inhalte eines Entwicklungsauftrags [WG16, S. 60]

Organisatorische Rahmenbedingungen

Dieser Bereich umfasst Informationen, die für Identifikation, Planung und Durchführung des zugrundeliegenden Entwicklungsprojekts erforderlich sind [WG16, S. 60]. Für eine eindeutige **Identifikation** werden in Anlehnung an FELDHUSEN ET AL. Informationen wie bspw. die zuständige Abteilung, das Erstellungsdatum sowie Informationen zur durchgängigen Versionierung des Entwicklungsauftrags dokumentiert. Im Rahmen der Erstellung des Entwicklungsauftrags werden derartige Angaben im Kopfbereich des Dokuments platziert (vgl. Bild 4-5) [FGN+13, S. 322ff.].

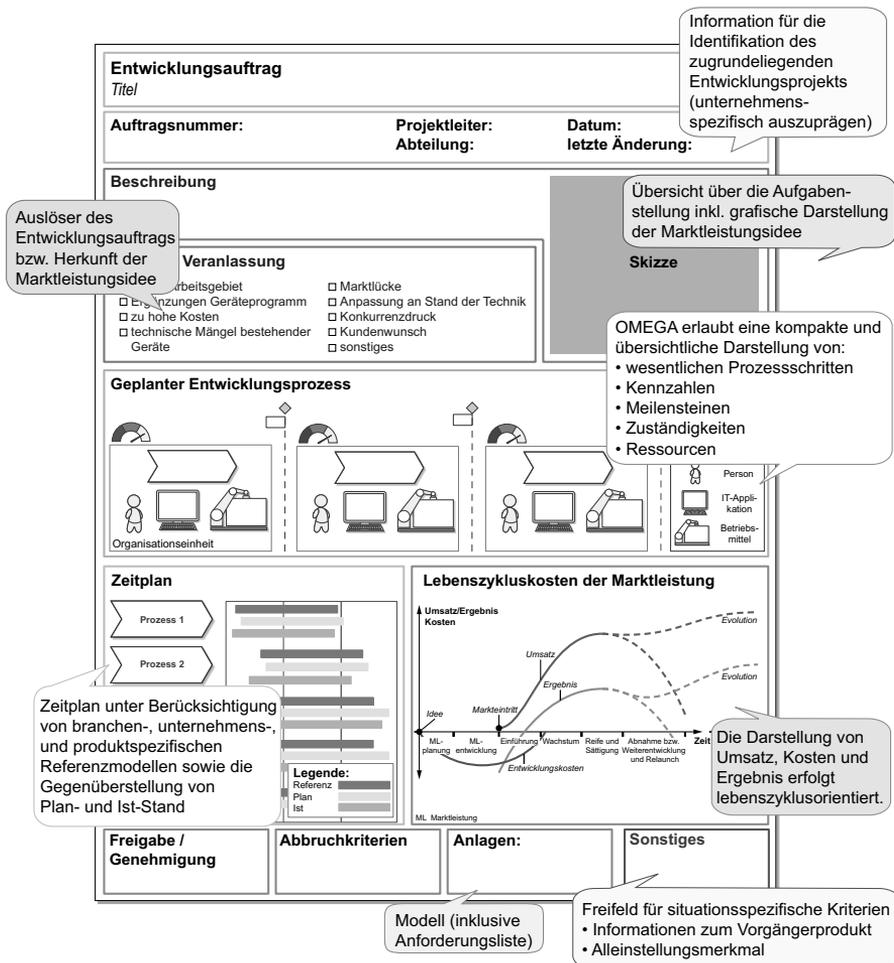


Bild 4-5: Deckblatt eines Entwicklungsauftrags (Template)³³

³³ Für das ausgefüllte Template siehe Bild 4-34.

Die **Planung** und **Durchführung** des Entwicklungsprojekts erfordert die Kenntnis von Zeit- und Kostenrestriktionen. Hierfür werden Informationen wie bspw. Zeit- und Vorgehensplan sowie das geplante Entwicklungsbudget dokumentiert [WG16, S. 60f.]. Da diese Informationen essentiell für das Management des geplanten Entwicklungsprojekts sind, werden sie in der Einleitung bzw. dem Deckblatt platziert. Somit sind die Informationen für alle Beteiligten sofort sichtbar. In Anlehnung an EHRENSPIEL und MEERKAMM wurde ein Deckblatt definiert [EM13, S. 393]. Hierbei werden die Arbeiten von EHRENSPIEL und MEERKAMM um die Ergebnisse der empirischen Untersuchung (vgl. Abschnitt 2.4.3) ergänzt. Da derartige Informationen jedoch unternehmensspezifisch ausgeprägt werden, dienen die dargestellten Informationen als Orientierungshilfe. Die dokumentierten Informationen erfordern im weiteren Zeitverlauf eine kontinuierliche Aktualisierung: So ist bspw. im Rahmen der Zeitplanung eine fortwährende Gegenüberstellung von Referenz- und Plan-Werten gegenüber dem Ist-Wert erforderlich (in Anlehnung an ALBERS [Alb10], vgl. Abschnitt 3.1.7).

Strategische Begleitinformationen

Die strategischen Begleitinformationen beschreiben das geplante Geschäftsgefüge zur Erbringung einer Marktleistung. Konkret wird dargestellt, wie ein Unternehmen Werte schafft, die seinen Kunden Nutzen stiften und ihn motivieren, die geplante Marktleistung zu erwerben. Gleichzeitig wird aufgezeigt, welche äußeren Entwicklungen das Unternehmen in diesem Kontext beeinflussen und die Frage beantwortet, mit welchen Funktionalitäten, Prozessen und Ressourcen der Nutzen erbracht wird und welche Ausgaben für die Bereitstellung des Nutzens anfallen. Der Nutzen ermöglicht eine Differenzierung gegenüber Wettbewerbern.

Bei der Beschreibung der strategischen Begleitinformationen ist der richtige Detaillierungsgrad essentiell. Es gilt, die Geschäftstätigkeiten ganzheitlich zu erfassen und gleichzeitig die Komplexität auf die wesentlichen Aspekte zu reduzieren. Diesen Vorgaben folgend lassen sich folgende Ebenen zur Beschreibung von strategischen Begleitinformationen definieren:

- Die **Ebene des Unternehmensumfelds** beschreibt die Menge an Marktteilnehmern, die miteinander in Leistungsbeziehungen stehen oder diese beeinflussen sowie äußere Einflüsse auf das Unternehmen.
- Die **Unternehmens-Ebene** beschreibt das Wirkgefüge des betrachteten Unternehmens zur Erbringung einer Marktleistung.
- Die **Marktleistung-Ebene** umfasst die wesentlichen Bestandteile des geplanten zukünftigen Produkts oder der Dienstleistung.

Diese Ebenen sind in der Regel auch die wesentlichen Lieferanten für Anforderungen – sie stellen also auch sog. Anforderungsquellen dar. Anforderungsquellen repräsentieren den Ursprung einer Anforderung und geben Auskunft über die Beweggründe einer Anforderung (vgl. Abschnitt 3.2.1). Die Kenntnis dieser Hintergrundinformationen ist aus

verschiedenen Gründen zweckmäßig: Hintergrundinformationen ermöglichen eine zielgerichtete Lösungsfindung; gleichzeitig ist im Laufe der Entwicklung einzuschätzen, ob eine Anforderung aufrechterhalten werden muss oder zur Lösung eines Konflikts eliminiert werden kann [EM13, S. 394], [FGN+13, S. 327ff.], [Lin05, S. 85ff.].

Anforderungen

EHRENSPIEL und MEERKAMM folgend, besteht eine Aufgabe aus der Summe aller Anforderungen [EM13, S. 394]. Daher umfasst dieser Bereich alle schriftlich dokumentierten Anforderungen an das geplante Produkt bzw. die geplante Dienstleistung. Der Begriff Anforderung wird z.T. unterschiedlich interpretiert [FGN+13, S. 322], [Nag11]. Diese Arbeit orientiert sich an dem Verständnis von PAHL/BEITZ und projiziert dieses auf die Entwicklung von Marktleistungen: Demnach beschreiben Anforderungen Eigenschaften, die die betreffende Marktleistung bestimmen und/oder Vorgaben, deren Erfüllung den zielgerichteten Verlauf des jeweiligen Konstruktionsprozesses steuern [FGN+13, S. 322], [Kic95].

Im Laufe der Lösungskonzeption können verschiedene Anforderungstypen unterschieden werden: Marktanforderungen, Produkthanforderungen und Komponentenanforderungen. **Marktanforderungen** beschreiben den Nutzen und die Erfahrungen mit einem Produkt und/oder einer Dienstleistung. Häufig in der Sprache des Kunden formuliert, beschreiben sie warum ein Projekt überhaupt durchgeführt wird [Ebe12, S. 23ff.]. **Produkthanforderungen** beschreiben wie Marktanforderungen und Kundenbedürfnisse in ein Produkt bzw. eine Dienstleistung überführt werden. Sie definieren den Lösungsraum und die Prioritäten [Ebe12, S. 28f.]. **Komponentenanforderungen** dienen der rekursiven Verfeinerung einer Produkthanforderung [Ebe12, S. 28f.]. Im Rahmen der Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen werden in der Regel Anforderungen vom Typ Marktanforderung dokumentiert [Ebe12, S. 27]. Es ist aber auch die Dokumentation von Produkt- bzw. Komponentenanforderungen denkbar.

Zusammengefasst repräsentieren die Ebenen Unternehmensumfeld, Unternehmen, Marktleistung sowie Anforderungen die zentralen Anknüpfungspunkte zur Beschreibung des Entwicklungsauftrags. Folgerichtig repräsentieren sie die Aspekte zur modellbasierten Darstellung des Entwicklungsauftrags und stellen den Kern der Modellierungssprache dar. Die Modellierungssprache ist Gegenstand des nachfolgenden Abschnitts.

4.3 Modellierungssprache

Ziel der Modellierungssprache ist eine ganzheitliche und bereichsübergreifende Beschreibung des Entwicklungsauftrags. *Ganzheitlich* meint in diesem Zusammenhang, dass der Entwicklungsauftrag genau die Informationen umfasst, die für ein umfassendes Verständnis der geplanten Marktleistung erforderlich sind. Das sind neben der etablierten Beschreibung der Marktleistung anhand von Anforderungen auch strategische Be-

gleitinformationen aus den Bereichen Unternehmensumfeld, Unternehmen und der Marktleistung (vgl. Abschnitt 4.2). Sie stellen nachfolgend die Aspekte des Entwicklungsauftrags dar. *Bereichsübergreifend* adressiert vor allem die Art der Dokumentation: Diese ist so gewählt, dass alle beteiligten Akteure unabhängig vom Ausbildungshintergrund die Modellierungssprache intuitiv verstehen (vgl. Abschnitt 4.1.1).

Nachfolgend wird die Modellierungssprache vorgestellt. Dafür wird zunächst das grundlegende Sprachkonzept (vgl. Abschnitt 4.3.1) erläutert und anschließend die Aspekte bzw. Partialmodelle Unternehmensumfeld (vgl. Abschnitt 4.3.2), Unternehmen (vgl. Abschnitt 4.3.3), Marktleistung (vgl. Abschnitt 4.3.4) und Anforderungen (vgl. Abschnitt 4.3.5) mit ihren Grundkonstrukten vorgestellt.

4.3.1 Grundlegendes Sprachkonzept

Zur Beschreibung des Entwicklungsauftrags wird eine grafische Modellierungssprache verwendet. Grafische Modellierungssprachen ermöglichen ein einfaches und intuitives Spezifizieren und zeichnen sich durch eine einfache Erlernbarkeit und Lehrbarkeit aus [Kai14, S. 34ff.]. Die Modellierung des Entwicklungsauftrags erfolgt auf Basis der vier Aspekte Unternehmensumfeld, Unternehmen, Marktleistung und Anforderungen (vgl. Bild 4-6).

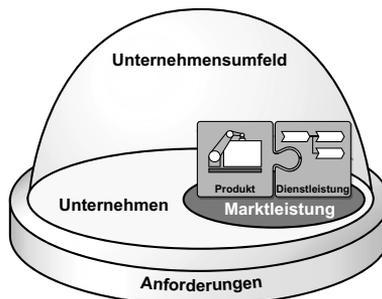


Bild 4-6: Aspekte bzw. Partialmodelle zur Beschreibung des Entwicklungsauftrags

Die rechnerinterne Repräsentation der Aspekte führt zu Partialmodellen. Für die Darstellung der Partialmodelle werden zwei verschiedene Modellarten verwendet: Die Partialmodelle Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung werden durch ein Strukturmodell³⁴ abgebildet. Die Darstellung der Anforderungen erfolgt in Form einer Anforderungsliste, wie sie in technischen Disziplinen seit Jahrzehnten ein etabliertes Werkzeug ist (vgl. Abschnitt 3.2.1 und 3.2.2). Die Abbildung des Entwicklungsauftrags erfolgt mit vordefinierten Modellkonstrukten. Insgesamt existieren drei Arten von Mo-

³⁴ Strukturmodelle repräsentieren die Rekonstruktion einer Struktur nach formalen Regeln oder vereinfachten theoretischen Annahmen. Es werden relevante Systemelemente ausgewählt und systematisch zueinander in Beziehung gesetzt [Mau07, S. 100ff.], [Wir15-ol].

Modellkonstrukten: Grundkonstrukte, Beziehungen und Kommentare. Bild 4-7 zeigt einen Überblick; die Modellkonstrukte werden in den Abschnitten 4.3.1.1 und 4.3.1.2 erläutert.

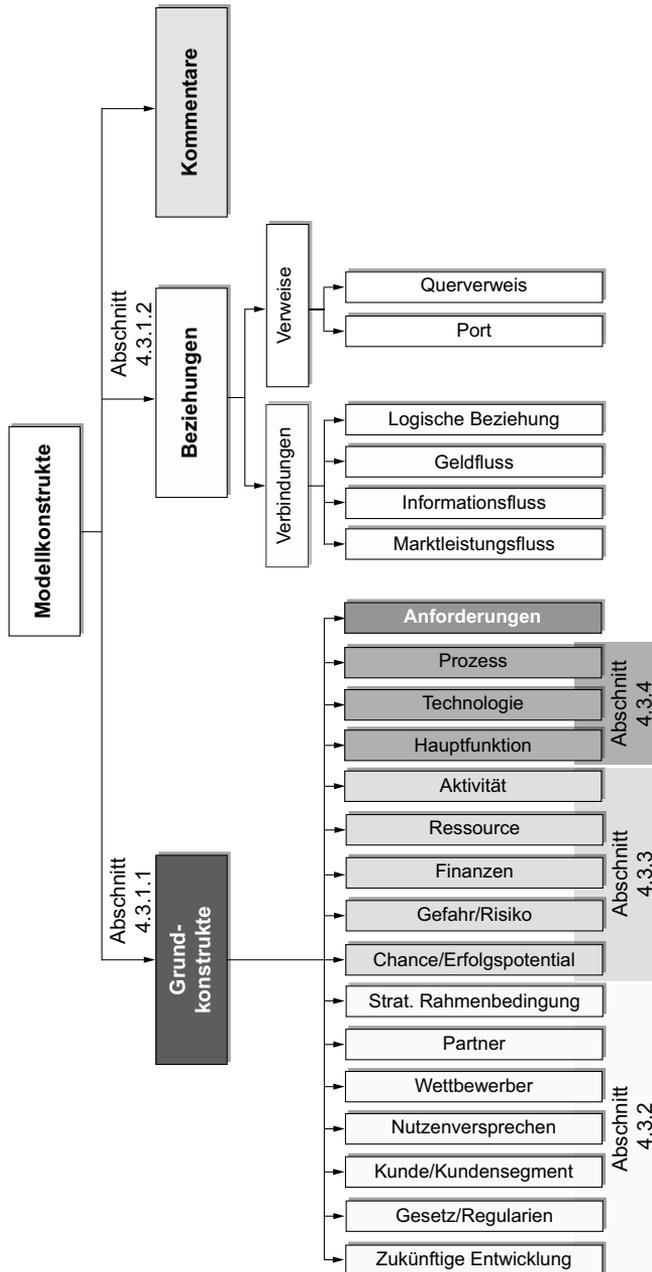


Bild 4-7: Übersicht der Modellkonstrukte

Alle **Modellkonstrukte** verfügen über die folgenden gemeinsamen Merkmale:

- **Bezeichnung:** Unter einer Bezeichnung wird der Name eines Modellkonstrukts verstanden. Der Name muss im Kontext des Partialmodells eindeutig zu verstehen sein.
- **Eigenschaften:** Eigenschaften eines Modellkonstrukts sind Attribute, die durch qualitative oder quantitative Ausprägungen beschrieben werden.
- **Klassifikationsmerkmale:** Klassifikationsmerkmale detaillieren die Beschreibung der Modellkonstrukte. Auf Basis von Klassifikationen können z.B. Filter eingesetzt werden, die nur Modellkonstrukte mit einem bestimmten Klassifikationsmerkmal anzeigen.
- **Uniform Resource Locators (kurz: URL):** URLs sind Querverweise auf externe Dokumente – d.h. Dokumente, die außerhalb des Editors abgelegt sind (z.B. Dateien, die mit anderen Softwarewerkzeugen erstellt wurden). Dadurch ermöglichen URLs die Anbindung und Integration von externen Informationsquellen wie bspw. Excel-Tabellen. Jedes Modellkonstrukte kann über eine URL-Liste verfügen, die beliebig viele URLs enthalten kann.

4.3.1.1 Grundkonstrukte

Grundkonstrukte bilden die Basis für die Beschreibung der Partialmodelle; beispielhaft seien an dieser Stelle die Grundkonstrukte *zukünftige Entwicklung*, *Chance/Erfolgspotential* oder *Technologie* genannt. Dabei ist jedes Grundkonstrukt Bestandteil eines Partialmodells – so ist bspw. das Grundkonstrukt *zukünftige Entwicklung* Teil des Partialmodells *Unternehmensumfeld*. Die grafische Notation (konkrete Syntax) der Grundkonstrukte folgt den Grundsätzen der ordnungsgemäßen Modellvisualisierung (GoMV) nach DEELMANN und LOOS [DL04, S. 289ff.]:

- **Grundsatz der Konsistenz:** Die Gestaltung der Symbole soll nach konsistenten Prinzipien erfolgen. Formen, Linienart, Linienstärke, Schriftarten etc. sind für alle Konstrukte konsistent zu bestimmen.
- **Grundsatz des minimalen Visualisierungsgrades:** Die Symbole sollen mit kleinstmöglichem Visualisierungsgrad erstellt werden. Diese Forderung geht mit einem Verzicht auf Farben oder räumliche Dimensionen einher, sofern diese keinen zusätzlichen Informationsgehalt mit sich tragen.
- **Grundsatz des inhaltlichen Minimalprinzips:** Bei der Erstellung von Symbolen ist die Anzahl unterschiedlicher Objekte zu minimieren. Dabei ist der Grenznutzen beim Hinzufügen zusätzlicher Symbole stets zu berücksichtigen.
- **Grundsatz der Metaphernutzung:** Die Berücksichtigung von aussagekräftigen Metaphern bei der Gestaltung der Symbole erhöht die Benutzungsfreundlichkeit von Modellen.
- **Grundsatz der authentischen Darstellung:** Die Symbole sind sachlogisch richtig darzustellen. Eine durch Verzerrung oder Verfälschung irreführende Gestaltung ist zu vermeiden.

- **Grundsatz der Wiederverwendung:** Symbole sind bei vergleichbaren Zusammenhängen wieder zu verwenden. Dadurch wird die modellübergreifende Konsistenz gewährleistet.

Es resultiert die in Bild 4-8 dargestellte grafische Notation der Grundkonstrukte: Das Rechteck mit den abgerundeten Kanten bildet die grundlegende Struktur – diese ist für alle Grundkonstrukte gleich. Die Unterscheidung erfolgt auf Basis des Titels sowie des zugehörigen Piktogramms.

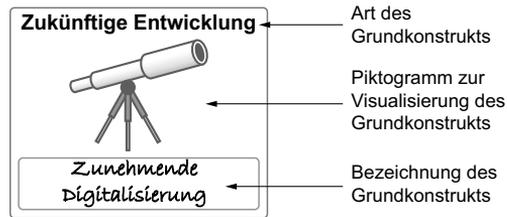


Bild 4-8: Grafische Notation der Grundkonstrukte am Beispiel „zukünftige Entwicklung“

Das in Bild 4-8 dargelegte Beispiel zeigt das Grundkonstrukt *zukünftige Entwicklung*. Die Konkretisierung erfolgt durch die Bezeichnung in dem speziell hierfür vorgesehenen Kästchen im unteren Bereich des Rechtecks (hier: „*Zunehmende Digitalisierung*“).

Unter Beachtung dieser Grundsätze wurden insgesamt 15 Grundkonstrukte definiert. Grundkonstrukte mit einer exponierten Stellung wurden farblich hervorgehoben: Das Grundkonstrukt *Chance/Erfolgspotential* (vgl. Abschnitt 4.3.3.1) wird durch die Farbe Grün in den Fokus der Betrachtung gerückt. Im Sinne einer strategischen Unternehmensführung repräsentiert ein Erfolgspotential eine im Mittelpunkt stehende Führungs- und Steuerungsgröße [Gäl05, S. 24]. Das Grundkonstrukt *Gefahr/Risiko* (vgl. Abschnitt 4.3.3.2) wird mittels einer roten Karte dargestellt. Dies ist auf den erfolgskritischen Charakter für das Geschäft zurückzuführen.

Das Grundkonstrukt *Anforderung* bildet eine Ausnahme hinsichtlich der grafischen Notation. Da dieses Grundkonstrukt in einer tabellarischen Auflistung umgesetzt wird, ist eine grafische Notation an dieser Stelle nicht erforderlich.

4.3.1.2 Beziehungen

Die Grundkonstrukte stehen in Relation zueinander; diese Relationen werden auch als **Beziehungen** bezeichnet. Grundsätzlich können zwei Arten von Beziehungen unterschieden werden: Verbindungen und Verweise. Sie werden nachfolgend erläutert.

Verbindungen

Verbindungen ermöglichen die Abbildung von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Grundkonstrukten. Das umfasst einerseits verhaltensbestimmende Beziehungen (sog. Assoziationsbeziehungen) und andererseits Beziehungen zwischen den verschiedenen Hierarchieebenen eines Partialmodells (sog. Aggregationsbeziehungen) [GEK01, S. 311ff.]. Bild 4-9 veranschaulicht diese unterschiedlichen Beziehungstypen.

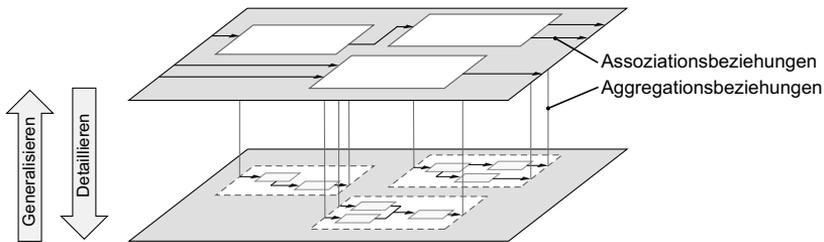


Bild 4-9: Schematische Darstellung von Assoziations- und Aggregationsbeziehungen zwischen Grundkonstrukten in Anlehnung an [Fra06, S. 86f.] [GEK01, S. 311ff.], [Kal98, S. 94f.], [Pat82, S. 51]

Assoziationsbeziehungen werden weiter klassifiziert in Flussbeziehungen und logische Beziehungen. Flussbeziehungen ermöglichen eine konkrete Spezifikation der Beziehung im Sinne einer „Eingangs-Ausgangs-Beschreibung“ [GEK01, S. 311ff.], [Kal98, S. 88ff.]. Logische Beziehungen hingegen ermöglichen die Darstellung von Abhängigkeitsverhältnissen [Fra06, S. 86f.], [GEK01, S. 311ff.].

Insgesamt stehen vier Arten von **Assoziationsbeziehungen** zur Verfügung, die nachfolgend erläutert werden [WEG+15, S. 7ff.].

- **Marktleistungsfluss:** Beschreibt den Übergang eines Produkts, einer Dienstleistung oder einer Kombination von einem Grundkonstrukt zu einem anderen. Bei dem Produkt kann es sich um Rohstoffe, Komponenten oder das finale Produkt handeln. Dienstleistungen umfassen jegliche erbrachte Leistung zur Deckung eines Bedarfs. Ein Beispiel für einen Marktleistungsfluss ist die Beschaffung von Zukaufteilen in der Produktion. Die Visualisierung des Marktleistungsflusses erfolgt durch eine doppelte Linie.
- **Informationsfluss:** Beschreibt den Übergang von Daten, Signalen, Messgrößen, Informationen oder Wissen von einem Grundkonstrukt zu einem anderen. Informationen können in verbaler oder textueller Form übertragen werden. Beispiele für einen Informationsfluss können Nutzerdaten oder vom Kunden artikulierten Bedürfnisse sein. Die Visualisierung erfolgt mittels einer gestrichelten Linie.

- **Geldfluss:** Beschreibt die Übertragung von monetären Mitteln. Das umfasst alle Formen der Transaktion, wie z.B. bar oder per Überweisung. Eine Punkte-Linie wird für die Visualisierung verwendet.
- **Logische Beziehungen:** Beschreiben das Zusammenwirken von Grundkonstrukten. Beispiele für logische Beziehungen sind „beeinflussen“, „resultieren“, „ist Teil von“, „realisiert durch“ etc. Für die Darstellung der logischen Beziehung wird eine durchgezogene Linie verwendet.

Aggregationsbeziehungen hingegen ermöglichen eine Generalisierung bzw. Detaillierung einzelner Grundkonstrukte. Dies erlaubt eine Strukturierung des Modells nach unterschiedlichen Kriterien. Aggregationsbeziehungen dienen der Abbildung von **logischen Gruppen** [Fra06, S. 84]. Alle einer logischen Gruppe zugehörigen Grundkonstrukte werden durch eine Linie zusammengefasst und auf der betrachteten Hierarchieebene durch eine White-Box dargestellt. Bild 4-10 zeigt die verschiedenen Verbindungen sowie eine beispielhafte Anwendung.

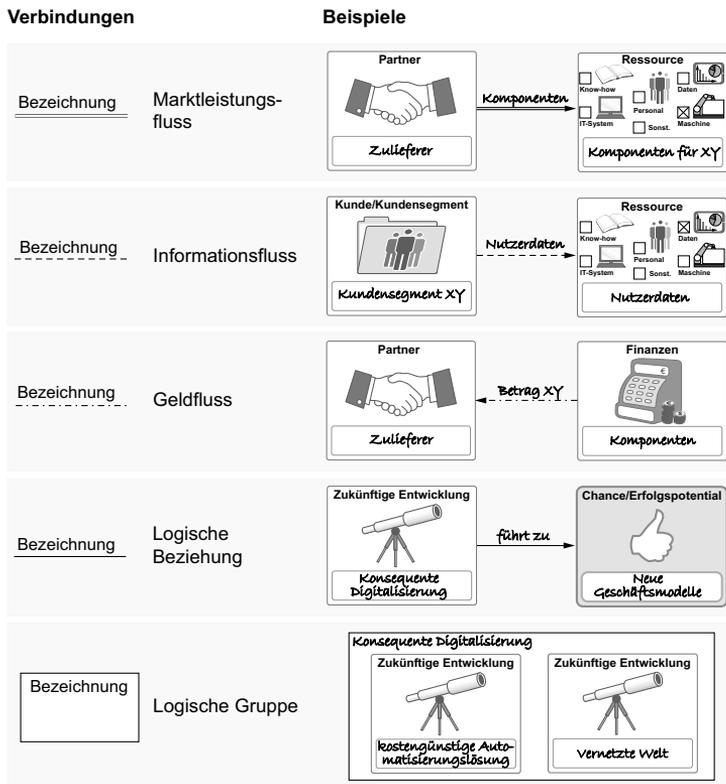


Bild 4-10: Verbindungen zur Verknüpfung von Grundkonstrukten

Grundsätzlich erfolgt die Visualisierung der Beziehungen mit Hilfe von Pfeilen – dabei gibt die Pfeilspitze Aufschluss über die Richtung des jeweiligen Flusses. Die Spezifikation der Beziehung erfolgt durch eine textuelle Bezeichnung am Pfeil (sowohl quantitativ als auch qualitativ). Flüsse beginnen und enden stets an einem Grundkonstrukt. Während Marktleistungs- und Geldflüsse nur einseitig gerichtet sind, können Informationsflüsse auch bidirektional sein. Der Austausch von Marktleistungen, Informationen oder Geld findet i.d.R. nur zwischen Akteuren statt.

Verweise

Ein Verweis ist eine Partialmodell-übergreifende Beziehung zwischen zwei verschiedenen Grundkonstrukten. Durch die Verweise werden die Partialmodelle miteinander verknüpft. Dabei werden Ports und Querverweise unterschieden:

- **Ports** verknüpfen die Partialmodelle Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung – also Partialmodelle des gleichen Typs. Diese Art von Schnittstellen tritt immer dann auf, wenn bspw. eine Beziehung von einem Element des Unternehmensumfelds an einem Element des Unternehmens oder der Marktleistung endet (vgl. Bild 4-11). Durch die Anwendung von Ports kann die Fortführung von Flüssen zwischen unterschiedlichen Hierarchieebenen detailliert dargestellt werden.
- **Querverweise** stellen Verknüpfungen zwischen den Strukturmodellen (Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung) und der Anforderungsliste her (vgl. Bild 4-12). Diese Schnittstelle ermöglicht es, Anforderungen mit ihrem Ursprung zu verknüpfen (vgl. Abschnitt 4.2). Hierdurch lassen sich auf einfache Art und Weise Hintergrundinformationen bereitstellen.

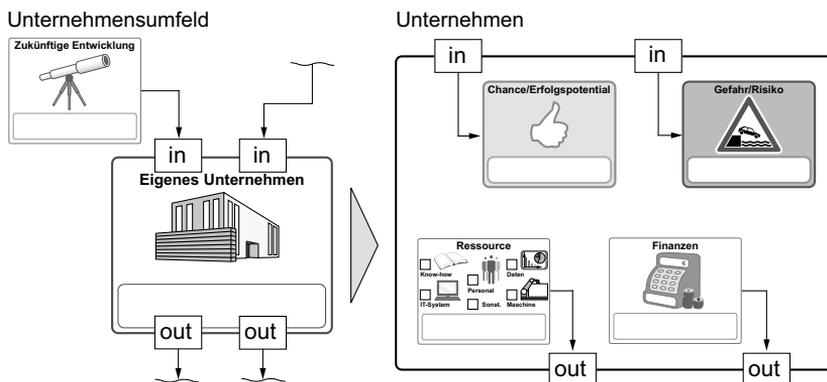


Bild 4-11: Ports zur Verknüpfung der Partialmodelle Unternehmensumfeld und Unternehmen (schematische Darstellung)

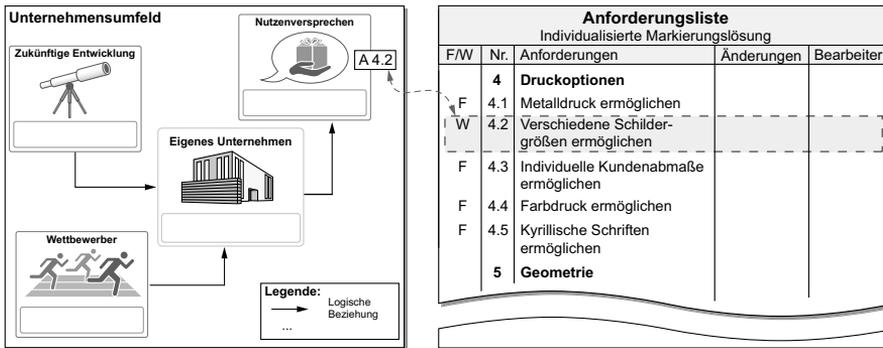


Bild 4-12: Querverweise zur Verknüpfung der Partialmodelle Unternehmensumfeld und Unternehmen mit dem Partialmodell Anforderungen (schematische Darstellung)

4.3.2 Partialmodell Unternehmensumfeld

Das Partialmodell Unternehmensumfeld beschreibt die Einbettung des betrachteten Unternehmens in sein Umfeld. Hierfür wird das Unternehmen zunächst als Black-Box betrachtet und mit den wesentlichen Elementen seines Umfelds in Beziehung gesetzt. Dargestellt wird die Menge an Marktteilnehmern, Forschungseinrichtungen sowie politischen und nichtpolitischen Verbänden, die mit dem betrachteten Unternehmen Leistungen, Informationen und Geld austauschen und somit in einer Leistungsbeziehung stehen. Zukünftige Entwicklungen, die das Unternehmen im Rahmen seiner Geschäftstätigkeiten beeinflussen, sind ebenso Teil des Unternehmensumfelds wie entsprechende Gesetze und Regularien. Sie können das Handeln des Unternehmens reglementieren, bieten aber auch gleichzeitig neue Handlungsmöglichkeiten. Im Fokus der Geschäftsaktivitäten steht der Kunde: Es gilt, seine Bedürfnisse zu identifizieren und diese mit einem spezifischen Nutzenversprechen zu adressieren. Die Umsetzung des Nutzenversprechens erfolgt durch die Marktleistung, die dem Kunden im Markt zum Kauf bereitgestellt wird.

Um diese Logik abzubilden stehen im Partialmodell Unternehmensumfeld die Grundkonstrukte *Nutzenversprechen* (Abschnitt 4.3.2.1), *Kunde/Kundensegment* (Abschnitt 4.3.2.2), *Partner* (Abschnitt 4.3.2.3), *Wettbewerber* (Abschnitt 4.3.2.4) *zukünftige Entwicklung* (Abschnitt 4.3.2.5) und *Gesetz/Regularien* (Abschnitt 4.3.2.6) über Marktleistungs-, Geld-, und Informationsfluss sowie logische Beziehung in Verbindung (vgl. Bild 4-13). Nachfolgend werden die einzelnen Konstrukte erläutert³⁵.

³⁵ Eine Kurzdefinition der Konstrukte befindet sich in A2.1



Bild 4-13: Grundkonstrukte und Beziehungen des Partialmodells Unternehmensumfeld

4.3.2.1 Nutzenversprechen

Definition und grafische Repräsentation

Das Nutzenversprechen beschreibt die Art und Weise, in der das Produkt und/oder die Dienstleistung das Problem des Kunden löst oder das Kundenbedürfnis befriedigt. Das Nutzenversprechen stellt den entscheidenden Kaufgrund dar [MSA05, S. 729], [OP10, S. 21].

Als Symbol wurde ein Geschenk in einer Sprechblase gewählt. Das Geschenk stellt dabei eben den Vorteil dar, den ein Kunde aus dem Angebot des Unternehmens ziehen kann. Hierbei handelt es sich jedoch noch nicht um die eigentliche Marktleistung, sondern lediglich um den propagierten Vorteil. Dies wird durch die Sprechblase ausgedrückt.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Das Nutzenversprechen ist der wesentliche Grund, warum sich ein **Kunde** für eine Leistung bzw. ein Unternehmen entscheidet. Voraussetzung dafür ist, dass das Nutzenversprechen ein tatsächliches Problem des Kunden adressiert. Die Beziehung zwischen Kunde und Nutzenversprechen ist demnach logischer Natur.

Die Definition eines Erfolg versprechenden Nutzenversprechens erfordert die Kenntnis von **zukünftigen Entwicklungen** sowie daraus resultierenden **Chancen** und **Gefahren**. Sie stellen sozusagen die Basis für das Nutzenversprechen dar. Dabei folgt das definierte Nutzenversprechen den Leitplanken, die durch **Gesetze und Regularien** und **strategische Rahmenbedingungen** manifestiert werden – die Darstellung erfolgt mittels einer logischen Verbindung.

Die Erfüllung des Nutzenversprechens erfolgt in Form der **Marktleistung**. Somit bestimmt das Nutzenversprechen wesentliche **Funktionen, Prozesse** und **Technologien**. Können bestimmte Funktionen und/oder Prozesse nicht umgesetzt werden, so kann das wiederum das Nutzenversprechen beeinflussen. Gleiches gilt für die zur Umsetzung des

Nutzenversprechens erforderlichen Ressourcen und Aktivitäten. Die Abbildung dieser Beziehungen erfolgt somit durch eine bidirektionale logische Beziehung.

Im Validierungsprojekt (vgl. Bild 4-14) erlaubt das definierte Nutzenversprechen *individualisierte Beschriftung* die gesetzlichen Forderungen mit der angebotenen Beschilderung zu erfüllen. Die Kommunikation des Nutzenversprechens erfolgt über verschiedene Kanäle, an dieser Stelle seien das Vertriebsbüro sowie der Web-Shop genannt. Das Kundensegment Schaltschrankbauer aus der Chemieindustrie nimmt dieses in der Regel im Web-Shop wahr und an.

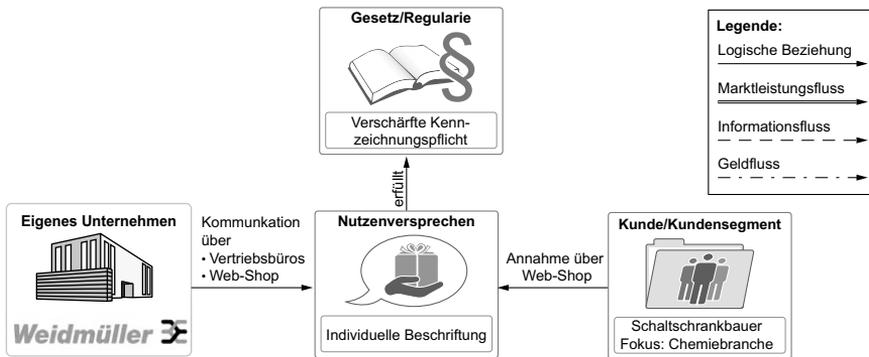


Bild 4-14: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Nutzenversprechen“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.2.2 Kunde/Kundensegment

Definition und grafische Repräsentation

Kunde/Kundensegment beschreibt eine Institution oder eine Gruppe von Personen, die das Unternehmen mit seinem Angebot erreichen möchte. Kundensegment bezeichnet eine homogene Kundengruppe. Nachfolgend wird der Einfachheit halber ausschließlich der Begriff Kunde verwendet.

Als Symbol wird eine Akte mit mehreren Personen verwendet. Eine Akte enthält die geschäftsrelevanten Charakteristika des Kunden bzw. des Kundensegments. Das Symbol verdeutlicht u.a., dass trotz der hohen Bedeutung jedes einzelnen Kunden und seiner Bedürfnisse, in der Regel größere Gruppen adressiert werden.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Der Kunde steht im Zentrum aller Geschäftsüberlegungen und ist demnach auch vielfältig im Modell vernetzt: Er verlangt Produkte und Dienstleistungen, die auf seine Bedürfnisse zugeschnitten sind und ihm bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden [Kös14, A-17f.], [OP10, S. 20], [WE00, S. 526f.]. Die Annahme des **Nutzenversprechens** durch den Kunden (logische Beziehung) löst verschiedene Aktivitäten aus: Zu-

nächst wird dem Kunden die **Marktleistung** bereitgestellt (Marktleistungsfluss). Hierfür sind in der Regel **Ressourcen**, **Aktivitäten** und die Unterstützung durch **Partner** erforderlich. Gleichzeitig erfolgt eine Einzahlung (Geldfluss) durch den Kunden. Innerhalb des Unternehmens endet der entsprechende Fluss in dem Grundkonstrukt **Finanzen**. Je nach Art des Nutzenversprechens erfordert die Umsetzung unter Umständen **Ressourcen**, die vom Kunden bereitgestellt werden müssen; beispielhaft seien an dieser Stelle Adress- oder Betriebsdaten genannt. Die Darstellung erfolgt mittels Informationsfluss ausgehend vom Kunden.

Als Teilnehmer des Marktes gelten für den Kunden sowohl **Gesetze und Regularien** als auch **zukünftige Entwicklungen**; gleichzeitig kann der Kunde jedoch auch zukünftige Entwicklungen initiieren. In den gezeigten Fällen kommt eine logische Verbindung zum Einsatz.

Aus dem Verhalten des Kunden resultieren für das Unternehmen **Chancen** und **Risiken** gleichermaßen (logische Beziehung). Vor diesem Hintergrund ist es naheliegend, dass auch **strategische Rahmenbedingungen** des Unternehmens vom Kunden beeinflusst werden; gleichzeitig können jedoch auch durch strategische Rahmenbedingungen Zielkunden festgelegt werden; die logische Beziehung wirkt somit bidirektional.

Im Validierungsprojekt hat der Kunde mehrere direkte und indirekte Schnittstellen zum Unternehmen. Wie in Bild 4-15 dargestellt wird dem Kunden das Nutzenversprechen über Vertriebsbüros und über einen Web-Shop angeboten. Durch Annahme des Nutzenversprechens über den Web-Shop wird das Geschäft ausgelöst: Der Auftrag einschließlich der Schildparameter werden zum Unternehmen übertragen; zusätzlich werden die Kosten für Schild und Versand vom Kunden bereitgestellt. Er erhält nachfolgend das bedruckte Schild – die Lieferung kann gleichwohl vom Unternehmen selbst als auch von einem Logistikpartner erfolgen.

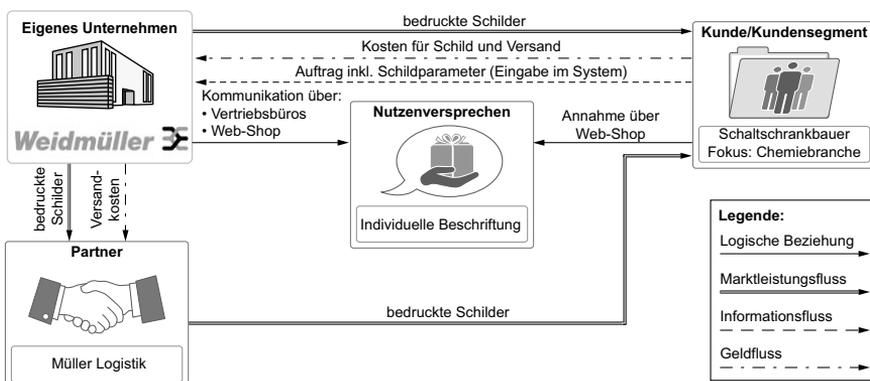


Bild 4-15: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Kunde/Kundensegment“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.2.3 Partner

Definition und grafische Repräsentation

Das Grundkonstrukt Partner beschreibt die Menge an Marktteilnehmern, Forschungseinrichtungen sowie politischen und nichtpolitischen Verbänden, die Leistungen, Informationen und Geld austauschen und somit den Prozess der Leistungserstellung des betrachteten Unternehmens unterstützen [BCO+11a, S. 198], [Kön10, S. 4f.], [OP10, S. 38], [Sie99, S. 245f.], [Stä02, S. 41f.].

Als Symbol für das Konstrukt Partner wird der Handschlag verwendet. Das unterstreicht die gegenseitige Unterstützung und hebt gleichzeitig die geschäftliche Verbindung zwischen beiden Akteuren hervor.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Im gesamten Lebenszyklus der Marktleistung sind Kooperationen mit einer Vielzahl an Partnern möglich: Beliefern sie das Unternehmen mit Rohstoffen bzw. Materialien wird von **Zulieferern** gesprochen. Die Darstellung erfolgt mithilfe eines Marktleistungsflusses. Werden hingegen ganze Komponenten oder Baureihen extern entwickelt und bereitgestellt, liegt eine **Entwicklungspartnerschaft** vor. Entwicklungspartnerschaften zeichnen sich dadurch aus, dass neben Material in der Regel auch Know-how übergeben wird; das gesamte Spektrum umfasst auch Partner, die dem Unternehmen in erster Linie Know-how bereitstellen; beispielhaft seien an dieser Stelle Forschungseinrichtungen oder Beratungsunternehmen genannt. Weitere Partner finden sich im Vertrieb: **Vertriebspartner** ermöglichen den Zugriff auf neue Märkte bzw. Kundensegmente. Sind Produkte produziert und müssen sie aus der Produktion zu ihrem Bestimmungsort gelangen, sind **Logistikpartner** wie Transportunternehmen oder Betreiber von Lägern relevante Partner. Die Leistungserbringung kann ebenso **Servicepartner** erfordern, so erfolgt bspw. die Wartung und Instandhaltung von Fahrzeugen üblicherweise nicht beim Hersteller direkt; Vertragswerkstätten erbringen garantierelevante Tätigkeiten. Abschließend können natürlich auch **Partner für die Entsorgung** Teil des Gesamtmodells sein. Ein Beispiel stellt der Kauf von Entsorgungsrechten für den Grünen Punkt dar. Hier ist bereits vor Produktionsstart die entsprechende Kennzeichnung auf dem Produkt einzuplanen. Die Art der Beziehung zwischen dem Partner und dem Unternehmen wird durch eine logische Beziehung gekennzeichnet. In der Regel fallen bei dem betrachteten Unternehmen für diese Aktivitäten Ausgaben an, die sich in den **Finanzen** des Unternehmens niederschlagen (Geldfluss). Nicht zuletzt muss jedes Projekt auch finanziert sein. Vor diesem Hintergrund fungieren auch **Kapitalgeber als Partner**. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Hausbank genannt: In dieser Partnerschaft findet vorwiegend der (bidirektionale) Geldfluss Anwendung.

Alle oben aufgeführten Partner werden von **zukünftigen Entwicklungen** im Umfeld beeinflusst oder können diese teilweise selbst hervorrufen. Die Aktivitäten der Partner werden von **Gesetzen** und **Regularien** reglementiert; es ist aber auch denkbar, dass

Partner bei der Gestaltung von Gesetzen und Regularien (z.B. Normen) mitwirken. Die Darstellung erfolgt mithilfe bidirektionaler logischer Beziehungen. Je nach Art der Partnerschaft leisten sie einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung des **Nutzenversprechens** oder stellen die Schnittstelle zum **Kunden** dar. Letzteren sind die Abläufe der Kunden sehr gut bekannt – sie fungieren dann häufig auch als Informationsgeber.

Aus Partnerschaften resultieren **Chancen** und **Erfolgspotentiale** – in gleichem Umfang stehen dem jedoch auch **Risiken** und **Gefahren** gegenüber. Die Darstellung erfolgt mittels einer logischen Beziehung. Die Auswahl von Partnern erfolgt unter Beachtung der **strategischen Rahmenbedingungen** (bspw. in Bezug auf Zielmärkte). Gleichzeitig liefern Partner auch zusätzliche strategische Rahmenbedingungen durch ihr Leistungsportfolio oder zusätzliche Zielmärkte. So kann bspw. eine Nichtbelieferung des Militärssektors durch den Zulieferer auch zu einer Einschränkung beim eigenen Unternehmen führen. Das Gefüge wird mittels einer logischen Beziehung abgebildet.

Partner leisten einen Beitrag zur Erbringung der **Marktleistung**. Dadurch haben sie auch einen wesentlichen Einfluss auf **Funktionen**, **Prozesse** und **Technologien**. Alle drei Elemente der Marktleistung können vom Partner beeinflusst, ergänzt oder umgesetzt werden. Grundsätzlich können Partner auch jegliche **Ressource** und **Aktivität** im Unternehmen bereitstellen bzw. substituieren. Hierdurch werden die Grenzen des Wertschöpfungsnetzwerks verändert.

Das komplexe Wertschöpfungsnetz des Validierungsprojekts (vgl. Bild 4-16) verfügt über mehrere Partner. So werden Produktionspartner eingesetzt, die mit den im Rahmen eines Leasingmodells bereitgestellten Druckern und Software eine Auftragsfertigung für das Unternehmen übernehmen. Sie erhalten hierfür finanzielle Mittel. Produzierte Ware wird an einen Logistikpartner übergeben; auch dieser wird direkt vom Unternehmen bezahlt. Nach Bereitstellung der Kundendaten durch das Unternehmen liefert der Partner die Ware an den Kunden.

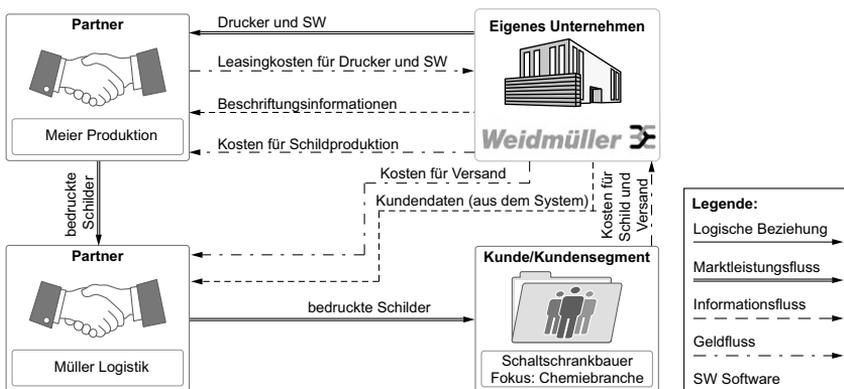


Bild 4-16: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Partner“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.2.4 Wettbewerber

Definition und grafische Repräsentation

Wettbewerber sind Marktteilnehmer, die aufgrund ihrer Geschäftsausrichtung in einer konkurrierenden Beziehung mit dem betrachteten Unternehmen stehen. Das umfasst sowohl aktuelle als auch potentielle Wettbewerber [Dud16b-ol], [Gab10, S. 488].

Das Symbol des Wettlaufs beschreibt den Grundgedanken: Die Akteure verfolgen das gleiche Ziel, dabei stellt der Vorsprung des Einen den Rückstand des Anderen dar.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Wettbewerber spielen im Unternehmensumfeld eine entscheidende Rolle: Mit ihrem Verhalten definieren sie implizit die in dem Markt vorherrschenden Wettbewerbsregeln bzw. die am Markt vorherrschende Geschäftslogik [Huf00, S. 78], [Kös14, S. 41]. Sie haben somit einen starken Einfluss auf das Verhalten des betrachteten Unternehmens, die im Markt agierenden **Partner** sowie die **Kunden**: Als Marktteilnehmer werden sie jedoch in gleichem Maße von eben diesen Gruppen beeinflusst. Das Wirkgefüge lässt sich mittels logischer Verbindung darstellen. Zusätzlich können mit Partnern und Kunden auch Marktleistungen, Geld und Informationen über entsprechende Flüsse ausgetauscht werden. Darüber hinaus wird das Wettbewerberverhalten auch von **zukünftigen Entwicklungen** sowie von **Gesetzen/Regularien** bestimmt.

Für das betrachtete Unternehmen ist es erfolgsentscheidend, das Wettbewerbsverhalten zu beobachten und frühzeitig **Chancen** und **Erfolgspotentiale** sowie **Gefahren** und **Risiken** für das eigene Geschäft zu identifizieren und die eigenen **Aktivitäten** entsprechend auszurichten. Die Darstellung dieser Verbindung erfolgt mittels einer logischen Beziehung. Auf diese Weise werden auch die **strategischen Rahmenbedingungen** vom Wettbewerbsverhalten beeinflusst. Darüber hinaus hat das Wettbewerbsverhalten auch einen wesentlichen Einfluss auf die **Funktionen**, **Dienstleistungsprozesse** und **Technologien** der eigenen Marktleistung und vice versa. Gleiches gilt für die **Ressourcen** und **Aktivitäten** zur Erbringung derselben.

Auch im Validierungsprojekt sind Wettbewerber zu betrachten (vgl. Bild 4-17). So existieren etablierte Marktbegleiter, die ein ähnliches Geschäftsmodell verfolgen. Hieraus resultieren Gefahren für das betrachtete Unternehmen. Gleichwohl entstehen durch den neuen Markt auch neue Wettbewerber, die aufgrund ihrer Agilität das eigene Unternehmen vor neue Herausforderungen in Bezug auf Lieferzeiten und Produktportfolio stellen.

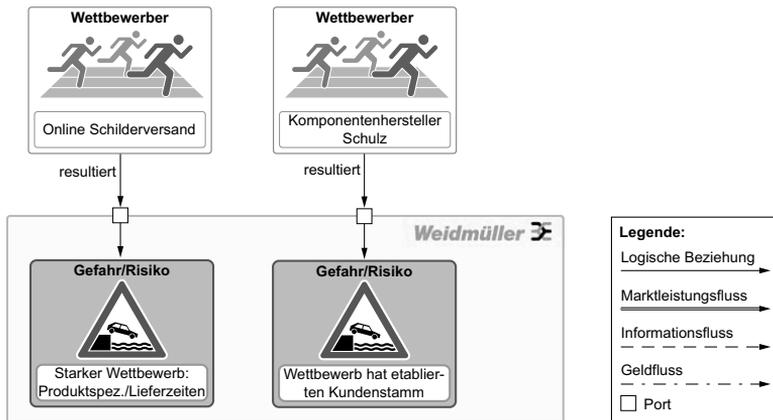


Bild 4-17: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Wettbewerber“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.2.5 Zukünftige Entwicklung

Definition und Darstellung

Zukünftige Entwicklung beschreibt eine mögliche Entwicklung oder Situation in der Zukunft, die für das Unternehmen als relevant angesehen werden kann. Hierbei kann es sich gleichermaßen um kurz- als auch um langfristige Zeithorizonte handeln.

Für die grafische Darstellung wird als Symbol das Fernglas verwendet. Etabliert im Bereich der Vorausschau symbolisiert es den methodischen Blick nach vorne.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Zukünftige Entwicklungen sind im Gesamtmodell stark vernetzt. Sie haben naturgemäß einen Einfluss auf nahezu jedes Element im Modell, da sie alle Bereiche des modernen Lebens adressieren können. Zukünftige Entwicklungen sind in der Regel das Ergebnis einer systematischen Auseinandersetzung mit der Zukunft. Allen voran sei an dieser Stelle die Szenario-Technik genannt [GP14, S. 43ff.]; in diesem Zusammenhang können sowohl einzelne Projektionen des Referenzszenarios als auch Kernaussagen eines Teilszenarios oder eines Gesamtszenarios eine zukünftige Entwicklung darstellen. Alternativ und insbesondere für kürzere Zeithorizonte können auch Trends abgebildet werden.

Im Rahmen des Unternehmensumfelds lassen sich zukünftige Entwicklungen entweder eigenständig beschreiben oder resultieren aus anderen Grundkonstrukten des Unternehmensumfelds: In der entwickelten Modellierungssprache sind dies die Elemente **Wettbewerber**, **Partner**, **Gesetze/Regularien**, **Nutzenversprechen** sowie **Kunde**. Diese Beziehungen werden durch eine bidirektionale logische Verbindung dargestellt.

Im Zuge einer systematischen Auseinandersetzung mit zukünftigen Entwicklungen sind, Chancen bzw. Erfolgspotentiale und Gefahren zu identifizieren und dementsprechend strategische Entscheidungen zu treffen [GP14, S. 47]. Folgerichtig stellen **Chancen** und **Risiken** ein Resultat von zukünftigen Entwicklungen dar. Diese unidirektionale logische Verbindung findet auch bei weiteren Konstrukten des Partialmodells Unternehmen Anwendung: Zukünftige Entwicklungen sind die Basis für **strategische Rahmenbedingungen** und determinieren durchzuführende **Aktivitäten** und einzusetzende **Resourcen**.

Gleiches gilt für das Partialmodell Marktleistung: Zukünftige Entwicklungen sowie resultierende Chancen und Gefahren bilden die Basis für die Definition bzw. Aktualisierung der Marktleistung. Das betrifft **Funktionen**, **Prozesse** und **Technologien** gleichermaßen. Die Verbindung erfolgt mittels einer logischen Beziehung.

Der Trend hin zu einer steigenden Nachfrage von individualisierter Beschilderung stellt den Ausgangspunkt des Validierungsprojekts dar. Diese zukünftige Entwicklung wird durch die Verschärfung von Kennzeichnungspflichten begünstigt. Für das Unternehmen resultiert daraus die Chance, zusätzliches Geschäft durch individualisierte Identifikationssysteme zu generieren (vgl. Bild 4-18).

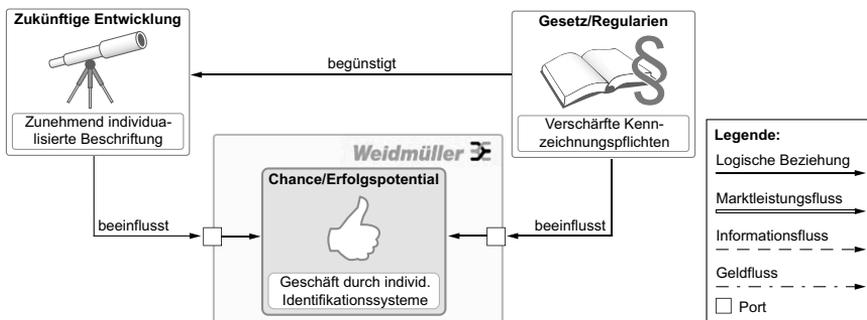


Bild 4-18: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Zukünftige Entwicklung“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.2.6 Gesetz/Regularien

Definition und grafische Repräsentation

Gesetz/Regularien umfassen die Summe an gesetzlichen Regelungen, Vorschriften sowie alle Vorgaben, die bei der Planung, Erstellung, Vertrieb, Nutzung und Entsorgung einer Marktleistung zu berücksichtigen sind.

Als Symbol wird das Paragraphenzeichen gemeinsam mit einem Buch verwendet. Das Paragraphenzeichen repräsentiert die obligatorischen Vorgaben des Gesetzgebers. Darüber hinaus existieren jedoch auch branchen- oder bereichsspezifische Regularien wie

Normen und Standards; das Buch steht für die einschlägige Literatur des jeweiligen Anwendungsbereiches.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Das Konstrukt Gesetz und Regularien wirkt auf vielfältige Weise in dem Gesamtmodell: Einen stark reglementierenden Einfluss haben **Gesetze**; sie repräsentieren rechtlich bindende Vorschriften, die im Rahmen von Geschäftsaktivitäten zwingend einzuhalten sind [Spr16a-ol]. **Richtlinien, Normen** und **Standards** hingegen haben einen empfehlenden Charakter – d.h., dass ihre Anwendung vom Gesetzgeber zwar nicht vorgeschrieben ist, sie jedoch trotzdem einen Einfluss auf die **Geschäftsaktivitäten eines Unternehmens** oder seine **Marktleistungen** haben können [Spr16b-ol], [Spr16c-ol]. Denn das bewusste Einhalten oder Nichteinhalten von Standards kann einen erheblichen Einfluss auf den Erfolg einer Marktleistung haben: So werden bspw. Drucker, die Papier im DIN A4 Format nicht verarbeiten können, mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Anwendung in europäischen Privathaushalt finden. Anders sieht es hingegen bei Smartphones aus: Durch die Entwicklung und Patentierung eigenständiger Stecker für Daten- und Energieübertragung kann Apple seinen Markt deutlich besser kontrollieren. Das Beispiel zeigt, dass in Einzelfällen auch eine logische Verbindung in Richtung der Gesetze und Regularien Anwendung findet.

Gesetze und Regularien adressieren nicht nur das eigene Unternehmen, sondern haben auch Einfluss auf **Partner, Wettbewerber** und **Kunden**. In der Regel sind die entsprechenden logischen Verbindungen unidirektional. Eine bidirektionale Beziehung besteht mit dem Element **zukünftige Entwicklung**. So können bspw. zukünftige Entwicklungen neue Gesetze und Normen hervorrufen; gleichzeitig können aber auch zukünftige Entwicklungen aus Gesetzen und Normen resultieren.

Für das Unternehmen können aus neuen Gesetzen und Regularien **Chancen** und **Gefahren** gleichermaßen resultieren (partialmodellübergreifende Beziehung). So besteht bspw. die Möglichkeit, dass etablierte Produkte durch eine plötzlich fehlende Regelkonformität keine Abnehmer finden, gleichzeitig besteht aber auch die Möglichkeit, durch entsprechende Änderungen neue Märkte zu schaffen. Darüber hinaus haben Gesetze und Regularien einen erheblichen Einfluss auf **strategische Rahmenbedingungen** sowie die zur Erbringung der Marktleistung erforderlichen **Ressourcen**. Die Darstellung erfolgt anhand einer unidirektionalen logischen Beziehung.

Die **Marktleistung** in Form von **Funktionen, Technologien** und **Prozessen** wird durch Gesetze und Regularien stark beeinflusst. Für den **Kunden** bieten Gesetze und Regularien die Sicherheit eine gewisse Gegenleistung zu erhalten. Dies wird klar bei der Betrachtung des **Nutzenversprechens**: Ein Hotel mit fünf Sternen verspricht dem Kunden einen sehr hohen Qualitäts- und Servicestandard. Diesem muss die Marktleistung wiederum entsprechen. Dies wird mit Hilfe einer logischen Beziehung ausgehend von dem Grundkonstrukt *Gesetz/Regularien* dargestellt.

Bild 4-19 zeigt einen Ausschnitt aus dem Modell des Validierungsprojektes. Hier löst die zunehmende Kennzeichnungspflicht für Komponenten im Schaltschrank eine steigende Nachfrage nach der hierfür erforderlich individualisierten Beschilderung aus. Die schärferen Gesetze eröffnen die Chance eines zusätzlichen Geschäfts mit Identifikationssystemen. Für das Unternehmen gilt es, das hierdurch wachsende Geschäftsfeld auszubauen.

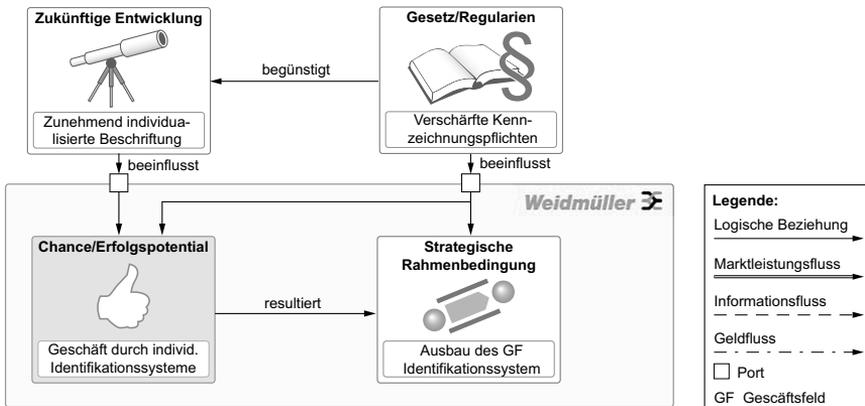


Bild 4-19: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Gesetz/Regulieren“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojektes

4.3.3 Partialmodell Unternehmen

Das Partialmodell Unternehmen beschreibt das Wirkgefüge des betrachteten Unternehmens zur Erbringung einer Marktleistung. Diese beruht auf insgesamt sechs verschiedenen Grundkonstrukten: *Chance/Erfolgspotential* (Abschnitt 4.3.3.1) sowie *Gefahr/Risiko* (Abschnitt 4.3.3.2), *Strategische Rahmenbedingungen* (Abschnitt 4.3.3.3), Resultate von Geldflüssen in Form von *Finanzen* (Abschnitt 4.3.3.4) sowie *Aktivitäten* (Abschnitt 4.3.3.5) und *Ressourcen* (Abschnitt 4.3.3.6) (vgl. Bild 4-20).

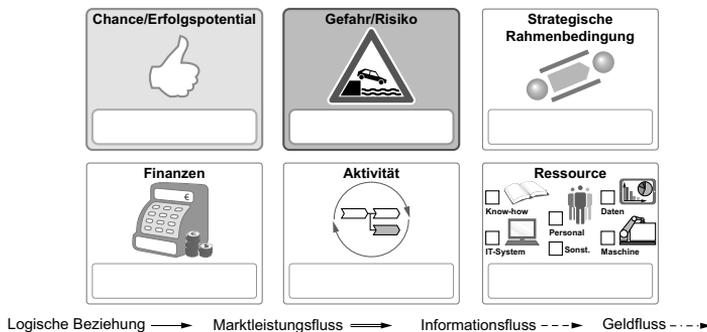


Bild 4-20: Grundkonstrukte und Beziehungen des Partialmodells Unternehmen

Ressourcen werden in Know-how, IT-Systeme, Personal, Daten, Maschinen und Sonstiges unterschieden. Analog zum Unternehmensumfeld werden die Konstrukte auch hier über die o.g. Geld-, Marktleistungs- und Informationsflüsse sowie die logische Beziehung miteinander verbunden. Nachfolgend werden die einzelnen Konstrukte erläutert³⁶.

4.3.3.1 Chance/Erfolgspotential

Definition und grafische Repräsentation

Chancen bzw. Erfolgspotentiale beschreiben nicht ausgeschöpfte Möglichkeiten eines Unternehmens, aus denen in der Zukunft Erfolg generiert werden kann. Vor allem der Begriff Chance wird für günstige Aussichten verwendet [Gäl05, S. 24], [GP14, S. 7]. Ihr Gegenüber steht die Gefahr.

Die grafische Repräsentation dieses Konstruktes erfolgt mittels des „Daumen hoch-Zeichens“. Der hochgestreckte Daumen gehört zu den gängigsten und verständlichsten Handgesten: Im Wesentlichen wird die Geste verwendet, um Zustimmung und Lob ausdrücken.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Chancen bzw. Erfolgspotentiale sind in der Regel resultierende Größen, d.h. sie gehen als Ergebnis aus z.B. einer zukünftigen Situation hervor. Im Unternehmensumfeld können **zukünftige Entwicklungen, Gesetze/Regularien**, das Verhalten von **Wettbewerbern, Partnern** und **Kunden** Ausgangspunkt für Chancen und Erfolgspotentiale sein. Die Darstellung erfolgt mittels einer unidirektionalen logischen Beziehung.

Vor dem Hintergrund einer langfristigen Sicherung des Unternehmenserfolgs sind **strategische Rahmenbedingungen** an den identifizierten Erfolgspotentialen auszurichten [Gäl05, S. 24]. Die Abbildung dieser Beziehung erfolgt anhand eines logischen Flusses. Darüber hinaus stellen Chancen und Erfolgspotentiale den Ausgangspunkt für neue **Marktleistungskonzepte** und das **Nutzenversprechen** dar. Das betrifft die dahinterliegenden **Funktionen, Prozesse** und **Technologien** gleichermaßen. Darüber hinaus können der Einsatz von **Ressourcen** sowie die Durchführung von **Aktivitäten** zu Chancen führen.

Auch im Validierungsprojekt resultieren Chancen aus verschiedensten Grundkonstrukten. So ist durch den eigenen Kundenstamm aus dem Schaltschrankbau bereits eine Vielzahl an potentiellen Ansprechpartnern namentlich bekannt (vgl. Bild 4-21). Diese Chance gilt es mit Hilfe der strategischen Rahmenbedingungen zu erschließen.

³⁶ Eine Kurzdefinition der Konstrukte befindet sich in A2.2.

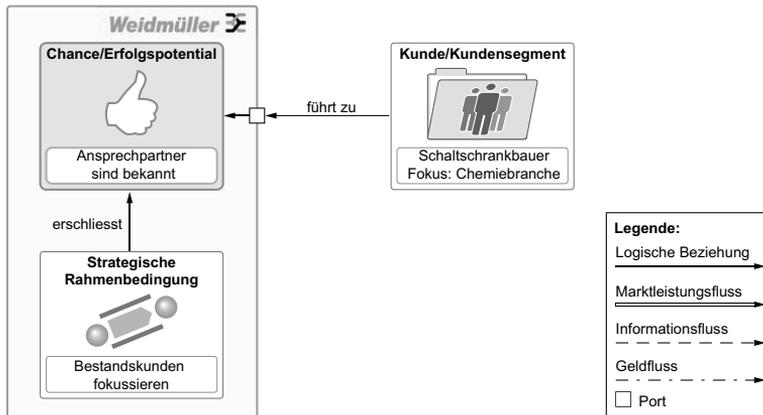


Bild 4-21: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Chance/Erfolgspotential“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.3.2 Gefahr/Risiko

Definition und grafische Repräsentation

Das Grundkonstrukt Gefahr/Risiko beschreibt eine Situation oder einen Sachverhalt, die/der eine negative Auswirkung auf das betrachtete Unternehmen haben kann. Eine Gefahr liegt dann vor, wenn das erwartete Risiko größer ist, als das allgemein akzeptierte Risiko (das sog. Grenzzisiko). Akzeptiert wird ein Risiko dann, wenn die Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere des Schadens dem Unternehmen erträglich erscheint [Dud16c-ol], [Oeh16, S. 59ff.].

Für die grafische Darstellung wird ein Warnschild verwendet. Es vermittelt eine gefährliche Situation. Das gewählte Piktogramm zeigt ein Fahrzeug, das von einem Ufer ins Wasser fällt. Dies verdeutlicht, dass eine Weiterverfolgung der aktuellen Richtung mit Gefahren verbunden ist. Um Aufmerksamkeit beim Modellnutzer zu erwecken, wird die Signalfarbe Rot gewählt.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Analog zum Konstrukt Chance/Erfolgspotential weist das Konstrukt Gefahr/Risiko einen passiven Charakter auf. So können **zukünftige Entwicklungen, Gesetze und Regularien**, das Verhalten von **Wettbewerbern, Partnern und Kunden** den Ausgangspunkt für Gefahren/Risiken darstellen. Die Darstellung erfolgt mittels einer unidirektionalen Verknüpfung.

Identifizierte Gefahren stellen gemeinsam mit den Chancen/Erfolgspotentialen eine Grundlage für die Unterstützung von strategischen Entscheidungen dar. Diese schlagen sich wiederum in **strategischen Rahmenbedingungen** nieder. Gleichzeitig können aus

strategischen Rahmenbedingungen auch Gefahren oder Risiken resultieren. Die Darstellung erfolgt mittels einer bidirektionalen logischen Beziehung.

Ferner wirken sich Gefahren/Risiken auf die Gestaltung des **Nutzenversprechens** sowie die Marktleistung, respektive **Hauptfunktionen, Prozesse** und **Technologien** aus. Somit sind auch Gefahren aus dem Einsatz von **Ressourcen** und der Durchführung von **Aktivitäten** zu betrachten. Gleichzeitig können Nutzenversprechen und **Marktleistungskonzept** Auslöser für Gefahren und Risiken sein. Die Darstellung erfolgt mittels einer logischen Beziehung.

Wie bei jeder Entwicklung resultieren auch im Validierungsprojekt Gefahren aus einer Vielzahl an Grundkonstrukten. So besteht bspw. die Möglichkeit, dass durch eine weitere Änderung der Gesetzeslage die Nachfrage nach individueller Beschilderung wiederum schlagartig nachlässt (vgl. Bild 4-22).

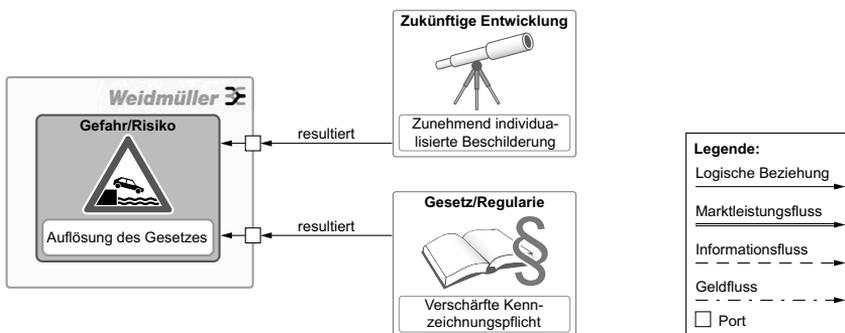


Bild 4-22: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Gefahr/Risiko“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.3.3 Strategische Rahmenbedingung

Definition und grafische Repräsentation

Strategische Rahmenbedingungen beschreiben unternehmerische Grundsatzentscheidungen, an denen sich alle lang- und kurzfristigen Unternehmensaktivitäten orientieren. Faktisch sind sie die konsolidierte Konsequenz der äußeren Einflüsse auf das Unternehmen mit dem Ziel einer langfristig erfolgreichen Positionierung am Markt.

Als Symbol wird auf den etablierten Strategiepfeil nach PÜMPIN zurückgegriffen [PG88, S. 6]. Auf eingängige Art und Weise zeigt der Pfeil den Weg von einer Ausgangssituation zu einer gewünschten Situation in der Zukunft – der Vision. Hierbei stellen die Strategie bzw. die strategischen Rahmenbedingungen die Leitplanken des operativen und taktischen Handelns dar.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Strategische Rahmenbedingungen repräsentieren die Grundregeln eines Unternehmens. In der Regel stellen sie das Exzerpt der Unternehmens- bzw. Geschäftsstrategie o.ä. dar – d.h. strategische Rahmenbedingungen legen fest, mit welchen **Marktleistungen** welche **Kunden** durch welche **Aktivitäten** bearbeitet werden sollen.

Das Fundament der Strategieentwicklung bilden **zukünftige Entwicklungen** sowie resultierende **Chancen/Erfolgspotentiale** und **Gefahren/Risiken**; demzufolge beeinflussen diese Konstrukte auch in gleichem Maße die strategischen Rahmenbedingungen. Ferner sind **Gesetze und Regularien** bei der Formulierung von strategischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Die Abbildung dieser Beziehung erfolgt mittels einer logischen Beziehung. Darüber hinaus werden die strategischen Rahmenbedingungen von den Akteuren im Markt beeinflusst: So zielt eine Strategie stets auf eine Differenzierung vom Wettbewerb ab; dieser Logik folgend haben **Wettbewerber** dann auch einen Einfluss auf strategische Rahmenbedingungen (logische Beziehung). **Partner** sind in der Lage strategische Rahmenbedingungen vorzugeben; gleichzeitig formen die eigenen strategischen Rahmenbedingungen einen Auswahlkorridor für Partner. In diesem Zuge werden auch zu verwendende **Ressourcen** bestimmt. Häufig liefert die Strategie resp. die strategischen Rahmenbedingungen jedoch keine eindeutige Festlegung; vielmehr resultiert aus der logischen Verbindung ein Entscheidungskorridor.

Im Validierungsprojekt ist eine Vielzahl an potentiellen Kunden bereits bekannt. Bestandskunden sollen im Rahmen des Marktangeses vorrangig adressiert werden. Das Vorhaben ist in Form einer strategischen Rahmenbedingung abzubilden (vgl. Bild 4-23). Vor dem Hintergrund der strategischen Rahmenbedingung sind entsprechende Vermarktungsaktivitäten zu initiieren.

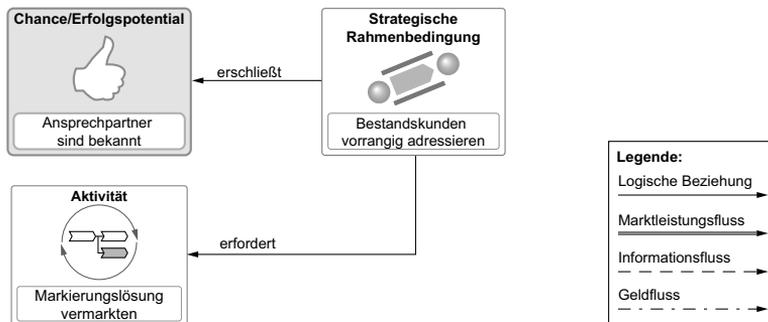


Bild 4-23: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Strategische Rahmenbedingung“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.3.4 Finanzen

Definition und grafische Repräsentation

Finanzen umfassen die wesentlichen Einnahmen und Ausgaben, die mit der Planung, Entwicklung, Produktion sowie der Erbringung der geplanten Marktleistung in einem Unternehmen einhergehen. Das umfasst auch Kosten und Erträge des zugrundeliegenden Geschäftsmodells.

Das Geldvermögen lässt sich vereinfacht durch eine Kasse darstellen; diese Darstellung ist etabliert und eingängig, obwohl der Zahlungsmittelbestand u.a. auch Bankguthaben umfasst.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Finanzen repräsentieren die monetäre Perspektive auf die geplante Marktleistung bzw. das geplante Entwicklungsprojekt. Zu diesem Zweck werden die wesentlichen Ausgaben, die mit der Entwicklung, Produktion und dem Vertrieb der betrachteten Marktleistung einhergehen, den Einnahmen gegenübergestellt [BHD+07, S. 340ff.], [OP10, S. 40].

Im Rahmen der Entwicklung, Produktion und der Erbringung der Marktleistung stellen die zur Umsetzung erforderlichen **Ressourcen** und **Aktivitäten** die wesentlichen Kostentreiber dar. Im Unternehmensumfeld resultieren die wesentlichen Kosten in der Regel aus der Zusammenarbeit mit **Partnern** sowie aus der Initiierung und Pflege der anvisierten oder bestehenden Beziehung zum Kunden. Es ist aber auch denkbar, dass Partner als Kapitalgeber fungieren, wie z.B. die Hausbank. Gegenüber den Kosten stehen die Erträge, die ein Unternehmen mit dem Verkauf der Marktleistung an **Kunden** generiert. Dabei sind verschiedene Preismechanismen denkbar, wie z.B. feste Listenpreise, Verhandlungsbasis, Auktionen, etc.

Im Validierungsprojekt werden der Verkaufspreis der Markierung und die Versandkosten durch den Kunden an das Unternehmen transferiert(vgl. Bild 4-24).

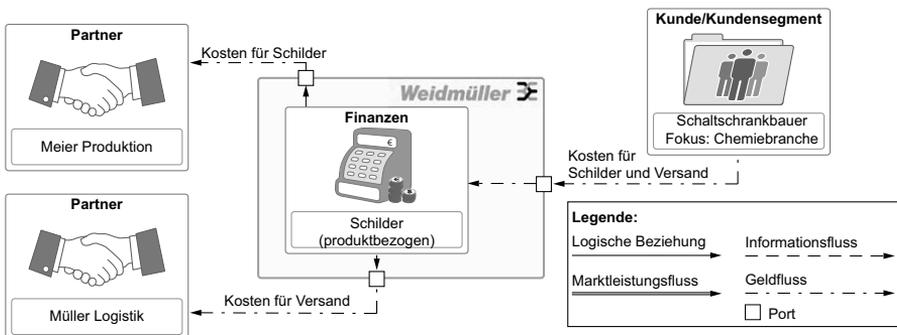


Bild 4-24: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Finanzen“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

Im Rahmen der avisierten Fremdfertigung erhält der Auftragsfertiger einen festen Betrag pro Stück von Weidmüller; analog dazu wird auch der Logistikpartner entlohnt. Durch den Einsatz von mehreren Finanz-Konstrukten lassen sich Finanzkreisläufe trennen; so zahlt im Validierungsbeispiel der Auftragsfertiger eine Leasinggebühr für den Drucker an das betrachtete Unternehmen. Dieser Geldfluss ist allerdings Teil eines anderen Finanzkreislaufs.

4.3.3.5 Aktivität

Definition und grafische Repräsentation

Aktivitäten beschreiben die wesentlichen wiederkehrenden Tätigkeiten zur Realisierung des Nutzenversprechens respektive der Marktleistung. Das umfasst Aktivitäten, durch die Produktionsfaktoren in Güter und Dienstleistungen transferiert werden, eine Marktleistung am Markt angeboten und an den Kunden übergeben wird sowie Aktivitäten, die zur Pflege der Kundenbeziehungen und Erzielung von Erträgen erforderlich sind. Welche Aktivitäten wesentlich sind, wird maßgeblich durch die Natur der Marktleistung bestimmt [AT03, S. 48ff.], [Kös14, S. A-20], [Lam08, S. 285], [OP10, S. 36].

Zur Darstellung der Aktivitäten wird ein Konstrukt bestehend aus Prozesspfeilen sowie einem geschlossenen Kreis aus zwei Pfeilen verwendet. Diese repräsentieren Arbeits- bzw. Prozessschritte, die in wiederkehrender Folge erbracht werden müssen.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Die Erfüllung des **Nutzenversprechens** respektive die Bereitstellung der **Marktleistung** erfordert Aktivitäten; folgerichtig bestimmt die Natur des Nutzenversprechens sowie der Marktleistung, welche Aktivitäten wesentlich sind und wie diese ausgestaltet werden müssen. Diese können dann durch das Unternehmen selbst oder durch **Partner** umgesetzt werden. Unabhängig davon, ob eine selbstständige Durchführung oder eine Fremdvergabe angestrebt wird, resultieren für das Unternehmen Kosten. Darüber hinaus erfordert die Durchführung der geplanten Aktivitäten in der Regel **Ressourcen**. Dieses Wirkgefüge wird durch eine logische Verbindung abgebildet. Gleichzeitig beeinflussen und reglementieren **zukünftige Entwicklungen** ebenso wie **Gesetze** und **Regularien** sowie **strategische Rahmenbedingungen** die Durchführung geplanter Aktivitäten. Durch die Umsetzung von Aktivitäten resultieren sowohl **Chancen** als auch **Gefahren** für das Unternehmen.

Die effiziente Bereitstellung der Marktleistung *Individualisierte Markierungslösung* bzw. des zugrundeliegenden Prozesses der Schilderbedruckung erfordert einen Web-Shop. Hierzu ist eine entsprechende technische Infrastruktur zur Verfügung zu stellen (vgl. Bild 4-25).

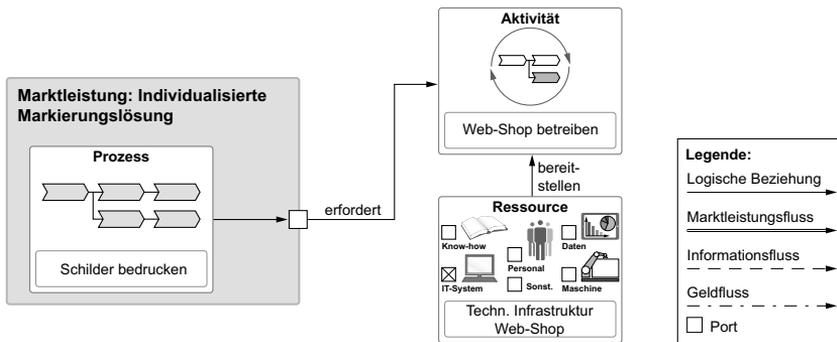


Bild 4-25: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Aktivität“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.3.6 Ressource

Definition und grafische Repräsentation

Ressourcen umschreiben die wesentlichen strategischen Vermögenwerte, die ein Unternehmen für die rentable Umsetzung des Nutzenversprechens benötigt [Lam08, S. 285], [OP10, S. 34]. Grundsätzlich sind die erforderlichen Ressourcen stark abhängig von der Natur der Marktleistung. Für den Maschinen- und Anlagenbau sowie verwandte Branchen hat sich die folgende Klassifizierung als besonders praktikabel herausgestellt: Alle menschlichen Ressourcen werden unter *Personal* zusammengefasst; erforderliches Fertigungsequipment wird unter *Maschinen* subsumiert. Darüber hinaus werden *IT-System*, *Daten* und *Know-how* berücksichtigt. Das Unternehmen kann diese Ressourcen besitzen, mieten oder als Leistung von Partnern einkaufen. Sind Ressourcen erforderlich, die nicht zu diesen Kategorien zugeordnet werden können, steht ein Feld mit dem Titel *Sonstiges* zur Verfügung.

Zur Darstellung des Grundkonstrukts wird eine Multiple-Choice Karte verwendet; aufgrund der großen Heterogenität der Inhalte hat sich eine gemeinsame Darstellung als nicht intuitiv herausgestellt. So ist bei jeder Verwendung die jeweils betrachtete Ressource zu kennzeichnen. Know-how wird dabei durch ein Buch dargestellt. Natürlich geht das Wissen hier über das reine Bücherwissen hinaus. Zur Darstellung jeglicher IT-Lösung hat sich in den vergangenen Jahren das Symbol eines PCs etabliert – dieses wird auch hier verwendet. Bei Maschinen wird das Piktogramm eines Roboterarms verwendet; hiermit werden hochautomatisierte (Industrie 4.0) Produktionsanlagen und manuell zu bedienende Fertigungsmaschinen gleichermaßen adressiert. Zur Beschreibung des Personals wird das Bild einer Gruppe an Menschen verwendet. Die Symbolik soll vermitteln, dass nicht nur Einzelpersonen, sondern auch eine größere Grundgesamtheit beschrieben werden kann. Zur Darstellung von Daten wurde das Piktogramm eines Graphen sowie eines Kreisdiagramms verwendet.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Das Unternehmen nutzt Ressourcen um einen verkaufsfähigen Wert – die **Marktleistung** – zu erstellen und damit das **Nutzenversprechen** umzusetzen. Sie sind daher auch eng mit den notwendigen **Aktivitäten** verbunden. Gleichzeitig kann die Verfügbarkeit von Ressourcen einen wesentlichen Einfluss auf die Umsetzung der Marktleistung, respektive **Funktionen, Prozesse und Technologien** haben. In diesem Fall wäre auch das Nutzenversprechen betroffen. Dieses Wirkgefüge wird durch eine logische Verbindung abgebildet. Gleichzeitig beeinflussen und reglementieren **zukünftige Entwicklungen** wie bspw. aufkommende Fertigungstechnologien ebenso wie **Gesetze und Regularien** die Festlegung von Ressourcen. Gleiches gilt für **strategische Rahmenbedingungen**. Die unidirektionale Verknüpfung erfolgt mittels einer logischen Beziehung.

Ressourcen können durch das Unternehmen selbst bereitgestellt werden. Fortschrittliche Wertschöpfungsnetzwerke sorgen jedoch für eine immer größere Integration von **Partnern** und **Kunden**, die ihrerseits wieder Ressourcen bereitstellen. Je nach Ressource kann diese Verbindung logischer Natur sein sowie durch Informations- und/oder Marktleistungsflüsse abgebildet werden. In der Regel fallen dafür Ausgaben an, die sich in den **Finanzen** niederschlagen. Durch den Einsatz von Ressourcen resultieren sowohl **Chancen** als auch **Gefahren** für das Unternehmen. So kann bspw. der Einsatz einer fortschrittlichen Fertigungstechnik für Aufmerksamkeit am Markt sorgen und eine Steigerung der Nachfrage bewirken – gleichermaßen besteht die Gefahr, dass die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Technologie den Erwartungen hinterherhinkt. Das Wirkgefüge wird mittels logischer Verbindungen abgebildet.

Innerhalb des Validierungsprojektes sind die Kundendaten und Schildparameter eine wesentliche Ressource (vgl. Bild 4-26). Die Spezifikation der Schilder wird an den Produktionspartner weitergegeben, der auf dieser Basis die Schilder produziert. Der Logistikpartner erhält für die Lieferung der Ware die Kundendaten vom Unternehmen.

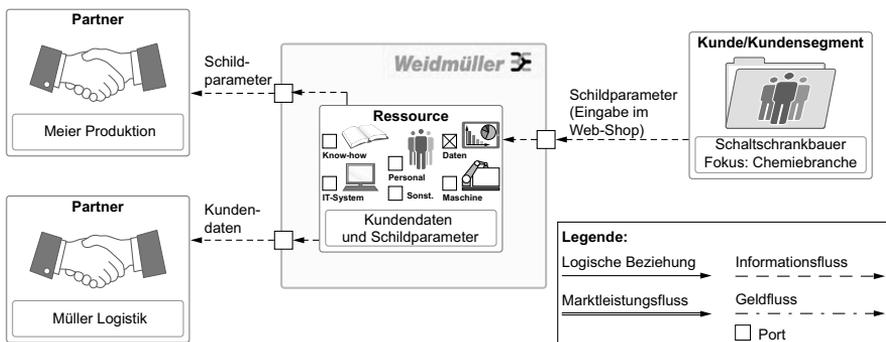


Bild 4-26: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Ressource“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.4 Partialmodell Marktleistung

Das Partialmodell **Marktleistung** beschreibt das geplante Produkt und/oder die Dienstleistung. Die wesentlichen Bestandteile des Partialmodells sind Hauptfunktionen (Abschnitt 4.3.4.1) des Produkts sowie Prozesse (Abschnitt 4.3.4.2) zur Beschreibung der Dienstleistung. Bei der Beschreibung der Funktionen geht es i.d.R. um die Darstellung der Hauptfunktionen, analog dazu adressiert die Dokumentation der Prozesse die Hauptprozessschritte. Das Konstrukt Technologie (Abschnitt 4.3.4.3) dient der Beschreibung, wie Prozesse und Funktionen technisch realisiert bzw. abgewickelt werden. Nachfolgend werden die einzelnen Konstrukte erläutert³⁷.

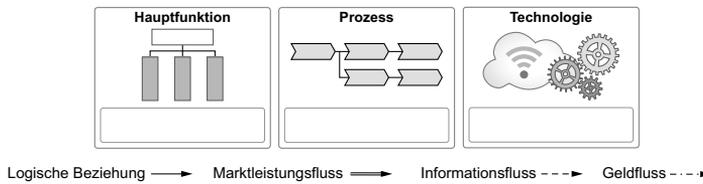


Bild 4-27: Grundkonstrukte und Beziehungen des Partialmodells Marktleistung

4.3.4.1 Hauptfunktion

Definition und grafische Repräsentation

Eine Funktion ist der allgemeine und gewollte Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen um eine Aufgabe zu erfüllen. Hauptfunktionen sind solche Teilfunktionen, die unmittelbar der Gesamtfunktion eines Produkts dienen [FGG+13, S. 243ff.]. Mittels Hauptfunktionen wird das Produkt beschrieben.

Für die grafische Darstellung wird ein Piktogramm einer Funktionshierarchie verwendet. Diese ist im Adressatenkreis etabliert und verdeutlicht, dass es um die wesentlichen Funktionen geht – eben die Hauptfunktionen.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Die funktionale Beschreibung des Produkts ermöglicht eine kundenorientierte Sicht auf das Produkt. So interessieren den **Kunden** vordergründig die Funktionen, die ein Produkt erfüllt; die **Technologie**, die die Funktion realisiert ist für ihn eher Zweitrangig [FG13, S. 344]. Ausgangspunkt für die Definition von Produktfunktionen sind zukünftige **Chancen/Erfolgspotentiale**. Die Funktionen sind so zu gestalten, dass sie das **Nutzenversprechen** erfüllen und sich von den Produkten der **Wettbewerber** abheben. Gleichzeitig können Funktionen auch das Nutzenversprechen sowie die Wettbewerbsprodukte beeinflussen. Allgemein gilt daher, dass die Umsetzung von Funktionen **Ressourcen** und **Aktivitäten** erfordert. Dabei müssen nicht alle Funktionen vom Unter-

³⁷ Eine Kurzdefinition der Konstrukte befindet sich in A2.3.

nehmen selbst bereitgestellt werden – dies kann auch in Zusammenarbeit mit **Partnern** geschehen. Die Funktionen folgen den vorherrschenden **Gesetzen und Regularien**. Ferner besteht die Möglichkeit, dass die Realisierung von Funktionen mit **Gefahren/Risiken** verbunden ist.

Für Kunden aus der Chemiebranche ist die Widerstandsfähigkeit von Schildern von hoher Bedeutung. Bei der Entwicklung der Drucker (im Validierungsprojekt nur am Rande betrachtet) war es daher entscheidend, dass widerstandsfähige Metallschilder bedruckt werden können (vgl. Bild 4-28).

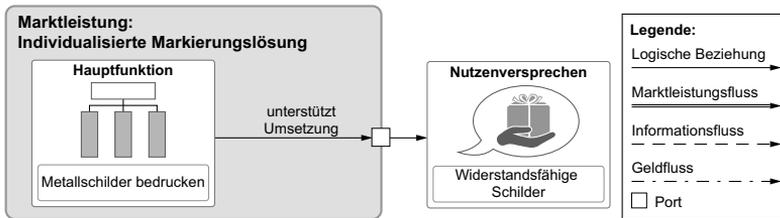


Bild 4-28: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Hauptfunktion“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.4.2 Prozess

Definition und grafische Repräsentation

Ein Prozess beschreibt die Tätigkeiten, die zur Erfüllung eines bestimmten Ziels erforderlich sind. Im Kern geht es um eine effiziente Beschreibung der Dienstleistungen. Hierzu werden die Hauptprozessschritte der Dienstleistung dargestellt. Im Gegensatz zur Aktivität stehen hier die Bestandteile der Dienstleistung im Vordergrund.

Die grafische Repräsentation erfolgt anhand von Prozesspfeilen. Diese Darstellung ist seit Jahren etabliert.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Eine Dienstleistung wird stets durch einen Prozess beschrieben [GAD+14, S. 7], [EO96, S. 140ff.]. Dabei sind neben den unternehmenseigenen Abläufen auch die Abläufe der an der Umsetzung beteiligten **Partner** zu berücksichtigen. Die Prozesse sind so zu gestalten, dass sie geltenden **Gesetzen/Regularien** entsprechen. Den Ausgangspunkt für die Gestaltung der Prozesse bilden die Anforderungen der **Kunden** sowie das **Nutzenversprechen** (wobei die Beziehung zum Nutzenversprechen bidirektional ist). Ferner bilden **Chancen/Erfolgspotentiale** sowie **strategische Rahmenbedingungen** die Basis für die Definition der Dienstleistung. In diesem Zusammenhang werden auch die zur Umsetzung erforderlichen **Ressourcen** und Ausgaben in Form von **Finanzen** festgelegt. Gleichzeitig schränken Ressourcen sowie das Budget die Umsetzung von Prozessen ein. Ferner können aus Prozessen **Gefahren/Risiken** hervorgehen.

Im Rahmen des Validierungsprojekts stehen zwei Kernprozesse im Fokus. Einerseits müssen die Schilder gedruckt werden, andererseits müssen sie auch ausgeliefert werden. Im Validierungsprojekt werden beide Prozesse durch Kooperationspartner erbracht (vgl. Bild 4-29).

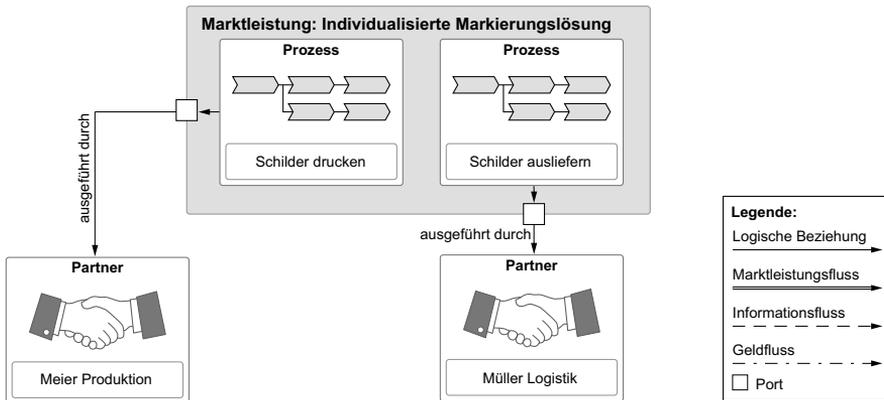


Bild 4-29: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Prozess“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.4.3 Technologie

Definition und grafische Repräsentation

Eine Technologie ist das *Wissen über naturwissenschaftlich-technische Wirkungsbeziehungen, das bei der Lösung praktischer Probleme Anwendung finden kann* [SBA02, S. 13]. Die Anwendung einer Technologie führt zu einer Technik.

Technologie umfasst die Spannweite von einfachen mechanischen Lösungen bis hin zur modernen Information- und Kommunikationstechnik. Zur Darstellung der Vielfältigkeit wird eine Kombination von mehreren Symbolen genutzt: Ein Zahnrad symbolisiert die Mechanik; das international bekannte WLAN-Symbol sowie eine Wolke in Anlehnung an modernste Cloud-Lösungen erweitern die Darstellung.

Charakterisierung und Einbindung in das Gesamtmodell

Technologien dienen der Umsetzung von **Funktionen** und **Prozessen**. Dabei folgt die gewählte Technologie den **strategischen Rahmenbedingungen** des Unternehmens. Die Anwendung einer Technologie erfordert **Aktivitäten** und **Ressourcen**; alternativ besteht die Möglichkeit, Technologien auch von **Partnern** zu beziehen – dafür fallen wiederum Kosten an. Diese schlagen sich in den **Finanzen** des Unternehmens nieder. Durch die Anwendung einer Technologie können **Chancen/Erfolgspotentiale** erschlossen werden; sie können bspw. einen wesentlichen Kaufgrund für **Kunden** darstellen. Gleichzeitig können auch **Gefahren/Risiken** resultieren, z.B. abhängig vom Reifegrad

der Technologie. Im Unternehmensumfeld besteht die Möglichkeit, dass **zukünftige Entwicklungen** neue Technologien begünstigen; gleichzeitig können neue Technologien zukünftige Entwicklungen initiieren. Die Technologien müssen stets konform zu **Gesetzen/Regularien** sein. Die Abbildung dieses Wirkgefüges erfolgt durch eine logische Beziehung.

Eine wesentliche Technologie im Zuge der Bedruckung widerstandsfähiger Metallschilder (im Validierungsprojekt nur am Rande betrachtet) ist das Aufbringen nicht löslicher Tinte auf metallischen Untergründen wie z.B. Edelstahl. Die Beherrschung der Thermal Ink-Technologie ist zum Erfüllen der Hauptfunktion unabdingbar (vgl. Bild 4-30).

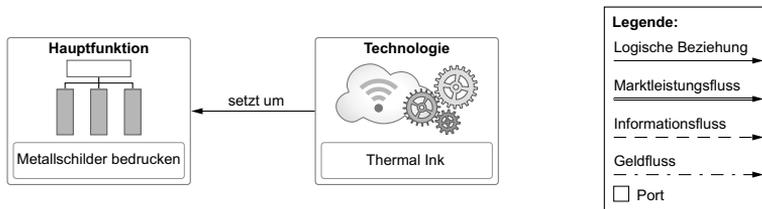


Bild 4-30: Beispielhafte Einbindung des Grundkonstrukts „Technologie“ in das Gesamtmodell des Validierungsprojekts

4.3.5 Partialmodell Anforderungen

Das Partialmodell Anforderungen stellt eine strukturierte Sammlung aller Anforderungen an die zu entwickelnde Marktleistung dar. Basis hierfür ist die Anforderungsliste. In der Regel handelt es sich in dieser Phase des Marktleistungsentstehungsprozesses um Marktanforderungen – sie repräsentieren Eigenschaften oder Bedingungen, die von einem Benutzer zur Lösung eines Problems oder zur Erreichung eines Ziels benötigt werden (vgl. Abschnitt 4.3.5) [Ebe12, S. 23ff.]. Im Rahmen des Projektfortschritts und der zunehmenden Konkretisierung ergeben sich naturgemäß weitere Anforderungen [EM13, S. 392]. Ferner werden die bestehenden Anforderungen konkretisiert [Ebe12, S. 28f.]. Die Änderungen werden in der Anforderungsliste dokumentiert; Ergebnis ist die „gelebte“ und immer wieder aktualisierte Anforderungsliste [EM13, S. 392f.]. Diese Anforderungen gelten während der gesamten Entwicklung als „Messlatte“ für die zu entwickelnde Marktleistung [Fra06, S. 104]. Es wird unterschieden zwischen Forderungen und Wünschen [EM13, S. 396f.]; es sind aber auch andere Priorisierungsmerkmale denkbar³⁸. Darüber hinaus kann es für die Lesbarkeit der Anforderungsliste nützlich sein, sie nach Merkmalen zu gliedern; beispielhaft sei an dieser Stelle auf die durch PAHL und BEITZ etablierte Hauptmerkmalsliste verwiesen [FGN+13, S. 331] sowie auf aktuelle Arbeiten von MÜLLER und STARK [SM12, S. 51ff.]. Um eine hohe Qualität der

³⁸ Für weitere Merkmale zur Priorisierung von Anforderungen wird auf [EM13, S. 396f.] und [FGN+13, S. 334ff.] verwiesen.

Anforderungsliste zu gewährleisten, muss sie die folgenden Kriterien erfüllen [FGN+13, S. 324f.]:

- **Lesbarkeit:** Die Beschreibung darf keine sprachlichen Defizite aufweisen. Ihre Struktur muss eine einfache Erfassung der Anforderungen unterstützen.
- **Vollständigkeit:** Die Anforderungsliste wird dann als vollständig bezeichnet, wenn alle für die Entwicklung notwendigen Anforderungen enthalten sind.
- **Konsistenz:** Eine Anforderungsliste ist dann konsistent, wenn keine Widersprüche in den dokumentierten Anforderungen vorliegen.
- **Änderungsfreundlichkeit:** Die gewählte Struktur muss einfache und nachvollziehbare Änderungen ermöglichen.

Anforderungsliste: Individualisierte Markierungslösung				
Stand: 15. Dezember 2015				
F/W	Nr.	Anforderungen	Änderung	Bearbeiter
	1	Geometrie und Mechanik		
F	1.1	Metall: max. 85mm x 54mm x 0,8mm bedruckbar	neu 6. Nov. 15	I. Waldeck
F	1.2	Kartengröße: 240mm x 76mm x 15mm bedruckbar	geändert 8. Nov. 15	N. Meier
F	1.3	Geometrie muss flexibel genug sein, um individuelle Kundenwünsche wie z.B. Material- und Größenänderung ermöglichen zu können	geändert 8. Nov. 15	A. Baumann
W	1.4	Identifikation der Metallkarte (Sensoren, Software)	neu 9. Nov. 15	R. Wiedey
		...		
	3	Software		
F	3.1	Kyrillische Schrift abbilden	geändert 1. Dez. 15	X. Esken
		:		

F = Forderung W = Wunsch

Bild 4-31: Formaler Aufbau einer Anforderungsliste in Anlehnung an [EM13, S. 563f.], [FGN+13, S. 325]

Die Ausgestaltung der Anforderungsliste erfolgt unternehmensspezifisch. Sie stellt die wesentliche Schnittstelle zur Produkt-, Dienstleistungs- und Produktionssystemkonzipierung dar. Die Identifikation, Ergänzung und Überprüfung von Anforderungen ist ein eigenes Forschungsfeld. Da an dieser Stelle der Systematik lediglich existierende Methoden angewendet werden (vgl. Abschnitt 3.2.1, Abschnitt 3.2.2, Abschnitt 3.2.5), wird auf eine detaillierte Vorstellung verzichtet.

Damit die Anforderungen als Partialmodell in das Gesamtsystem integriert werden können, erfolgt eine Vernetzung mit den Partialmodellen Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung unter Zuhilfenahme von Querverweisen (vgl. Abschnitt 4.3.1.2). Hierfür werden die Anforderungen mit den Grundkonstrukten verknüpft, aus denen sie hervorgegangen sind. In diesem Zusammenhang fungieren die einzelnen Grundkonstrukte als Anforderungsquellen.

4.4 Methode

Die Methode ist wesentlicher Bestandteil der Systematik; sie unterstützt die Akteure bei der Anwendung der Modellierungssprache. Hierfür werden ein Vorgehensmodell und Sichten vorgeschlagen. Das Vorgehen umfasst die zur Erstellung des Modells erforderlichen Tätigkeiten und Resultate und gibt eine Reihenfolge vor; das Vorgehen ist Gegenstand des Abschnitts 4.4.1. Die Sichten unterstützen den Anwender bei der Analyse des Systems. Beispielsweise kann durch eine anwender- bzw. aufgabenspezifische Sicht die Komplexität des Modells reduziert werden. Die Sichten sind Gegenstand von Abschnitt 4.4.2. Zur Validierung und zum besseren Verständnis wird sowohl das Vorgehensmodell als auch die Sichten-Bildung anhand des Validierungsprojekts erläutert.

4.4.1 Vorgehen

Das Vorgehen für die Erarbeitung eines modellbasierten Entwicklungsauftrags folgt dem Grundgedanken von HABERFELLNER ET AL. (vgl. Abschnitt 2.5.1): Es besteht aus einem **Vorgehensmodell zur Erarbeitung von modellbasierten Entwicklungsaufträgen** (Makro-Logik) sowie einem im Vorgehensmodell enthaltenen **Leitfaden zur Modellbildung** (Mikro-Logik).

Das **Vorgehensmodell** zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge gliedert sich in vier Phasen (vgl. Bild 4-32). Es handelt sich um ein idealtypisches Vorgehen.

In der Praxis ist das Vorgehen durch Iterationen und Rücksprünge in allen Phasen geprägt. Diese sind auch ausdrücklich erwünscht, da sie eine kontinuierliche Verbesserung des modellbasierten Entwicklungsauftrags herbeiführen. Das Vorgehen ist Teil des Marktleistungsentstehungsprozesses und setzt im Laufe der Strategischen Planung an. Nachfolgend werden die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells vorgestellt.

Entwurf

Das Vorgehen setzt in der Strategischen Planung an. Im betrachteten Unternehmen wurden Aufgabenbereiche der Strategischen Planung zumindest initial bearbeitet; die jeweiligen Fachverantwortlichen haben bereits Informationsgrundlagen in den Bereichen Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung erarbeitet und haben eine Vorstellung von der zukünftigen Marktleistung. Diese stellen den Ausgangspunkt für die Erarbeitung des Entwicklungsauftrags dar.

Die Erarbeitung des Entwicklungsauftrags erfolgt im Rahmen von bereichsübergreifenden Workshops. Teilnehmer sind die an dem Projekt beteiligten Experten aus den Bereichen Strategische Planung, Produkt-, Dienstleistungs- und Produktionssystementwicklung; je nach zugrundeliegender Aufgabenstellung können die involvierten Fachbereiche variieren. Im Validierungsprojekt waren eine Vielzahl verschiedener Verantwortungsbereiche involviert, z.B. Produktmanagement, Geschäftsbereichsverantwortlicher, Technologieentwicklung sowie Hardware- und Softwareentwicklung.

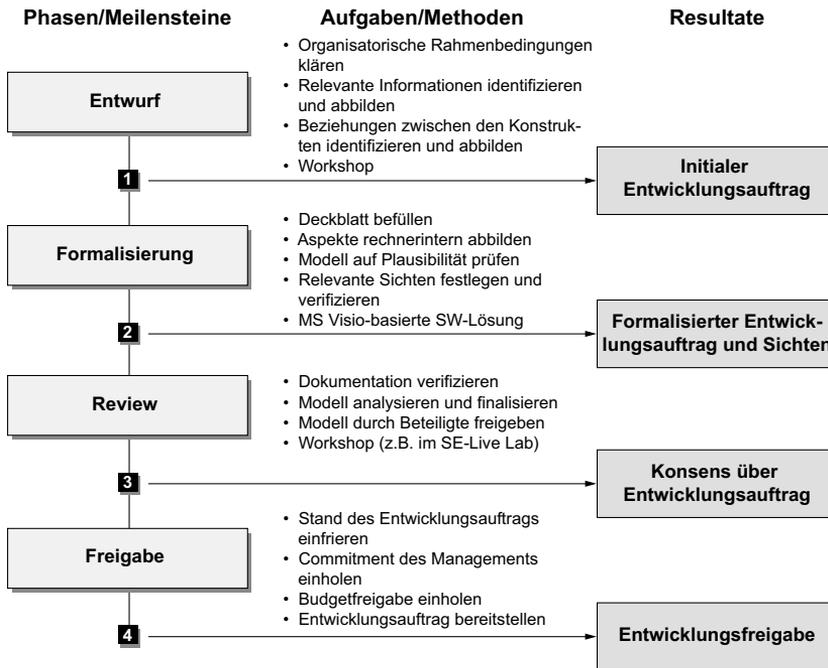


Bild 4-32: Vorgehensmodell zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge (Makro-Logik)

Zu Beginn des Workshops werden die *organisatorischen Rahmenbedingungen* geklärt; hierzu gehören Aufgabe und Zielsetzung sowie der initiale Zeitplan. Sofern noch nicht bekannt, wird das Vorgehen und die Modellierungssprache vorgestellt. Die Anwendung in verschiedenen Unternehmen hat gezeigt, dass an dieser Stelle ein kurzer Überblick über die Konstrukte und Zusammenhänge genügt, da die Modellierungssprache eine sehr kurze Einarbeitungszeit benötigt.

Anschließend beginnt die Erarbeitung des Entwicklungsauftrags. Das umfasst die *Identifikation und Abbildung der relevanten Informationen* sowie ihrer *Beziehungen*. In der vorliegenden Systematik wird dazu ein **Leitfaden für die Modellbildung** (Mikro-Logik) in Form eines zyklischen Vorgehens vorgeschlagen (Bild 4-33):

- 1) Zunächst werden die vorliegenden Arbeitsergebnisse durch die jeweiligen Fachexperten vorgestellt und in der Gruppe diskutiert. Auf diese Weise werden die Informationen identifiziert, denen die Beteiligten eine hohe Bedeutung für die bereichsübergreifende Zusammenarbeit zusprechen. Diese relevanten Informationen werden anschließend **in Form von Konstrukten** auf dem Moderationspapier („Brown-Paper“) **abgebildet**. Hilfestellung bietet das entwickelte Karten-Set (vgl. Abschnitt 4.5.1) [WG16, S. 64ff.]. So war dem Produktmanagement im Validierungsprojekt eine deutliche Nachfragesteigerung im Be-

reich der individualisierten Beschriftung auf Messen und in einschlägigen Veröffentlichungen aufgefallen. Dieser Trend wurde in Form des Konstrukts *zukünftige Entwicklung* abgebildet. Vor diesem Hintergrund wurde von der Entwicklung auf eine bevorstehende Gesetzesänderung in Bezug auf Kennzeichnungspflichten hingewiesen. Zur Darstellung wurde das Konstrukt *Gesetz/Regularien* verwendet. Aus der Technologieentwicklung wurde auf zunehmende Nachfrage nach E-Commerce Lösungen hingewiesen; auch diese *zukünftige Entwicklung* wurde erfasst.

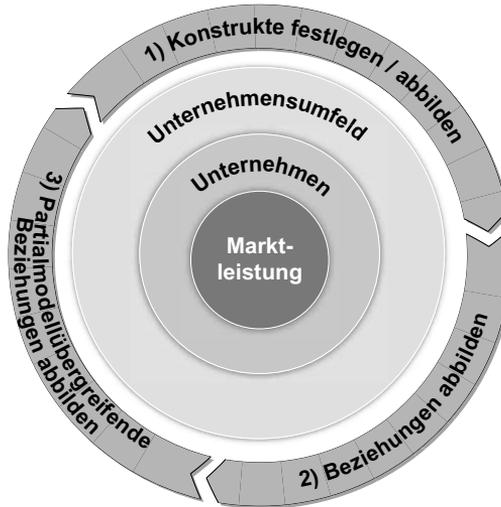


Bild 4-33: Zyklische Erarbeitung der Aspekte des Entwicklungsauftrags (Mikro-Logik)

- 2) Anschließend werden die **Beziehungen zwischen den Konstrukten** charakterisiert und eingezeichnet. Im Validierungsbeispiel ließ sich eine Abhängigkeit zwischen der Gesetzesänderung und der Nachfrage nach individualisierter Beschriftung erkennen. Die Konstrukte wurden über eine *logische Beziehung*, ausgehend von *Gesetz/Regularien*, verbunden. Sollte im Rahmen der Entwicklungszeit diese Änderung revidiert werden, so lässt sich direkt ein Einfluss auf die spätere Nachfrage ableiten.
- 3) Nachfolgend werden **partialmodellübergreifende Beziehungen** adressiert. Partialmodellübergreifende Beziehungen liegen vor, wenn die Partialmodelle Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung über ihre Systemgrenze hinweg miteinander verbunden sind. In diesem Fall beginnen Beziehungen bspw. an einem Element des Unternehmensumfelds und enden an einem Element des Unternehmens. Im vorliegenden Validierungsprojekt wurden bspw. die Beziehungen zwischen den identifizierten *zukünftigen Entwicklungen* zunächst an die Systemgrenze geführt. Von dort aus wird die Beziehung im nachfolgend betrachteten Partialmodell Unternehmen weitergeführt. Hierzu sind nun im

nächsten Schritt Konstrukte am Ende der Verbindung abzuleiten; der Zyklus beginnt erneut. Im Validierungsprojekt führt die *zukünftige Entwicklung* der steigenden Nachfrage nach individueller Beschriftung im Unternehmen zu einer *Chance* bzw. *Erfolgspotential*: Geschäft durch individualisierte Identifikationssysteme.

Der Zyklus wird so oft durchlaufen, bis die beteiligten Experten der Meinung sind, dass alle wesentlichen Informationen abgebildet wurden. Auf diese Weise werden die einzelnen Aspekte des Entwicklungsauftrags abgebildet: Ausgangspunkt bildet das Unternehmensumfeld, gefolgt vom Unternehmen und der Marktleistung³⁹. Die Definition des Aspekts Anforderungen erfolgt parallel. Die vorgeschlagene Reihenfolge hat einen empfehlenden Charakter, erscheint eine andere Reihenfolge sinnvoll, kann diese situationsspezifisch angepasst werden. Ergebnis dieser Phase ist der *initiale Entwicklungsauftrag*.

Im Rahmen aller Validierungsprojekte haben sich zwei wesentliche Vorteile durch das Vorgehen herauskristallisiert: Zunächst kann durch den bereichsübergreifenden Teilnehmerkreis sichergestellt werden, dass alle Möglichkeiten eines aus unternehmerischer und technischer Sicht Erfolg versprechenden Marktleistungskonzepts ausgeschöpft werden. Gleichzeitig fördert das gemeinsame Erarbeiten die Akzeptanz des Marktleistungskonzepts sowie der gewählten Vorgehensweise in der Entwicklung [Kai14, S. 122f.], [SMM+12, S. 143].

Formalisierung

Gegenstand dieser Phase ist die Formalisierung des bisher papierbasierten initialen Entwicklungsauftrags. Wesentliches Hilfsmittel ist dabei die entwickelte Software-Lösung (vgl. Abschnitt 4.5.2) [WG16, S. 66f.]. Zunächst wird das *Deckblatt mit den bekannten Rahmenbedingungen befüllt* (vgl. Abschnitt 4.2). Liegen die erforderlichen organisatorischen Rahmenbedingungen nicht vollständig vor, müssen diese vom Projektleiter beschafft werden. Bild 4-34 zeigt das Deckblatt des Entwicklungsauftrags aus dem Validierungsprojekt.

Anschließend werden die einzelnen *Aspekte rechnerintern abgebildet*. Dabei folgt das Vorgehen bei der Modellierung ebenfalls dem Leitfaden zur Modellbildung (vgl. Bild 4-33). Vor diesem Hintergrund werden zunächst die einzelnen Konstrukte mittels Drag and Drop auf die Zeichenfläche gezogen (1). Anschließend werden die Beziehungen zwischen den Konstrukten eines Partialmodells klassifiziert und modelliert (2). Die Abbildung der partialmodellübergreifenden Beziehungen erfolgt mithilfe von Ports (vgl. Abschnitt 4.3.1.2) (3). Gleichzeitig prüft der Modellersteller das erarbeitete Modell auf

³⁹ Die im Rahmen dieser Arbeit vorgeschlagene Reihenfolge zur Erarbeitung der Aspekte folgt den Denksätzen zur Systembetrachtung. Für eine detaillierte Vorstellung sei auf [HFW+12, S. 41ff.] verwiesen.

Plausibilität⁴⁰ und Konsistenz. Sind Änderungen erforderlich, so kann der Modellersteller redaktionelle Anpassungen eigenständig und ohne Abstimmung durchführen; inhaltliche Anpassungen sind mit den Fachexperten abzustimmen. Abschließend wird definiert, welche Sichten für die Analysen des Modells zweckmäßig sind. Das wird im Projektteam verifiziert. Das Ergebnis dieser Phase ist ein formalisierter Entwicklungsauftrag und Sichten.

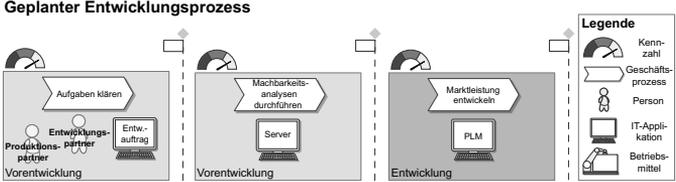
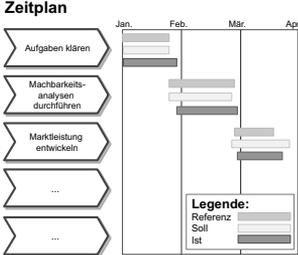
Entwicklungsauftrag <i>Individualisierte Markierungslösung</i>		
Auftragsnummer: 487w276	Projektleiter: O. Wiederkehr Abteilung: Vorentwicklung	Datum: 20. Apr. 2016 letzte Änderung: 18. Apr. 2016
Beschreibung Der kundenspezifische Druck soll mit dem Schwerpunkt auf die Bedruckung von Metall-Cards erweitert werden. Zudem soll ein Webshop erstellt werden, um den Bestellvorgang für den Kunden zu erleichtern.		
Veranlassung <input type="checkbox"/> neues Arbeitsgebiet <input type="checkbox"/> Ergänzungen Geräteprogramm <input type="checkbox"/> zu hohe Kosten <input type="checkbox"/> technische Mängel bestehender Geräte <input checked="" type="checkbox"/> Marktlücke <input type="checkbox"/> Anpassung an Stand der Technik <input type="checkbox"/> Konkurrenzdruck <input type="checkbox"/> Kundenwunsch <input type="checkbox"/> sonstiges		
Geplanter Entwicklungsprozess		
		
Zeitplan		Lebenszyklus der Marktleistung
		
Freigabe/Genehmigung	Anlagen Modelle: • Unternehmensumfeld • Unternehmen • Marktleistung • Anforderungen	Abbruchkriterien Das Projekt kann ausschließlich vom Vorstand abgebrochen werden. Bei Erfüllung folgender Kriterien ist unverzüglich der Vorstand zu informieren: • Das Projekt stößt absehbar auf zu hohe technische Hürden • Das Projektbudget übersteigt absehbar 130% des geplanten Volumens • Das Projekt überschreitet absehbar die Dauer um 10 Monaten

Bild 4-34: Deckblatt des Entwicklungsauftrags aus dem Validierungsprojekt (Auszug)

Bild 4-35 zeigt einen Auszug des Partialmodells Unternehmensumfeld aus dem Validierungsprojekt. Im Mittelpunkt steht das betrachtete Unternehmen Weidmüller.

⁴⁰ Nach KAISER ist ein Modell plausibel, wenn es vergleichbar, vollständig und richtig modelliert wird. Für eine detaillierte Auseinandersetzung mit der Definition von Richtlinien und Bedingungen zur Erarbeitung plausibler Modelle sei auf [Kai14] verwiesen.

Beeinflusst durch die zukünftigen Entwicklungen sowie die verschärfte Kennzeichnungspflicht, stellt Weidmüller seinen Kunden das Nutzenversprechen *individuelle Beschilderung* über die Vertriebsbüros sowie einem Web-Shop zur Verfügung. Das Kundensegment Schaltschrankbauer in der Chemieindustrie nimmt das Nutzenversprechen im Web-Shop an, bezahlt und sendet die gewünschten Schildparameter. Die Leistungserbringung erfolgt in Zusammenarbeit mit Produktions- und Logistikpartnern.

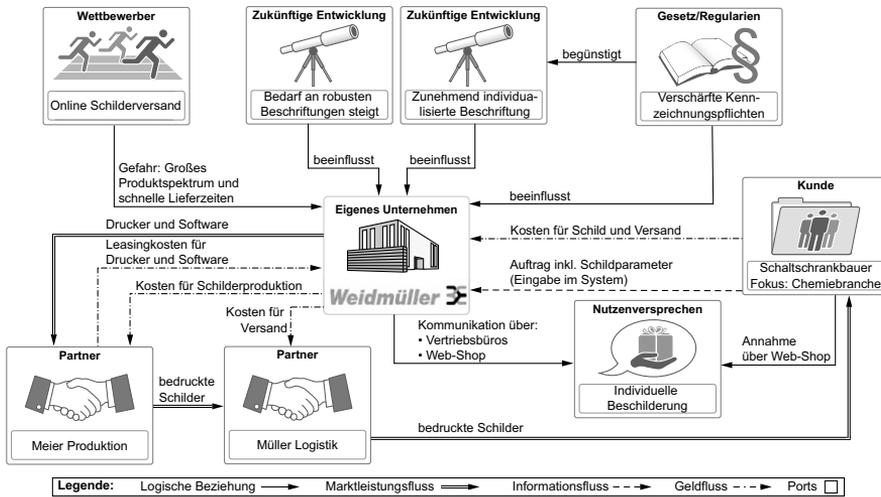


Bild 4-35: Auszug aus dem Partialmodell Unternehmensumfeld des Validierungsprojekts

Einen Überblick über das Wirkgefüge bei der Erbringung der Marktleistung zeigt das Partialmodell Unternehmen (Bild 4-36). Durch die zukünftigen Entwicklungen resultiert die Chance/Erfolgspotential zusätzliches Geschäft durch individuelle Identifikationssysteme zu erwirtschaften. Um dieses Erfolgspotential zu erschließen, wird die Marktleistung *Individualisierte Markierungslösung* definiert. Gefahren resultieren aus dem umfassenden Produktspektrum und den schnellen Lieferzeiten des Wettbewerbs. Für die Umsetzung dieser Marktleistung sind Aktivitäten, wie z.B. das Betreiben des Web-Shops erforderlich. Das wiederum erfordert die Ressource Benutzerdaten. Die Umsetzung der Marktleistung erfolgt in Zusammenarbeit mit Partnern. Dafür fallen bei dem betrachteten Unternehmen Kosten an. Ferner sind die zur Erstellung der Marktleistung erforderlichen Informationen an die Partner bereitzustellen. Im Validierungsprojekt zeigte sich insbesondere der Bedarf für eine spezifische Analyse mittels Sichten (vgl. Abschnitt 4.4.2). Im Fokus stand die Abbildung von finanziellen Strömen sowie der zugrundeliegenden Wertschöpfungsstrukturen. Aus Gründen der Vertraulichkeit können beide nicht dezidiert gezeigt werden. Bild 4-37 zeigt eine stark vereinfachte Version der Wertschöpfung. Durch den Auftrag des Kunden im Web-Shop wird der Prozess ausgelöst. Die Produktion der Marktleistung erfolgt durch einen Produktionspartner. Dafür stellt Weidmüller dem Produktionspartner Drucker und Software im Rahmen eines Lea-

singmodells zur Verfügung. Für die Auftragsabwicklung werden die erforderlichen Schildparameter automatisch weitergeleitet – dafür erhält der Partner einen festen Betrag pro Stück. Sind die Schilder produziert, werden diese an den Logistikpartner übergeben, der diese an den Kunden ausliefert. Dafür fallen bei dem betrachteten Unternehmen Kosten an.

Review

Grundlage des Reviews ist das formalisierte Modell. Im Rahmen eines Workshops beurteilen die an der Erstellung des Modells beteiligten Fachexperten die Güte des Modells. Im Fokus der Betrachtung steht dabei die Frage, ob das formalisierte Modell die zentrale Botschaft den Vorstellungen der Teilnehmer entsprechend vermittelt. Eine bedarfsorientierte Analyse des Modells wird durch das Bilden von Sichten unterstützt (vgl. Abschnitt 4.4.2). Im Rahmen des Validierungsprojekts konnte bestätigt werden, dass durch die Diskussionen in den ersten Phasen ein einheitliches Verständnis der Aufgabenstellung erarbeitet werden konnte. In Konsequenz waren nur geringfügige Änderungen erforderlich. Am Ende des Review-Prozesses hat das Projektteam Konsens über den Entwicklungsauftrag erzielt.

Das Review des dargelegten Validierungsprojekts wurde in einem konventionellen Besprechungsraum mit Beamer durchgeführt. Für die Durchführung des Review bieten sich darüber hinaus interaktive Workshop-Umgebungen an. Beispielhaft sei an dieser Stelle das SE LIVE LAB der FRAUNHOFER EINRICHTUNG FÜR ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK genannt. Es handelt sich um ein Anwender- und Transferzentrum, in dem neueste Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung technischer Systeme erprobt, verglichen und angewendet werden [Fra16-01]. Dafür steht den Anwendern eine virtuelle Arbeitsumgebung zur Verfügung. Im Kontext des Modellreviews ermöglicht eine derartige Arbeitsumgebung eine gemeinsame Anpassung des Modells. Änderungsauswirkungen können sofort betrachtet und diskutiert werden. Dies steigert die Effektivität und die Effizienz des Review-Prozesses.

Freigabe

Für die Freigabe wird der vorliegende Stand des Entwicklungsauftrags eingefroren; d.h. es werden keine Veränderungen mehr vorgenommen. Dieser Stand wird dem Management präsentiert. Das Management prüft den ausgearbeiteten Entwicklungsauftrag hinsichtlich seiner Konformität zu den strategischen Rahmenbedingungen sowie hinsichtlich der Attraktivität aus Markt und Technologiesicht. Ist die Überprüfung zufriedenstellend, werden der Entwicklungsauftrag und die erforderlichen Budgets durch das Management freigegeben. Der Entwicklungsauftrag kann nun an die involvierten Abteilungen kommuniziert werden.

Im Validierungsprojekt wurden Diskussionen einzelne Kostenpositionen betreffend durch die direkte Verknüpfung von Anforderungen mit Hintergrundinformationen effi-

ziert geführt. Gleichmaßen konnte die automatische Sichten-Bildung einen Beitrag zur kurzfristigen Darstellung von strategischen Beweggründen leisten.

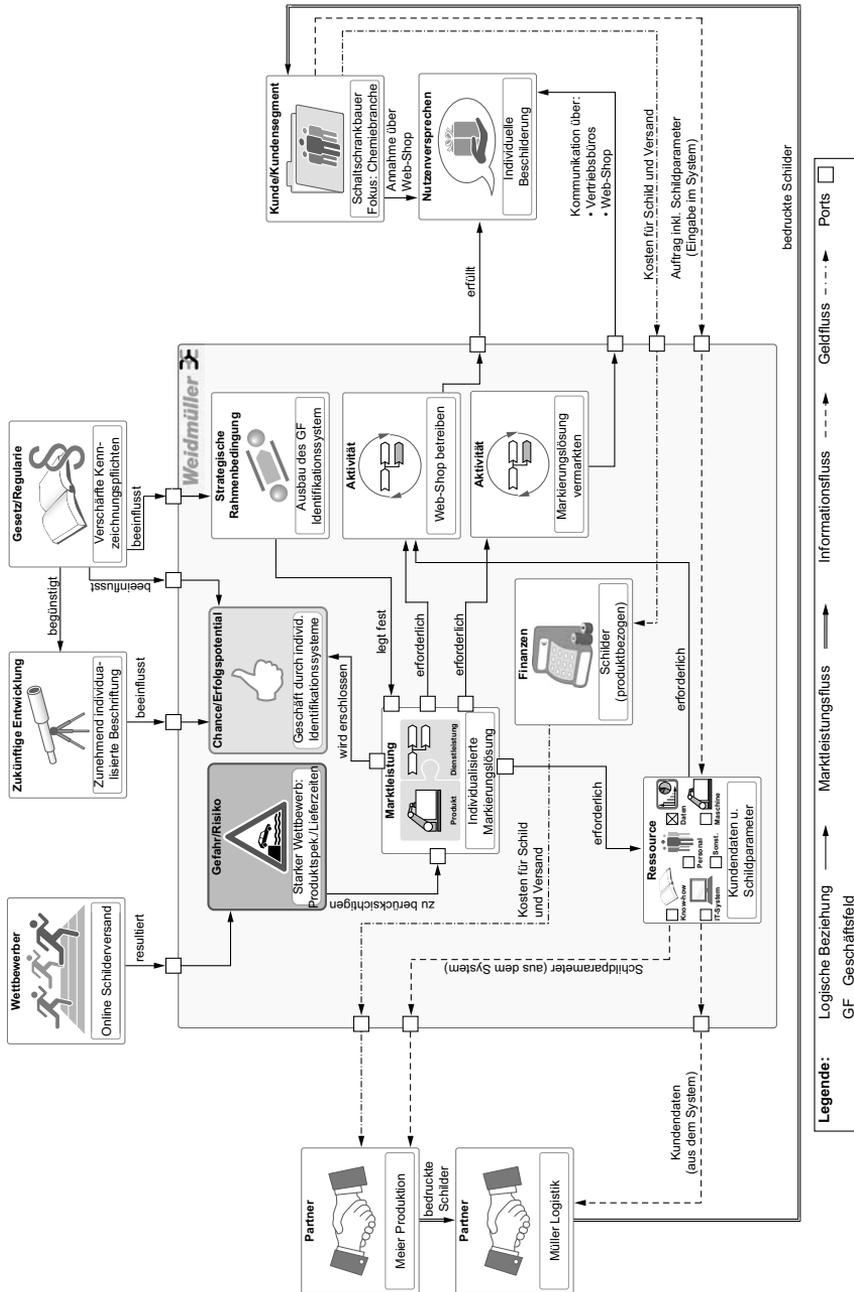


Bild 4-36: Auszug aus dem Partialmodell Unternehmen des Validierungsprojekts

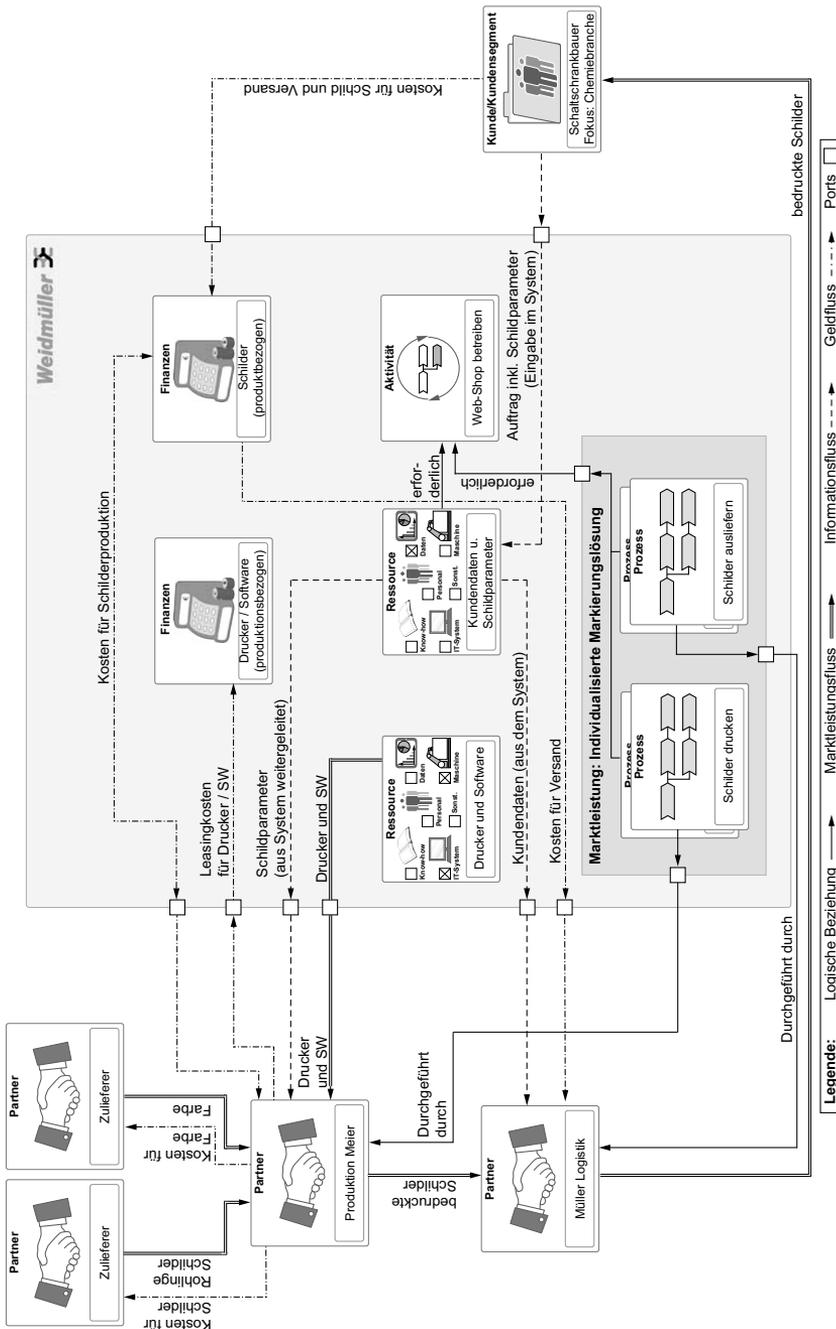


Bild 4-37: Auszug der Sicht Finanzen und Wertschöpfungsnetzwerk aus dem Validierungsprojekt

4.4.2 Sichten-Bildung

Die visuelle Wahrnehmung des Entwicklungsauftragsmodells ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Akzeptanz des Modells als Kommunikations- und Kooperationsgrundlage [Kai14, S. 107]. Eine einfache und übersichtliche Darstellung der Partialmodelle des Entwicklungsauftrags ist somit essentiell. Um diese auch bei komplexen Modellen realisieren zu können werden Sichten definiert. Sichten repräsentieren dabei Filter, die eine Selektion bestimmter Informationen ermöglichen; sie sind somit ein wesentliches Hilfsmittel zur Strukturierung komplexer Modelle [All05, S. 140]. In diesem Zusammenhang ist es häufig zweckmäßig, für das Unternehmen wesentliche Sichten als Standardfilter zur Verfügung zu stellen [Neg06, S. 97]. Für die Sichten-Bildung gibt es eine Vielzahl an Optionen zur partiellen Betrachtung des Modells.

Einen Ausgangspunkt für die Bestimmung von Sichten bildet die in Bild 4-38 dargestellte Grundkonstrukt-Beitrags-Matrix. Es wird bewertet, inwieweit ein Grundkonstrukt (Zeile) eine beliebige Sicht (Spalte) unterstützt. Die Skala geht von „kein Beitrag: Bereitstellung ist nicht erforderlich“ bis „hoher Beitrag – Bereitstellung ist zwingend erforderlich“. Je höher der Beitrag, desto eher ist das Konstrukt in der spezifischen Sicht zu verwenden. Hierdurch kann eine jede Sicht sowohl vereinfacht (nur die zwingend erforderlichen Informationen) als auch detailliert (alle hilfreichen Informationen) dargestellt werden. Analog zur Reduktion der Grundkonstrukte besteht auch die Möglichkeit, die Vielfalt der Beziehungen zu verringern; dadurch wird bspw. die ausschließliche Darstellung von Finanzströmen im Modell ermöglicht.

Im Zuge der Systematik sind vielfältige Sichten denkbar. In den Validierungsprojekten haben sich zielgruppenorientierte und aufgabenbezogene Sichten als hilfreich erwiesen. Bei **zielgruppenorientierten Sichten** wird nach Berufsgruppen unterschieden, z.B. Entwickler, Manager, Controller etc. Diese Sichten sollen die adressierten Personen bestmöglich unterstützen. **Aufgabenbezogene Sichten** adressieren eine ganzheitliche Analyse von Tätigkeiten; bspw. wenn verschiedene Berufsgruppen eine gemeinsame Thematik diskutieren. Unterteilungen können sich bspw. am Marktleistungsentstehungsprozess orientieren, also Potentialfindung, Produktfindung und Geschäftsplanung. Gleichwohl können auch der Wertschöpfungsprozess oder das Geschäftsmodell fokussiert werden.

Im Zuge der Validierungsprojekte wurde deutlich, dass eine erhebliche Diskrepanz zwischen dem Verständnis und der Definition einzelner Rollen in den unterschiedlichen Unternehmen vorherrscht. Je nach Aufgabenstellung und Organisation des Unternehmens sind verschiedene Sichten zweckmäßig. Die Sichten können entsprechend dem hier vorgestelltem Vorgehen individuell angepasst werden. Im Validierungsprojekt standen die Sichten, Finanzen und Wertschöpfungsstrukturen betreffend im Vordergrund.

Grundkonstrukt-Beitrags-Matrix Fragestellung: Inwieweit unterstützt das Grundkonstrukt i (Zeile) die jeweilige Sicht j (Spalte)? Bewertungsmaßstab: 0 = kein Beitrag: Bereitstellung ist nicht erforderlich 1 = geringer Beitrag: Bereitstellung ist in Teilen hilfreich 2 = mittlerer Beitrag: Bereitstellung ist hilfreich 3 = hoher Beitrag: Bereitstellung ist zwingend erforderlich	Sichten	zielgruppenorientiert			aufgabenorientiert		
		Controller	Entwickler	...	Produktfindung	Geschäftsplanung	...
		Nr.	1	2		10	11
Zukünftige Entwicklung	1	3	3		3	2	
Partner	2	3	2		1	3	
Nutzenversprechen	3	2	3		3	3	
...							
Ressource	6	1	3		1	3	
Finanzen	7	3	1		1	3	
...							
Hauptfunktion	14	0	3		3	1	
Technologie	15	1	3		2	1	

Bild 4-38: Erstellung von zielgruppen- und aufgabenorientierten Sichten mit Hilfe der Grundkonstrukt-Beitrags-Matrix

4.5 Werkzeugunterstützung

Eine effiziente Umsetzung der Systematik erfordert eine geeignete Werkzeugunterstützung. Daher stellt die Werkzeugunterstützung einen wesentlichen Bestandteil der Systematik dar. Sie umfasst zwei verschiedene Typen von Werkzeugen: Ein Karten-Set, welches bei der Durchführung von Workshops unterstützt (Abschnitt 4.5.1) sowie eine Visio-basierte Software-Lösung für die rechnerinterne Abbildung des Modells (Abschnitt 4.5.2).

4.5.1 Karten-Set

Das Karten-Set dient der Unterstützung von Workshops. Es besteht aus Papier-Karten der in Abschnitt 4.3.1.1 vorgestellten Grundkonstrukte (vgl. Bild 4-39). Mit diesen Karten werden die einzelnen Konstrukte des Entwicklungsauftrags Schritt für Schritt auf einer Wandtapete („Brown-Paper“) modelliert. Der Prozess erfolgt gemeinschaftlich im Rahmen eines Workshops. Dabei steht wechselnd jeder Teilnehmer im Mittelpunkt der Betrachtung; das fordert jeden Teilnehmer der Gruppe implizit dazu auf, seinen Wis-

sensstand beizusteuern. Dabei bilden die Karten bereits eine gute Orientierung, da sie vorgeben, welche Konstrukte erarbeitet werden sollen. In der Regel hat das Arbeiten mit dem Karten-Set eine stimulierende Wirkung auf die Teilnehmer. Der Projektleiter hat im Rahmen des Workshops eine koordinierende Funktion; gleichzeitig prüft er auch die Konsistenz der erstellten Modelle und klärt Verständnisfragen. Im Rahmen der Diskussion wird so ein einheitliches Verständnis unterstützt und dokumentiert. Darüber hinaus fördert das bereichsübergreifende Erarbeiten die Akzeptanz der Ergebnisse und erhöht die Chance einer erfolgreichen Umsetzung [WG16, S. 66f.].

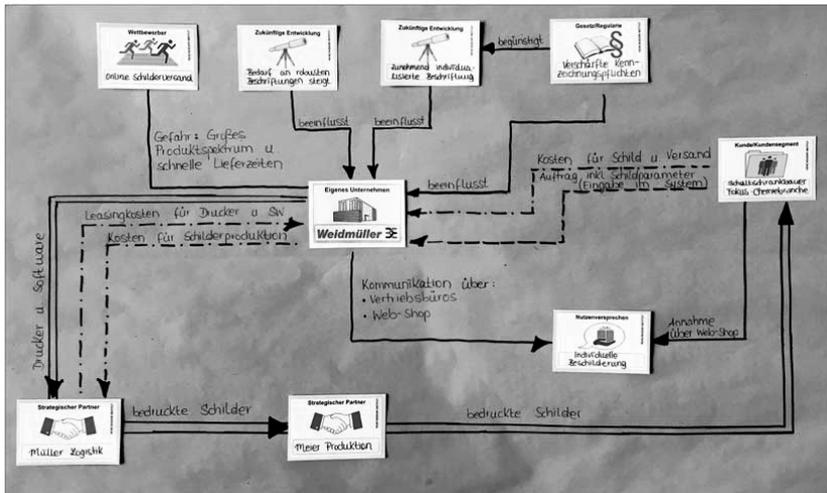


Bild 4-39: Karten-Set unterstützt die Durchföhrung von Workshops in Anlehnung an [WG16, S. 66f.]

Im Rahmen der Validierungsprojekte wurde deutlich, dass das Karten-Set durch seine intuitive Anwendbarkeit eine kurze Einarbeitungszeit unterstützt. Dennoch ist die alleinige Anwendung des Karten-Sets bei großen oder besonders komplexen Modellen nach einiger Zeit unübersichtlich. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz der Software-Lösung bei diesen Projekten zwingend erforderlich.

4.5.2 Software-Lösung

Die Software-Lösung ermöglicht eine effiziente Modellierung und Analyse von Entwicklungsaufträgen. Die prototypische Umsetzung erfolgt mit Hilfe der Software Microsoft (MS) Visio. Aus der Verwendung von Visio gehen zwei wesentliche Vorteile hervor: Einerseits folgt Visio dem software-ergonomischen Konzept von Microsoft; dadurch können Einarbeitungszeiten auf ein Minimum reduziert werden. Andererseits werden gängige Austauschformate mit etablierten Office-Anwendungen unterstützt, so dass ein Dokumententransfer problemlos abgewickelt werden kann. Bild 4-40 zeigt den

konzeptionellen Aufbau der Software-Lösung zur Modellierung und Analyse von Entwicklungsaufträgen.

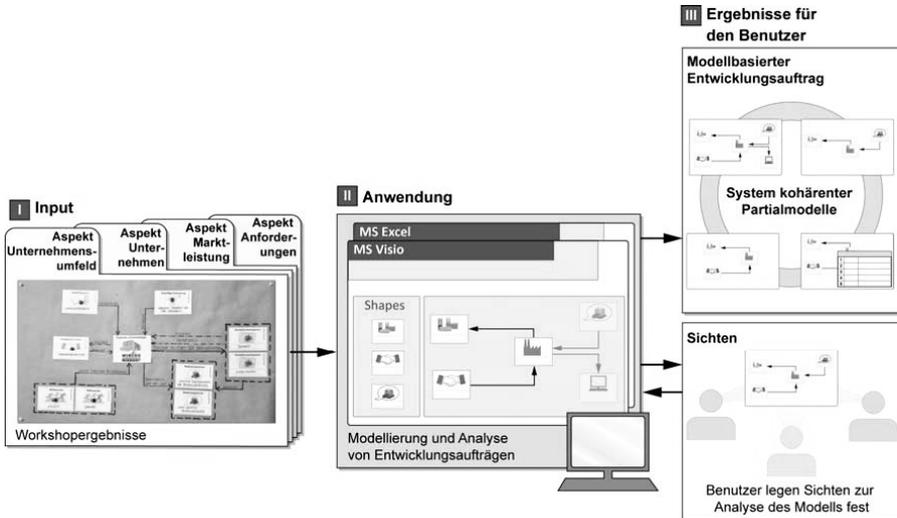


Bild 4-40: Konzeptioneller Aufbau der prototypischen Software-Lösung in Anlehnung an [PGO+16, S. 83]

Ausgangspunkt der Modellierung bilden die vier Aspekte Unternehmensumfeld, Unternehmen, Marktleistung und Anforderungen (vgl. Bild 4-40; I). Sie sind das Ergebnis eines fachdisziplinübergreifenden Workshops zur Erarbeitung eines Entwicklungsauftrags. Die Modellierung in der Visio-basierten Software-Lösung (vgl. Bild 4-40; II) führt zu den gleichnamigen Partialmodellen. Dies gilt zunächst nur für die Strukturmodelle. Die Partialmodelle sind wiederum mit den tabellarisch dargestellten Anforderungen verknüpft. Hier hat sich der Einsatz von Microsoft Excel etabliert [GDS+13, S. 34]. Durch das Zusammenspiel aller vier Partialmodelle resultiert der modellbasierte Entwicklungsauftrag (vgl. Bild 4-40; III). Auf dieser Basis sind die spezifischen Sichten zu definieren. Da die Shapes bereits vorkonfiguriert sind, unterstützt Visio die automatisierte Sichten-Bildung. Durch einen Klick auf ein Grundkonstrukt werden die verknüpften Anforderungen angezeigt. Die durchgängige Vernetzung ermöglicht es, bei Änderungen betroffene Konstrukte und Anforderungen aufzuzeigen. Hierdurch können notwendige Anpassungen an alle Beteiligten frühzeitig propagiert werden.

Im Rahmen des Validierungsprojekts konnte die Erwartung an die Ergonomie der Nutzung von Microsoft Visio bestätigt werden. Besonders hilfreich war es, dass für jedes Element alle relevanten Eigenschaften im Hintergrund hinterlegt sind. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Partialmodell genannt. Durch diese Vorkonfiguration sind eine einfache Navigation sowie spezifische Analysen des Modells möglich. Bild 4-41 zeigt einen Auszug aus der Modellierung des Validierungsprojekts.

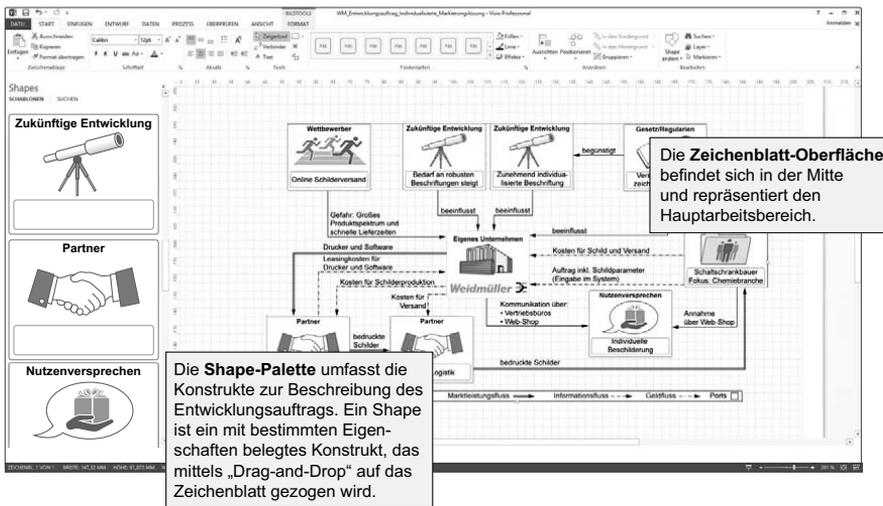


Bild 4-41: Screenshot aus der Software-Lösung

4.6 Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen

Gegenstand dieses Kapitels ist die Bewertung der entwickelten Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge anhand der in Abschnitt 2.7 aufgestellten Anforderungen.

A1: Anwendungsbereich mechatronische Systeme

Die entwickelte Systematik stellt die Planung und Entwicklung mechatronischer Systeme in den Fokus der Betrachtung: Für die Beschreibung der Produktidee werden die Konstrukte *Hauptfunktion* und *Technologie* genutzt; das erlaubt eine disziplinübergreifende Beschreibung des betrachteten Systems. Ferner werden die Charakteristika mechatronischer Systeme durch das Partialmodell *Anforderungen* berücksichtigt. Zusammengefasst bilden diese Informationen einen wohlfundierten Ausgangspunkt für die Konzeption mechatronischer Systeme.

A2: Berücksichtigung von Dienstleistungen

Für die Beschreibung der Dienstleistung stellt die entwickelte Systematik die Konstrukte *Prozess* und *Technologie* zur Verfügung. Dies erlaubt die wesentlichen Bestandteile der geplanten Dienstleistung fachdisziplinübergreifend darzustellen. Ferner werden die Charakteristika der Dienstleistungsentwicklung bei der Definition des Partialmodells *Anforderungen* berücksichtigt.

A3: Methodische Auseinandersetzung mit Entwicklungsaufträgen

Die entwickelte Systematik stellt die Erarbeitung von Entwicklungsaufträgen in den Kontext eines methodischen Vorgehens. Für eine systematische Erarbeitung von mo-

dellbasierten Entwicklungsaufträgen werden eine Modellierungssprache, eine Methode sowie eine Werkzeugunterstützung zur Verfügung gestellt.

A4: Abbildung von Informationen für ein umfassendes Verständnis der Marktleistung

Für ein umfassendes Verständnis der Marktleistung stellt die Systematik zusätzlich zu den etablierten Bestandteilen des Entwicklungsauftrags, wie Anforderungen und organisatorischen Rahmenbedingungen, auch die erarbeiteten Resultate der Strategischen Planung, wie z.B. Zukunftswissen zur Verfügung. Die Bereitstellung der wesentlichen Informationen erfolgt mithilfe von 15 Grundkonstrukten die sich den drei Aspekten Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung zuordnen lassen.

A5: Verfügbarkeit von Hintergrundinformationen

Die Darstellung von Hintergrundinformationen sowie des Ursachen-Wirkungs-Gefüges erfolgt durch die Verknüpfung der Anforderungen mit den Konstrukten der Aspekte Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung und die Vernetzung der Aspekte bzw. ihrer Bestandteile untereinander. Die abstrakte Darstellung von Wirkzusammenhängen erlaubt es, die Komplexität von Entscheidungen für Dritte nachvollziehbar zu gestalten. Hierdurch können Fragen nach Beweggründen oder gar Sinnhaftigkeit minimiert bzw. beantwortet werden. Ferner sind Hintergrundinformationen entscheidend für die Akzeptanz des Entwicklungsauftrags.

A6: Bereitstellung organisatorischer Rahmenbedingungen

Für die Planung und Abwicklung des zugrundeliegenden Projekts stellt die entwickelte Systematik organisatorische Rahmenbedingungen zur Verfügung. Das umfasst sowohl die Darstellung von Tätigkeiten, Aufgaben und Bedingungen, die zur Umsetzung des Entwicklungsauftrags erforderlich sind sowie Informationen zum Budget. Darüber hinaus werden auch Informationen zur Identifikation des Entwicklungsdokuments, wie z.B. Identifikationsnummer bereitgestellt.

A7: Modellbasierte Abbildung des Entwicklungsauftrags

Die bereichsübergreifende Beschreibung des Entwicklungsauftrags umfasst die Aspekte Unternehmensumfeld, Unternehmen, Marktleistung und Anforderungen. Die rechnerinterne Repräsentation der Aspekte führt zu den gleichnamigen Partialmodellen. Das System kohärenter Partialmodelle bildet den modellbasierten Entwicklungsauftrag. Er dient als Kommunikationsgrundlage zwischen Strategischer Planung und Entwicklung und fungiert im weiteren Verlauf der Entwicklung als Bindeglied zwischen den beiden Bereichen. Auf diese Weise wird dem integrativen Charakter der Marktleistungsentstehung Rechnung getragen.

A8: Intuitives Verständnis durch eingängige grafische Notation

Die gewählte grafische Notation nutzt piktografische Bilder zur Darstellung der verschiedenen Konstrukte. Piktogramme reduzieren die kognitive Belastung und sind disziplinübergreifend verständlich. Sie folgen den Grundsätzen der ordnungsgemäßen Modellvisualisierung. Das ermöglicht ein intuitives Verständnis der Modellierungssprache – die Einarbeitungszeit kann auf ein Minimum reduziert werden.

A9: Benutzungsfreundliche Anwendung

Die entwickelte Systematik zeichnet sich durch eine hohe Benutzungsfreundlichkeit aus: Dem Anwender werden Grundbausteine zur Modellierung zur Verfügung gestellt; dabei ist die Vielfalt der verschiedenen Konstrukte je Partialmodell gering. Die Beziehungen zwischen den Konstrukten werden durch Linien dargestellt. Die Anwendung der Systematik wird sowohl durch ein Karten-Set für Workshops als auch eine Software-Lösung unterstützt.

Die entwickelte Systematik zur Erarbeitung modelbasierter Entwicklungsaufträge erfüllt somit die an sie gestellten Anforderungen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die dynamische Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien führt zu neuen Anforderungen in der Entwicklung mechatronischer Systeme und komplementärer Dienstleistungen. Diese Marktleistungen sind Ausgangspunkt für eine nachhaltig Erfolg versprechende Positionierung im Wettbewerb; ihre integrative Planung und Entwicklung ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor. **Kapitel 1** zeigt: Vor dem Hintergrund einer zielorientierten Zusammenarbeit zwischen Strategischer Planung und Entwicklung wird dem Entwicklungsauftrag eine besondere Rolle zuteil. Systematisch erarbeitet konsolidiert er die wesentlichen Informationen sowie Informationsquellen der Strategischen Planung und verknüpft sie mit den Informationsbedarfen der Entwickler. Somit repräsentiert er das wesentliche Kommunikationsinstrument zwischen beiden Bereichen. Trotz seiner hohen Bedeutung bleibt das Themenfeld Entwicklungsauftrag mit der systematischen Verknüpfung von Strategischer Planung und Entwicklung von Forschung und Praxis weitestgehend unbeachtet. Es besteht der Bedarf an einer Systematik, die eine bereichsübergreifende Kommunikation in Form einer gemeinsamen Sprache unterstützt, ein einheitliches Verständnis der Marktleistung schafft und die notwendigen Hintergrundinformationen bereitstellt.

In **Kapitel 2** wurden vielfältige Herausforderungen bei der Entwicklung insbesondere moderner mechatronischer Systeme ausgearbeitet. So eröffnet die Multidisziplinarität und absehbare Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien zwar eine Vielzahl an neuen Geschäftsmöglichkeiten – die Komplexität der Entwicklung steigt jedoch um ein Vielfaches. Ferner gewinnt in diesem Kontext die ganzheitliche Betrachtung der Marktleistung an Bedeutung. Um dem Innovationsdruck standhalten zu können, muss die Innovation zunehmend über das Produkt hinausgehen. Nicht zuletzt forciert auch der steigende Effizienzdruck eine bessere Vernetzung von Planungs- und Entwicklungstätigkeiten. Vor diesem Hintergrund durchgeführte empirische Untersuchungen bestätigen die Annahmen aus Praxis und zeigen den Bedarf nach einer gemeinsamen Sprache auf. Bei der Weiterentwicklung des Entwicklungsauftrags sind zwei Stoßrichtungen zu betrachten. Einerseits ist eine ganzheitliche Abbildung der entwicklungsrelevanten Informationen erforderlich: Es gilt zusätzlich organisatorische Rahmenbedingungen und strategischen Begleitinformationen bereitzustellen, wie z.B. das Nutzenversprechen oder Zukunftswissen. Weiterhin müssen zu Anforderungen Hintergrundinformationen bereitgestellt werden. Andererseits ist der Entwicklungsauftrag als Kommunikations- und Kooperationsplattform auszulegen. Hierzu ist eine modellbasierte Abbildung mit einer eingängigen grafischen Notation erforderlich. In diesem Zuge muss die Benutzungsfreundlichkeit im Vordergrund stehen. Die Analyse des Stands der Technik in **Kapitel 3** verdeutlicht, dass keiner der untersuchten Ansätze alle Anforderungen erfüllt. Gleichwohl können ausgewählte Ansätze einen Beitrag leisten.

Auf Basis des resultierenden Handlungsbedarfs wurde in **Kapitel 4** eine Systematik zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge vorgestellt. Die Systematik besteht

aus einer Modellierungssprache, einer Methode sowie einer Werkzeugunterstützung. Das Vorgehen setzt in der Strategischen Planung an. Unter Zuhilfenahme der entwickelten Modellierungssprache werden die wesentlichen Erkenntnisse der Aufgabenbereiche Potential- und Produktfindung, Geschäftsplanung sowie der Konzipierung der Marktleistung in Form vordefinierter Grundkonstrukte erfasst. Die insgesamt 15 verschiedenen Grundkonstrukte erlauben eine Abbildung aller zuvor als entwicklungsrelevant klassifizierten Informationen in den drei Partialmodellen Unternehmensumfeld, Unternehmen und Marktleistung. Zusätzlich erfolgt eine Verknüpfung aller Grundkonstrukte mit den Anforderungen im gleichnamigen vierten Partialmodell. Die Vernetzung mit den jeweils zugrundeliegenden Informationen (dem Informationsursprung) der Grundkonstrukte bleibt bestehen. Durch eine Verknüpfung der Grundkonstrukte untereinander mittels vier verschiedener Beziehungstypen entsteht eine ganzheitliche, modellbasierte Abbildung des Entwicklungsauftrags.

Der Systematik liegt dabei eine Methode zugrunde, deren idealtypisches Vorgehensmodell sich in vier Phasen gliedert. Eingangs erfolgt mittels der Modellierungssprache die Erarbeitung eines initialen Entwicklungsauftrags. Hierzu wird ein Leitfaden zur Modellbildung vorgeschlagen, der einem zyklischen Ablauf folgt. Das im Workshop erarbeitete initiale Modell wird in der zweiten Phase formalisiert, auch hier wird dem Leitfaden gefolgt. In der dritten Phase erfolgt ein Review des formalisierten Modells. Ist im Projektteam Konsens erreicht, beginnt die vierte Phase. Sie dient der offiziellen Entwicklungsfreigabe durch die Geschäftsführung. Durch die methodische Bildung von Sichten auf das Modell wird die zielgruppen- und anwenderspezifische Analyse gefördert.

Die Systematik wird durch zwei Werkzeuge unterstützt: Ein Workshop-Set in Form von Karten mit den entwickelten Konstrukten fördert die Zusammenarbeit in der ersten Phase des Vorgehensmodells. Darüber hinaus wurde eine Software-Lösung konzipiert und in Microsoft Visio prototypisch realisiert. Sie dient der Formalisierung des Modells und erlaubt den schnellen Wechsel zwischen verschiedenen Sichten anhand des digitalen Modells.

Abschnitt 4.6 hat gezeigt, dass die erarbeitete Systematik alle an sie gestellten Anforderungen erfüllt. Die **Praxistauglichkeit** wurde anhand eines Projekts zur Erarbeitung modellbasierter Entwicklungsaufträge bei der Weidmüller-Gruppe, einem Hersteller der elektrischen Verbindungstechnik und Elektronik gezeigt. Darüber hinaus wurden im Zuge des BMBF-Verbundprojekts ADISTRA (Adaptives Instrumentarium für die Strategische Produktplanung) mehrere analoge Projekte durchgeführt, deren Ergebnisse die Praxistauglichkeit stützen [PGO+16, S. 82ff.], [WG16, S. 58ff.].

Obwohl alle Anforderungen vollumfänglich erfüllt worden sind, existiert auch **zukünftig Forschungsbedarf** im Kontext modellbasierter Entwicklungsaufträge. Diese sind nachfolgend nach kurz-, mittel- und langfristigen Weiterentwicklungspotentialen gestaffelt. **Kurzfristig** könnte dem Grundgedanken der zunehmenden Digitalisierung folgend

eine Weiterentwicklung des Papier-basierten Workshops Erfolg versprechend sein. Hier bieten sich zwei Optionen an: Einerseits kann durch die Einführung von Markierungen wie sie im Rahmen von Augmented Reality eingesetzt werden auf den Karten des Workshop Sets eine kamerabasierte Erkennung ermöglicht werden. Alternativ dazu bietet sich eine Weiterentwicklung der Visio-basierten Software-Lösung an, so dass der native Einsatz auf einem Touchscreen gefördert wird. Auf diesem Weg könnte die Phase der Formalisierung weitestgehend minimiert werden. Hier werden auch künftige Visio-Versionen einen Beitrag leisten [Mic16-01]. Darüber hinaus ist denkbar, dass sich durch weitere Anwendungen der Systematik Muster von Entwicklungsaufträgen herauskristallisieren. Analog zu Lösungs- und Geschäftsmodellmustern und durch Verknüpfung der musterbasierten Arbeiten sind weitere Effizienz- und Innovationspotentiale denkbar [Ana15], [Dum11], [GFC13].

Mittelfristig wird insbesondere vor dem Hintergrund der kurzfristigen Weiterentwicklungspotentiale zur schnelleren Formalisierung eine automatisierte Konsistenzanalyse der Modelle einen erheblichen Beitrag zur Leistungsfähigkeit der Gesamtsystematik liefern. Die Konsistenzanalyse könnte gleichzeitig fehlende Verbindungen (z.B. Ausgaben an Partner für erbrachte Leistungen) ergänzen. Ferner muss weiterhin das Geschehen in den Planungs- und Entwicklungsabteilungen betrachtet werden. Vor dem Hintergrund rasanter Weiterentwicklungen mechatronischer Systeme sind veränderte Informationsbedarfe wahrscheinlich. Hierzu sollten die der Systematik zugrundeliegenden empirischen Untersuchungen erneut evaluiert werden.

Langfristig erscheint die Einführung eines automatischen Umfeldmonitorings sinnvoll. Hierdurch könnte ein geeignetes Prämissen-Controlling veränderte Marktbedingungen frühzeitig erkennen und entsprechende Konsequenzen für das Unternehmen und die Marktleistung aufzeigen. Darüber hinaus ließe sich auf diesem Wege für Produkte ein Abschwung im Produktlebenszyklus erkennen, da aktuelle Marktanforderungen und ursprüngliche Entwicklungsannahmen nicht mehr deckungsgleich sind.

6 Abkürzungsverzeichnis

BEN	Business Engineering Navigator
BRD	Bundesrepublik Deutschland
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer-Aided Design
CD	Compact Disc
CONSENS	Conceptual Design Specification Technique for the Engineering of Complex Systems
CPS	Cyber-Physical Systems
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
et al.	et alii
etc.	et cetera
f.	folgend
ff.	fortfolgende
GB	Geschäftsbereich
GF	Geschäftsführung
ggf.	gegebenenfalls
GoMV	Grundsätzen der ordnungsgemäßen Modell-Visualisierung
HLB	Hybride Leistungsbündel
HVC	House of Value Creation
IEC	International Electrotechnical Commission
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
INCOSE	International Council on Systems Engineering
Inf.	Information
inkl.	inklusive
insb.	insbesondere

IPE	Integrierten Produkterstellung
iPeM	integrierte Produktentstehungs-Modell
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
ITS	Intelligente Technische Systeme
Komm.	Kommunikation
Koop.	Kooperation
KS	Kundensegment
max.	maximal
MBSE	Model-Based Systems Engineering
MS	Microsoft
o.ä.	oder ähnliches
OMEGA	Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse
OMG	Object Management Group
OOSEM	Object Oriented Systems Engineering Method
PG	Produktgruppe
PLM	Product Lifecycle Management
resp.	respektive
RoI	Return on Investment
RUP	Rational Unified Process for Systems Engineering
s.u.	siehe unten
SE	Systems Engineering
sog.	sogenannte
SOP	Start of Production
SW	Software
SysML	Systems Modeling Language
SYSMOD	Systems Modeling Toolbox
u. a.	unter anderem

u.v.m.	und vieles mehr
UML	Unified Modeling Language
USA	United States of America
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDML	Value Delivery Modeling Language
vgl.	vergleiche
vs.	versus
WLAN	Wireless Local Area Network
WOL	Web Ontology Language
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

7 Literaturverzeichnis

- [ABM10] ALBERS, A.; BRAUN, A.; MUSCHLIK, S.: Uniqueness and the Multiple Fractal Character of Product Engineering Processes. In: Heisig, P.; Clarckson, P.K.; Vanja, S. (Hrsg.): Modeling and Management of Engineering Processes. Springer Verlag, London, 2010
- [aca14] ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (HRSG.): Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Berlin, 2014
- [AG12] ALBERS, A.; GAUSEMEIER, J.: Von der fachdisziplinerorientierten Produktentwicklung zu vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung. In: Anderl, R.; Eigner, M.; Sendler, U.; Stark, R. (Hrsg.): Smart Engineering – Interdisziplinäre Produktentstehung. Acatech DISKUSSION, Berlin, 2012
- [Alb10] ALBERS, A.: Five Hypothesis about Engineering Processes and their Consequences. In: Proceedings of the TMCE 2010. April 12-16, 2010, Ancona, Italy, 2010
- [All05] ALLWEYER, T.: Geschäftsprozessmanagement: Strategie, Entwurf, Implementierung, Controlling. W3L-Verlag, Herdecke, Bochum, 2005
- [Alt12a] ALT, O.: Modellbasierte Systementwicklung mit SysML. Carl Hanser Verlag, München, 2012
- [Alt12b] ALT, O.: Bessere Systemspezifikationen durch Einsatz von SysML-Wirkkettenarchitekturen. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering. Carl Hanser Verlag, München, 2012
- [Ana15] ANACKER, H.: Instrumentarium für einen lösungsmusterbasierten Entwurf fortgeschrittener mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 354, Paderborn, 2015
- [AT03] AFUAH, A.; TUCCI, C.: Internet business models and strategies – Text and cases. McGraw Hill/Irwin, New York, 2003
- [Bal09] BALZERT, H.: Lehrbuch der Software-Technik: Basiskonzepte und Requirements Engineering. Spektrum, Heidelberg, 3. Auflage, 2009
- [BBE10] BACH, N.; BUCHHOLZ, W.; EICHLER, B.: Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke – Begriffliche und konzeptionelle Grundlagen. In: Bach, N.; Buchholz, W.; Eichler, B. (Hrsg.): Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2. Auflage, 2010
- [BCO+11a] BARQUET, A.; CUNHA, V.; OLIVEIRA, M.; ROZENFELD, H.: Business models for product-service systems – An exploratory study in a machine tool manufacturer. In: Proceedings of GCSM 2011, 9th Global Conference of Sustainable Manufacturing – Shaping Global Value Creation, September 28-30, 2011, Sankt Petersburg, Russia, 2011, S. 196-201
- [BD13] BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE E.V.; DEUTSCHE TELEKOM STIFTUNG (Hrsg.): Innovationsindikator Deutschland 2013. BDI, Berlin, Bonn, 2013
- [BD14] BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE E.V.; DEUTSCHE TELEKOM STIFTUNG (Hrsg.): Innovationsindikator Deutschland 2014. BDI, Berlin, Bonn, 2014
- [BD16] BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE E.V.; DEUTSCHE TELEKOM STIFTUNG (Hrsg.): Digitalisierung im Mittelstand zum Erfolg führen. Positionspapier – D 0771, Berlin, Bonn, 2016

- [BD95] BRÖHL, A.-P.; DRÖSCHEL, W. (Hrsg.): Das V-Modell – Der Standard für die Softwareentwicklung mit Praxisleitfaden. Oldenbourg Verlag, München, 1995
- [Ber72] VON BERTALANFFY, L.: Vorläufer und Begründer der Systemtheorie. In: von Bertalanffy, L.; Cattell, R. B.; Dreger, W.; Ehrmann, H. W.; Fuchs-Wegner, G.; Haseloff, O. W.; Hasenstein, B.; Irle, M.; Kaplan, M. A.; Keidel, W. D.; Luhmann, N.; Meffert, M.; Menges, G.; Menke-Glückert, P.; Rapoport, A.; Scheuch, E.; Senghaas, D.: Systemtheorie. Colloquium Verlag Otto H. Hess, Berlin, 1972, S. 17-28
- [BF14] BITKOM – BUNDESVERBAND INFORMATIONSWIRTSCHAFT, TELEKOMMUNIKATION UND NEUE MEDIEN E. V.; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION IAO (Hrsg.): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland – Studie. Berlin, Stuttgart, 2014
- [BHV05] BOUWMAN, H.; HAAKER, T.; VOS, H.: Designing business models: A practical and holistic approach. Telematica Institute, Enschede, 2005
- [Ble71] BLEICHER, K.: Die Organisation der Unternehmung in systemorientierter Sicht. In: ZfO – Zeitschrift Führung + Organisation. Jg. 40, Nr. 4, 1971
- [Blo10] BLOCKUS, M.-O.: Komplexität in Dienstleistungsunternehmen – Komplexitätsformen, Kosten- und Nutzenwirkung, empirische Befunde und Managementimplikationen. Springer Verlag, Wiesbaden, 2010
- [BMBF06] BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (Hrsg.): Die Hightech-Strategie für Deutschland. Eigene Produktion, Bonn, Berlin, 2006
- [Bra07] BRAUN, C.: Modellierung der Unternehmensarchitektur. Dissertation, Universität St. Gallen Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwesen (HSG). Logos Verlag, Nr. 3285 Berlin, 2007
- [Bro03] BRONNER, A.: Handbuch der Rationalisierung. expert Verlag, Renningen, 2., neu bearbeitete Auflage, 2003
- [BS05] BENKENSTEIN, M.; VON STENLIN, A.: Prozessorientiertes Qualitätscontrolling von Dienstleistungen. In: Bruhn, M.; Strauss, B.: Dienstleistungscontrolling – Forum Dienstleistungsmanagement. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2005
- [Bun10] BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF): Ideen. Innovation. Wachstum – Hightech-Strategie 2020 für Deutschland. Bonn, Berlin, 2010
- [Che81] CHECKLAND, P.: Systems Thinking, Systems Practise. John Wiley & Sons Ltd., London, 1981
- [Coy96] COYLE, R. G.: System Dynamics Modelling – A Practical Approach. Chapman & Hall, London, 1996
- [Dae76] DAENZER, W.F.; HUBER, F.(Hrsg.): Systems Engineering – Methodik und Praxis. Zürich, Industrielle Organisation, Zürich, 1. Auflage, 1976
- [DDG+14] DOROCIAC, R.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; IWANEK, P.: Specification Technique CONSENS for the Description of Selfoptimizing Systems. In: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W. (Hrsg.): Design Methodology for Intelligent Technical Systems. Springer, Berlin, 2014
- [DHK+09] DELL’AERE, A.; HIRSCH, M.; KLÖPPER, B.; KOESTER, M.; KRUPP, A.; KRÜGER, M.; MÜLLER, T.; OBERTHÜR, S.; POOK, S.; PRIESTERJAHN, C.; ROMAUS, C.; SSSCHMIDT, A.; SONDERMANN-WÖLKE, C.; TICHY, M.; VÖCKING, H.; ZIMMER, D.: Verlässlichkeit selbstoptimierender Systeme - Potentiale nutzen und Risiken vermeiden. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 235, Paderborn, 2009

- [DL04] DEELMANN, T.; LOOS, P.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellvisualisierung. In: Rumpe, B.; Hesse, W. (Hrsg.): Modellierung 2004 – Proceedings zur Tagung. 23.-26. März 2004, Marburg, Köllen Druck+Verlag, Bonn, 2004, S. 289-290
- [DOP01] DUBOSSON-TORBAY, M.; OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.: E-business model design, classification and measurements. Thunderbird International Business Review, Volume 44, Issue 1, 2002, S. 5-23
- [DP09] DENK, R.; PFNEISSL, T.: Komplexitätsmanagement. Linde Verlag, Wien, 2009
- [Dre84] DREYFUSS, H.: Symbol Sourcebook: An Authoritative Guide to International Graphic Symbols (Graphic Design). John Wiley & Sons Inc, 1984
- [Dud16a-ol] DUDEN VERLAG (Hrsg.): System. Unter: <http://www.duden.de/rechtschreibung/System>, 21. April 2016
- [Dud16b-ol] DUDEN VERLAG (Hrsg.): Wettbewerb. Unter: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Wettbewerb>, 21. April 2016
- [Dud16c-ol] DUDEN VERLAG (Hrsg.): Risiko. Unter: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Risiko>, 21. April 2016
- [Dum10] DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn, 2010
- [Dun72] DUNCAN, R.-B.: Characteristics of Organizational Environment and Perceived Environmental Uncertainty. In: Administrative Science Quarterly, Vol. 17, No. 3, 1972
- [Ebe12] EBERT, C.: Systematisches Requirements Engineering – Anforderungen ermitteln, spezifizieren, analysieren und verwalten. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2012
- [Ebe15] EBEL, B.: Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft. Institut für Produktentwicklung (IPEK), Band 85, München, 2015
- [Ehr03] EHRENSPIEL, K.: Integrierte Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, 2003
- [Ehr07] EHRENSPIEL, K.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. Carl Hanser Verlag, München, 3. aktualisierte Auflage, 2007
- [ELW+06] EVERSHEIM, W.; LIESTMANN, V.; Winkelmann, K.; Anwendungspotenziale ingenieurwissenschaftlicher Methoden für das Service Engineering. In: Bullinger, H.-J.; Sheer, A.-W.: Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage, 2006
- [EM13] EHRENSPIEL, K.; MEERKAMM, H.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 5. Auflage, 2013
- [Eng16-ol] ENGELS, G.: Modellierungssprache. In: Gronau, N.; Becker, J.; Kurbel, K.; Sinz, E.; Suhl, L.: Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik Online Lexikon. Unter: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologienmethoden/Sprache/Modellierungssprache>, letzter Zugriff: 11. April 2016
- [EO96] EDVARSSON, B.; OLSSON, J.: Key concepts for new service development. The Service Industries Journal, Vol. 16, No. 2, 1996, S. 140-164
- [Epp79] EPPLE, K.: Theorie und Praxis der Systemanalyse – Eine empirische Studie zur Überprüfung der Relevanz und Praktikabilität des Systemansatzes. Dissertation, Universität Konstanz, Minerva Publikation Saur GmbH, München, 1979

- [Est08] ESTEFAN, J. A.: Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies. In: INCOSE MBSE Initiative, California, 2008
- [Eve03] EVERSHEIM, W.: Innovationsmanagement für technische Produkte. Springer Verlag, Berlin, 2003
- [Fah95] FAHRWINKEL, U.: Methode zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen zur Unterstützung des Business Process Reengineering. Dissertation, Fachbereich für Maschinentechnik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 1, Paderborn 1995
- [FG13] FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Einleitung. In: Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013
- [FGD+07] FRANK, U.; GAUSEMEIER, J.; DANGELMAIER, W.; SCHMIDT, A.; ZIMMER, D.; KLÖPPER, B.: Using Active Patterns for the Conceptual Design of Self-Optimizing Systems Exemplified by an Air Gap Adjustment System. In: 2007 ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, September 4-7, Las Vegas, USA, 2007, pp. 935-944
- [FGG+13] FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.; GÖPFERT, J.; TRETOW, G.: Technische Systeme. In: Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 8. Auflage, 2013, S. 237-279
- [FGN+13] FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.; NAGARAJAH, A.; PAHL, G.; BEITZ, W.; WARTZACK, S.: Vorgehen bei einzelnen Schritten des Produktentstehungsprozesses. In: Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 8. Auflage, 2013, S. 291-410
- [FL03] FORZI, T.; LAING, P.: E-Business modeling. In: Albalooshi, F.: Virtual education – cases in learning & teaching technologies. IRM Press, Hershey PA, 2003
- [FMS12] FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R.: A practical guide to SysML – The systems modeling language. Morgan Kaufmann, Waltham, 2. Auflage, 2012
- [For69] FORRESTER, J. W.: Industrial Dynamics. The M.I.T. Press, Cambridge, London, 6th Edition, 1969
- [For72] FORRESTER, J. W.: Grundzüge einer Systemtheorie (Principles of Systems). Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden, 1972
- [For73] FORRESTER, J. W.: Urban Dynamics. The M.I.T. Press, Cambridge, London, 4th Edition, 1973
- [Fra06] FRANK, U.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 175, Paderborn, 2006
- [Fra16-ol] FRAUNHOFER IEM, EINRICHTUNG FÜR ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK: SE LIVE LAB. Unter: <http://selive.de/>, letzter Zugriff: 29. Februar 2016
- [Fra99] FRANK, U.: Memo: Visual Languages for Enterprise Modelling. Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität Koblenz-Landau, Koblenz, 1999.
- [FSS01] FINK, A.; SCHLAKE, O.; SIEBE, A.: Erfolg durch Szenario Management – Prinzip und Werkzeuge der strategischen Vorausschau. Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2001
- [Fuc02] FUCHS, E.: Systems Engineering. In: Böhm, R.; Fuchs, E.: System-Entwicklung in der Wirtschaftsinformatik. Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich, 5. vollständig überarbeitete Auflage, 2002

- [Gab10] GABLER KOMPAKT-LEXIKON: Wirtschaft, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010
- [GAC+13] GAUSEMEIER, J.; ANACKER, H.; CZAJA, A.; WABMANN, H.; DUMITRESCU, R.: Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): Entwurf mechatronischer Systeme – Grundlagen, Methoden und Werkzeuge – Adaption, Selbstoptimierung und Verlässlichkeit – Integration Mechanik und Elektronik. 9. Paderborner Workshop – Entwurf mechatronischer Systeme, 18. und 19. April 2013, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 310, Paderborn, 2013
- [GAD+14] GAUSEMEIER, J.; AMSHOFF, B.; DÜLME, C.; KAGE, M.: Strategische Planung von Marktleistungen im Kontext Industrie 4.0. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 10. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 20. und 21. November 2014, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 334, Paderborn, 2014
- [Gäl05] GÄLWEILER, A.: Strategische Unternehmensführung. Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2. Auflage, 2005
- [Gau10] GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Frühzeitige Zuverlässigkeitsanalyse mechatronischer Systeme. Carl Hanser Verlag, München, 2010
- [GDJ+16] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; JASPERNETTE, J.; KÜHN, A.; TSEK, H.: Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL. it's OWL Clustermanagement GmbH (Hrsg.), Paderborn, 2016
- [GDS+13] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; STEFFEN, D.; CZAJA, A.; TSCHIRNER, C.; WIEDERKEHR, O.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Studie, Heinz Nixdorf Institut (Hrsg.), 2013
- [GEA16] GAUSEMEIER, J.; ECHTERFELD, J.; AMSHOFF, B.: Strategische Produkt- und Prozessplanung. In: Lindemann, U.: Handbuch Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, 2016
- [GEK01] GAUSEMEIER, J.; EBBESMEYER, P.; KALLMEYER, F.: Produktinnovation – Strategische Planung und Entwicklung für die Produkte von morgen. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2001
- [GF94] GOTEI, O.; FINKELSTEIN, C.W.: An analysis of the requirements traceability problem. IEEE International Conference on Requirements Engineering. 18-22 April Colorado Springs, CO, U.S.A. 1994, S. 94-101
- [GFC10] GASSMANN, O.; FRIESKE, S.; CSIK, M.: Change a running system – Konstruktionsmethodik für Geschäftsmodellinnovation. In: Gassmann, O.; Sutter, P.: Praxiswissen Innovationsmanagement – Von der Idee zum Markterfolg. Carl Hanser Verlag, München, 2., erweiterte und überarbeitete Auflage, 2010, S. 197-214
- [GFC13] GASSMANN, O.; FRANKENBERGER, K.; CSIK, M.: Geschäftsmodelle entwickeln – 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. Carl Hanser Verlag, München, Wien 2013
- [GFD+08a] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.; DONOTH, J.; KAHL, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil 1). Konstruktion. Ausgabe 7/8 – 2008, Fachaufsatz Mechatronik, VDI-Verlag, Berlin, 2008, S. 59-66
- [GFD+08b] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.; DONOTH, J.; KAHL, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil 2). Konstruktion. Ausgabe 9 – 2008, Fachaufsatz Mechatronik, VDI-Verlag, Berlin, 2008, S. 91-99
- [GOA+16] GAUSEMEIER, J.; OVTCHAROVA, J.; AMSHOFF, B.; ECKELT, D.; ELSTERMANN, M.; PLACZEK, M.; WIEDERKEHR, O. (Hrsg.): Strategische Produktplanung – adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleitungen von morgen, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2016, S. 20-25

- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2., überarbeitete Auflage, 2014
- [GPW09] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.; WENZELMANN, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensplanung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2009
- [GRK13] GAUSEMEIER, J.; RÜBBELKE, R.; KÖSTER, O.: Systematik zur Entwicklung von Geschäftsmodellen in der Produktentstehung. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung – 9. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. Heinz Nixdorf Institut, 5.-6. Dezember 2013, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 318, Paderborn, 2013
- [GS13] GASSMANN, O.; SUTTER, P.: Praxiswissen Innovationsmanagement – Von der Idee zum Markterfolg. Carl Hanser Verlag, München, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, 2013
- [GTS14] GAUSEMEIER, J.; TRÄCHTLER, A.; SCHÄFER, W. (Hrsg.): Semantische Technologien im Entwurf mechatronischer Systeme – Effektiver Austausch von Lösungswissen in Branchenwertschöpfungsketten. Carl Hanser Verlag, München, 2014
- [Gur98] GURR, C. A.: On the Isomorphism, or Lack of It, of Representations. In: Marriott, K.; Meyer, B. (Hrsg.): Visual Language Theory. Springer, New York, 1998, S. 293-305.
- [GW16] GAUSEMEIER, J.; WIEDERKEHR, O.: Im Spannungsfeld zwischen Strategischer Planung und Entwicklung. In: Gausemeier, J.; Ovtcharova, J.; Amshoff, B.; Eckelt, D.; Elstermann, M.; Placzek, M.; Wiederkehr, O. (Hrsg.): Strategische Produktplanung – adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleitungen von morgen, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2016, S. 20-25
- [GZF+07] GAUSEMEIER, J.; ZIMMER, D.; FRANK, U.; POOK, S.; SCHMIDT, A.: Conceptual Design of Self-Optimizing Systems Exemplified by a Magnetic Linear Drive. In: International Conference On Engineering Design, ICED'07, August 28-31, Paris, France, 2007
- [Har99] HARRIS, R. L.: Information Graphics - A Comprehensive Illustrated Reference. Oxford University Press, New York, Oxford 1999.
- [HN09] HOGREBE, F.; NÜTTGENS, M.: Rahmenkonzept zur Messung und Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Modellierungssprachen. In: Nüttgens, M. (Hrsg.): Arbeitsberichte zur Wirtschaftsinformatik der Universität Hamburg, Nr. 7, Hamburg, 2009
- [HR00] HAREL, D.; RUMPE, B.: Modeling Languages: Syntax, Semantics and All That Stuff, Part I: The Basic Stuff. Technocal Report, Weizmann Science Press of Israel, Jerusalem, 2000
- [HS07] HAUSCHILD, J.; SALOMO, S.: Innovationsmanagement, Verlag Franz Vahlen, München, 2007
- [HTF96] HARASHIMA, F.; TOMIZUKA, M.; FUKUDA, T.: Mechatronics – „What Is It, Why, and How?“ – An Editorial. In: IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Volume 1, Nr. 1, 1996
- [Huf00] HUFENBECHER, P.: Die Veränderung von Wettbewerbsregeln als unternehmerische Gestaltungsoption – Ein Bezugsrahmen zur strategischen Analyse. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2000
- [HWF+12] HABERFELLNER, R.; WECK DE, O. L.; FRICKE, E.; VÖSSNER, S.: Systems Engineering – Grundlagen und Anwendung. Orell Füssli, Zürich, 2012
- [IKD+13] IWANEK, P.; KAISER, L.; DUMITRESCU, R.; NYßEN, A.: Fachdisziplinübergreifende Systemmodellierung mechatronischer Systeme mit SysML und CONSENS. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering – Der Weg zu den technischen Systemen von morgen. Stuttgart 6.-8. November 2013, Carl Hanser Verlag, 2013, 337-346

- [INC07-ol] INCOSE (Hrsg.): Systems Engineering Vision 2020, Unter: http://www.incose.org/ProductsPubs/pdf/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf, Oktober 2013
- [INC16-ol] INCOSE (Hrsg.): Systems Engineering Vision 2025. Unter: <http://www.incose.org/AboutSE/sevision>, März 2016
- [Jar98] JARKE, M.: Requirements tracing. In Communications of the ACM, No. 41, 1998, S. 32-36
- [JWK+08] JOHANSSON, L.-O.; WÄRJA, M.; KJELLIN, H.; CARLSSON, S.: Graphical modeling techniques and usefulness in the Model Driven Architecture: Which are the criteria for a “good” Computer independent model? In: Proceedings of the 31st Information Systems Research Seminar in Scandinavia (IRIS31), Åre, 2008
- [Kah13] KAHL, S.: Rahmenwerk für einen selbstoptimierenden Entwicklungsprozess mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 308, Paderborn 2013
- [Kai14] KAISER, L.: Rahmenwerk zur Modellierung einer plausiblen Systemstruktur mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 327, Paderborn, 2014
- [Kai95] KAISER, A.: Integriertes Variantenmanagement mit Hilfe der Prozesskostenrechnung. Dissertation Universität St. Gallen, Nr. 1742, St. Gallen, 1995
- [Kal98] KALLMEYER, F.: Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 42, Paderborn, 1998
- [KFG02] KRALLMANN, H.; FRANK, H.; GRONAU, N.: Systemanalyse im Unternehmen – Vorgehensmodelle, Modellierungsverfahren und Gestaltungsoptionen. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 4., vollständig überarbeitete Auflage, 2002
- [KH99] KLEINALTENKAMP, M.; HAASE, M.: Externe Faktoren in der Theorie der Unternehmung. In: Albach, H.; Eymann, E.; Luhmer, E.; Steven, M.: (Hrsg.): Die Theorie der Unternehmung in Wissenschaft und Praxis, Berlin, 1999, S. 167-194
- [Kic95] KICKERMANN, H.: Rechnergestützte Verarbeitung von Anforderungen im methodischen Konstruktionsprozess. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1995
- [KK02] KARAGIANNIS, D.; KÜHN, H.: Metamodelling Platforms. In Proceedings of the Third International Conference on Electronic Commerce and Web Technologies (EC-Web), Aix-en-Provence, 2002, S. 182-196
- [KK02] KARAGIANNIS, D.; KÜHN, H.: Metamodelling Platforms. Proceedings, 3rd International Conference EC-Web 2002, Aix-en-Provence, 2002, S. 451-464.
- [KK94] KÖLLER, R.; KASTRUP, N.: Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte. Springer Verlag, Berlin, 1994
- [Kla03] KLABUNDE, S.: Wissensmanagement in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung: Best-Practice-Modelle zum Management von Meta-Wissen. 1. Aufl., Deutscher Universitäts Verlag, Wiesbaden, Wiesbaden, 2003
- [Kle00] KLEINALTENKAMP, M.: Blueprinting – Grundlagen des Managements von Dienstleistungen. In: Woratschek, H. (Hrsg.): Neue Aspekte des Dienstleistungsmarketing – Konzepte für Forschung und Praxis. Wiesbaden, 2000, S. 3-28
- [Kle13] KLEINER, S.: Modellbasierte Entwicklung mechatronischer Systeme auf Basis V6 Systems. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.-J.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI Verlagsschriftenreihe, Band 310, 18.-19. April, Paderborn 2013

- [Kle97] KLEINALTENKAMP, M.: Integrativität als Kern einer umfassenden Leistungslehre. In: Backhaus, K.; Günter, B.; Kleinaltenkamp, M.; Plinke, W.; Raffée, H. (Hrsg.): Marktleistung und Wettbewerb. Strategische und operative Perspektiven der marktorientierten Leistungsgestaltung, Wiesbaden, 1997, S. 83-114
- [KLS-ol] KERSTEN, W., LAMMERS, T., SKIRDE, H.: Schlussbericht zum Projekt „Komplexitätsanalyse von Distributionssystemen“ Institut für Logistik und Unternehmensführung an der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Unter: http://www.bvl.de/files/441/481/Sachbericht_16164.pdf (2012). letzter Zugriff: 23. März 2016
- [KÖ07] KAGERMANN, H.; ÖSTERLE, H.: Geschäftsmodelle 2010 – Wie CEOs Unternehmen transformieren. Frankfurter Allgemeine Buch, Frankfurt/Main, 2007
- [Köb95] KÖBLER, G.: Deutsches Etymologisches Wörterbuch. 1995. Unter: <http://www.koeblergerhard.de/derwbhin.html>, letzter Zugriff: 21. April 2016
- [Kön10] KÖNIG, R.: Geschäftsmodellierung – zwischen Methodik und Kunst. markeZin – Karlsruher Marketing Fachschrift, Heft 1, 2010, S. 3-12
- [Kös14] KÖSTER, O.: Systematik zur Entwicklung von Geschäftsmodellen in der Produktentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 324, Paderborn, 2014
- [Kos61] KOSIOL, E.: Modellanalyse als Grundlage unternehmerischer Entscheidungen. In: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung, 13, 1961. S. 318-334
- [KPS+12] KOHLHAMMER, J.; PROFF, D.; STAHL, K.; WIENER, A.: Visual Business Analytics Studie 2012. TDWI Hamburg, Darmstadt, 2012
- [KPW13] KOHLHAMMER, J.; PROFF, D.; WIENER, A.: Visual Business Analytics – Effektiver Zugang zu Daten und Informationen. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2013
- [Kra86] KRAMER, F.: Innovative Produktpolitik, Strategie – Planung – Entwicklung – Einführung. Springer Verlag, Berlin, 1986
- [Kri96] KRIEGER, D. J.: Einführung in die allgemeine Systemtheorie. W. Fink Verlag, München, 1996
- [Kro12] KROGSTIE, J.: Model-Based Development and Evolution of Information Systems – A Quality Approach. Springer-Verlag, London 2012
- [KSW13] KAFFENBERGER, R.; SCHULZE, S.-O.; WEBER, H.: (Hrsg.): INCOSE Systems Engineering Handbuch. V.3.2.2-de, Hanser Verlag, München, Ausgabe Februar, 2013
- [Küh06] KÜHNE, T.: Matters of (Meta-) Modeling. Software and Systems Modeling Volume 5, Number 4, Springer Verlag, Darmstadt, 2006, S. 369-385
- [Kur09] KURPUWEIT, S.; AIER, S.: Ein allgemeiner Ansatz zur Ableitung von Abhängigkeitsanalysen auf Unternehmensarchitekturmodellen. In: Proceedings, 9. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (WI), Wien, 2009, S. 129-138
- [Lam08] LAMBERG, S.: A Conceptual Framework for Business Model Research. In: In Proceedings of 21st Bled eConference eCollaboration – Overcoming Boundaries through Multi-Channel Interaction, June 15-18, 2008, Bled, Slovenia, 2008
- [Lap92] LAPRIE, J. C. (EDS.): Dependability: basic concepts and terminology in English, French, German, Italian and Japanese [IFIP WG 10.4, Dependable Computing and Fault Tolerance]. Springer Verlag, Volume 5, Wien, 1992

- [LAR+04] LAPRIE, J. C.; AVIZIENIS, A.; RANDELL, B.; LANDWEHR, C.: Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, Volume 1, Number 1, IEEE Computer Society, 2004
- [LCW+14] LINDEMANN, U.; CHUCHOLOWSKI, N.; BEHNCKE, F.: Änderungsmanagement in Entwicklungsprozessen. In: Vogel-Heuser, B.; Lindemann, U.; Reinhart, G. (Hrsg.): Innovationsprozesse zyklensorientiert managen – Verzahnte Entwicklung von Produkt-Service Systemen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014, S. 123-154
- [Lep07] LEPPÄNEN, M.: Towards an Abstraction Ontology. In: DUŽI, M. (Hrsg.): Information Modelling and Knowledge Bases XVIII. IOS Press, Amsterdam 2007, S. 166-185.
- [LF97] LUCZAK, H.; FRICKER, A.: Komplexitätsmanagement – ein Mittel der strategischen Unternehmensgestaltung. In: Schuh, G., Wiendahl, H.P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse?. Springer Verlag, Berlin, 1997, S. 309-323
- [LHB03] LIDWELL, W.; HOLDEN, K.; BUTLER, J.: Design – Die 100 Prinzipien für erfolgreiche Gestaltung. Stiebler Verlag, München, 2003
- [Lin05] LINDEMANN, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005
- [Lin09] LINDEMANN, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Springer Verlag, Berlin, 3. Auflage, 2009
- [LMB08] LINDEMANN, U.; MAURER, M.; BRAUN, T.: Structural Complexity Management – An Approach for the Field of Product Design. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008
- [Mal08] MALIK, F.: Strategie des Managements komplexer Systeme. Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme. 10. Auflage, Haupt Verlag, Bern, 10. Auflage, 2008
- [Mau07] MAURER, M.: Structural Awareness in Complex Product Design. Dissertation. Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität. Verlag Dr. Hut, München, 2007
- [MB07] MÜLLER, P.; BLESSING, L.: Entwicklungsprozesse hybrider Leistungsbündel – Erweiterte Handlungsraum für den HLB-Entwickler. Werkstatttechnik online, 7-8/2007, S. 516-521
- [McF69] MCFARLAND, A.S.: Power and leadership in Pluralist Systems. Stanford University Press, Stanford, 1969
- [Mei04] MEIER, H.: Dienstleistungsorientierte Geschäftsmodelle im Maschinen- und Anlagenbau – Vom Basisangebot bis zum Betreibermodell. Springer Verlag, Berlin, 2004
- [Mic16-ol] MICROSOFT (Hrsg.): Visio auf mobilen Geräten bzw. Geräten mit Touch-Funktion. Unter: <https://support.office.com/de-de/article/Visio-auf-mobilen-Gerten-mit-Touch-Funktion-5960fd6f-d230-4ee4-902b-a9b6a734d3f8>, 18. April 2016
- [Moo07] MOODY, D. L.: What Makes a Good Diagram? Improving the Cognitive Effectiveness of Diagrams in IS Development. In: Magyar, G.; Knapp, G.; Wojtkowski, W.G.; Zupančič, J.: Advances in information systems development – New methods and practice for the networked society. Volume 2, Springer, New York, 2007, p. 481-492
- [Moo09] MOODY, D.L.: The “Physics” of Notations: Toward a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering. IEEE Transactions on Software Engineering 6/2009, S. 756–779
- [MSA05] MORRIS, M.; SCHINDEHUTTE, M.; ALLEN, J.: The entrepreneur’s business model – toward a unified perspective. Journal of Business Research, Volume 58, Issue 6, 2005, S. 726-735

- [MUK05] MEIER, H.; UHLMANN, E.; KORTMANN, D.: Hybride Leistungsbündel – Nutzenorientiertes Produktverständnis durch interferierende Sach- und Dienstleistungen. Werkstatttechnik online, 95. Jahrgang, Ausgabe 7, 2005, S. 528-532
- [Mül00] MÜLLER, M.: Modularisierung von Produkten – Entwicklungszeiten und Kosten reduzieren. Carl Hanser Verlag, München, 2000
- [Mül13] MÜLLER, P.: Integrated Engineering of Products and Services – Layer-based Development Methodology for Product-Services Systems. Dissertation, Technische Universität Berlin, Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme, Berlin, 2013
- [Mül90] MÜLLER, J.: Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften – Systematik, Heuristik, Kreativität. Springer-Verlag, Heidelberg, 1990
- [Nag11] NAGARAJAH, A.: Selbstorganisierende Merkmalskarten für eine anforderungsbasierte Produktvariantenauswahl. Shaker-Verlag, Aachen, 2011
- [Neg06] NEGELE, H.: Systemtechnische Methodik zur ganzheitlichen Modellierung am Beispiel der integrierten Produktentwicklung. Herbert Utz Verlag, München, 2. Auflage, 2006
- [Oeh16] OEHMEN, J.: Risiko- und Changemanagement. In: Lindemann, U.: Handbuch Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, 2016
- [OMG12] OBJEKT MANAGEMENT GROUP, Inc. (OMG): OMG Systems Modeling Language (OMG SysML™). Version 1.3 with change bars. OMG Document Number: formal/2012-06-01, Unter: <http://www.omg.org/spec/SysML/1.3/>, letzter Zugriff 18. April 2016
- [OMG15] OBJEKT MANAGEMENT GROUP, Inc. (OMG): OMG Value Delivery Modeling Language (OMG VDML™). Version 1.0. Unter: <http://www.omg.org/spec/VDML/1.0/>
- [OP10] OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.: Business Model Generation – A handbook for visionaries, game changers, and challengers. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, 2010
- [Pat82] PATZAK, G.: Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982
- [PB97] PAHL, G.; BEITZ, W.: Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung. Springer Verlag, Berlin, 1997
- [PBF+07] PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J., GROTE, K. H.: Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung. Springer Verlag, Berlin, 7. Auflage, 2007
- [PBS+03] PAHL, G.; BEITZ, W. SCHULZ, H.-J.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2003
- [Pei15] PEITZ, C.: Systematik zur Entwicklung einer produktlebenszyklusorientierten Geschäftsmodell-Roadmap. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 337, 2015
- [PG88] PÜMPIN, C.; GEILINGER, U.W.: Strategische Führung – Aufbau strategischer Erfolgspositionen in der Unternehmenspraxis. In: Betriebswirtschaftlichen Institut der Universität Basel (Hrsg.): Die Orientierung. Heft Nr. 88, Schweizerische Volksbank. Bern, 1988
- [PGO+16] PLACZEK, M.; GAUSEMEIER, J.; OVTCHAROVA, J.; ELSTERMANN, M.; WIEDERKEHR, O.: IT-Systeme. In: Gausemeier, J.; Ovtcharova, J.; Amshoff, B.; Eckelt, D.; Elstermann, M.; Placzek, M.; Wiederkehr, O. (Hrsg.): Strategische Produktplanung – adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleitungen von morgen, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2016, S. 76-87

- [PH14] PORTER, M.; HEPPELMANN J.: Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern. In: Harvard Business Manager, manager magazin Verlagsgesellschaft, Hamburg, Dezember 2014, S. 35-60
- [PM06] PETRASCH, R.; MEIMBERG, O.: Model Driven Architecture – Eine praxisorientierte Einführung in die MDA. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2006
- [Poh07] POHL, K.: Requirements Engineering. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2007
- [Poh08] POHL, K.: Requirements Engineering. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2., korrigierte und überarbeitete Auflage, 2008
- [Pon07] PONN, J. C.: Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, Verlag Dr. Hut, München, 2007
- [RD04] RALL, K., DALHÖFER, J.: Komplexität indirekter Prozesse bei der Erstellung variantenreicher Produkte. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Ausgabe 11/2004, Carl Hanser Verlag, München, Ausgabe 11/2004, 2004, S. 623-630
- [Rei93] REISS, M.: Komplexitätsmanagement I. In: WISU, Nr.1, Repetitorium, 1993
- [RFB12] RAMOS, A.; FERREIRA, J.; BARCELO, J.: Model-Based Systems Engineering – An Emerging Approach for Modern Systems. In: Proceedings of IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2012, S. 101 -111
- [RJ02] RAYPORT, J.; JAWORSKI, B.: Cases in e-Commerce. McGraw Hill/Irwin, New York, 2002
- [Rop75] ROPOHL, G.: Systemtechnik – Grundlagen und Anwendung. Carl Hanser Verlag, München, 1975
- [Rot00] ROTH, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer Verlag, Berlin, Band 1 und 3, 2000.
- [Rot01] ROTH, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 2 – Kataloge. Springer Verlag, Berlin, 3. Auflage, 2001
- [RW02] ROGISCH, N.; WYSSUSEK, B.: Systeme und Modelle. In: Krallmann, H.; Frank, H.; Donau, N.: Systemanalyse in Unternehmen: Vorgehensmodelle, Modellierungsverfahren und Gestaltungsoptionen. R. Oldenburg Verlag, München, Wien, Oldenburg, 4. vollständig überarbeitete Auflage, 2002
- [Sal04] SALMAN, R.: Kostenerfassung und Kostenmanagement von Kundenintegrationsprozessen. Gabler Edition Wissenschaft, Wiesbaden, 2004
- [SBA+14] SÜNNETCIOGLU, A.; BRANDENBURG, E.; AURICHT, M.; STARK, R.: Durchgängige Traceability-Prozess im Systems Engineering. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, 12.-14. November 2014, Bremen, 2014, S. 133-152
- [Sch00] SCHERNIKAU, J.: Gestaltung mechatronikgerechter Organisationen in der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Berichte aus der Produktionstechnik, Shaker Verlag, Aachen, 2000
- [Sch03] SCHERF, O.: Komplexität aus systemischer Sicht. Difo-Druck GmbH, München, 2003
- [Sch05] SCHUH, G.: Produktkomplexität managen – Strategien, Methoden, Tools. Carl Hanser Verlag, München, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, 2005
- [Sch10] SCHOENEBERG, K.-P.: Komplexität – Eine Einführung in die Komplexitätsforschung und Auswirkungen auf das Management komplexer Projekte. In: Look, H.; Steppeler, H.

- (Hrsg.): Marktorientierte Problemlösungen im Innovationsmarketing. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010, S. 482 f.
- [Sch12] SCHINDLER, C.: Der allgemeine Konstruktionsprozess – Grundlagen des methodischen Konstruierens. In: Rieg, F.; Steinhilper, R.: Handbuch Konstruktion. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2012
- [Sch13a] SCHALLMO, D. R. A.: Geschäftsmodell-Innovation – Grundlagen, bestehende Ansätze, methodisches Vorgehen und B2B-Geschäftsmodelle. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [Sch13b] SCHALLMO, D. R. A.: Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2013
- [Sch14a] SCHOENEBERG, K.-P.: Komplexität zwischen wissenschaftlichem Forschungsverständnis und praktischer Umsetzung. In: Schoeneberg, K.-P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen – Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Springer Gabler, Wiesbaden, 2014
- [Sch14b] SCHOENEBERG, K.-P.: Komplexität – Einführung in die Komplexitätsforschung und Herausforderungen in der Praxis. In: Schoeneberg, K.-P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen – Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Springer Gabler, Wiesbaden, 2014
- [Sch16-ol] SCHEUERMANN, G.: Informationsvisualisierung, Universität Leipzig. Unter: http://www.informatik.uni-leipzig.de/bsv/homepage/sites/default/files/Infovis_1-intro.pdf, 21. April 2016
- [Sch98] SCHÜTTE, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung – Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998
- [SD06] SPATH, D.; DEMUB, L.: Entwicklung hybrider Produkte – Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In: Bullinger, H.; Scheer, A. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Springer Verlag, Berlin, 2006, S. 463-502
- [SE08] SPUR, G.; EBLER, G.: Innovation, Produktion und Management, Carl Hanser Verlag, München, 2008
- [SF11] SPREMANN, K.; FRICK, R.: Finanzarchitekturen von Geschäftsmodellen. In: Bieger, T.; Knyphausen-Aufseß, D.; Krys, C. (Hrsg.): Innovative Geschäftsmodelle – Konzeptionelle Grundlagen, Gestaltungsfelder und unternehmerische Praxis. Springer Verlag, Berlin, 2011, S. 93-109
- [SFB614-ol] SONDERFORSCHUNGSBEREICH (SFB) 614 „Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus“. Unter: <http://www.sfb614.de>, letzter Zugriff: 21. April 2016
- [SFP+09] SCHAMAI, W.; FRITZSON, P.; PAREDES, C.; POP, A.: Towards Unified System Modeling and Simulation with ModelicaML: Modeling of Executable Behavior Using Graphical Notations. In: Proceedings of the 7th Modelica Conference, Como, Italy, 2009
- [SG08] SCHWANINGER, M.; GROESSER, S. N.: System Dynamics as Model-Based Theory Building. Systems Research and Behavioral Science, Syst. Res. 25, St. Gallen, 2008, pp. 447-465
- [SGB03] SALOMO, S.; GEMÜNDEN, H. G.; BILLING, F.: Dynamisches Schnittstellenmanagement radikaler Innovationsvorhaben. In: Herstatt, C.; Verworn, B. (Hrsg.): Management der frühen Innovationsphasen – Grundlagen, Methoden, Neue Ansätze, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2003, S. 162-194
- [Sho82] SHOSTACK, G.L.: How to Design a Service. In: European Journal of Marketing, Vol. 16, No. 1, 1982

- [Sie99] SIEBER, P.: Virtualität als Kernkompetenzen von Unternehmen. Die Unternehmung – Schweizerische Zeitung für betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, Ausgabe 4, 1999, S. 243-266
- [SM11] SARGUT, G.; MCGRATH, R.G.: Learning to live with Complexity. In: Harvard Business Review, 2011, S. 22-34
- [SM12] STARK, R.; MÜLLER, P.: HLB-Entwicklungsmethodik – generischer Entwicklungsprozess, Generierung von Anforderungen und Absicherung hybrider Leistungsbündel. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen – Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012
- [SMM+12] SIEGLER, A.; MALETZ, M.; MROTZEK, M.; WECK, T.: Generierung eines multiperspektiven Systemmodells in der automobilen Antriebsstrangentwicklung – Herausforderungen und Erfahrungen. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, Carl Hanser Verlag, München, 2012, S. 143-152
- [Spr16a-ol] GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON, Stichwort: Gesetze. In: Springer Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Gesetze, Unter: 35/Archiv/6629/gesetze-v5.html, 21. April 2016
- [Spr16b-ol] GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON, Stichwort: Norm. In: Springer Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Gesetze, Unter: 35/Archiv/54979/norm-v7.html, 21. April 2016
- [Spr16c-ol] GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON, Stichwort: Richtlinie. In: Springer Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Gesetze, Unter: 35/Archiv/13422/richtlinie-rv10.html, 21. April 2016
- [SRC10] SCHALLES, C.; REBSTOCK, M.; CREAGH, J.: Ein generischer Ansatz zur Messung der Benutzerfreundlichkeit von Modellierungssprachen. In: Engels, G. (Hrsg.): Modellierung 2010, GI, Bonn, 2010
- [SSL05] SHAFER, S.; SMITH, H.; LINDER, J.: The power of business models. Business Horizons, Volume 48, 2005, S. 199-207
- [Stä02] STÄHLER, P.: Geschäftsmodelle in der digitalen Ökonomie – Merkmale, Strategien und Auswirkungen. Josef Eul Verlag, Köln, 2. Auflage, 2002
- [Sta73] STACHOWIAK, H.: Allgemeine Modelltheorie. Springer Verlag, New York, Wien, 1973
- [Sta89] STACHOWIAK, H.: Modell. In: Seiffert, H.; Radnitzky, G. (Hrsg.): Handlexikon der Wirtschaftstheorie. Ehrenwirth, München, 1989, S. 219-222
- [TBN+13] TRIER, M.; BOBRIK, A.; NEUMANN, N.; WYSSUSSEK, B.: Systemtheorie und Modell. In: Krallmann, K.; Bobrik, A.; Levina, O. (Hrsg.): Systemanalyse im Unternehmen: Prozessorientierte Methoden der Wirtschaftsinformatik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 6., überarbeitete und erweiterte Auflage, 2013, S. 41-72
- [Uni16-ol] UNITY AG (Hrsg.): Mit OMEGA Geschäftsprozesse optimal gestalten. Unter: <http://www.unity.de/omega-process-modeller/>, letzter Zugriff 21. April 2016
- [UP91] ULRICH, H., PROBST, G.J.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln – Ein Brevier für Führungskräfte. Haupt Verlag, Bern, 3. Auflage, 1991
- [UP95] ULRICH, H.; PROBST, G. J.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln – Ein Brevier für Führungskräfte. Haupt, Bern, 4. Auflage, 1995

- [Vaß15] VABHOLZ, M.: Systematik zur wirtschaftlichkeitsorientierten Konzipierung Intelligenter Technischer Systeme. Dissertation, Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagschriftenreihe, Band 346, Paderborn, 2015
- [VM14] VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN- UND ANLAGENBAU E.V.: McKinsey & Company (Hrsg.): Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau – Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren.
- [WDG14] WIEDERKEHR, O.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Der Entwicklungsauftrag als Basis für eine vorausschauende und systemorientierte Produktentstehung. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O.: Tag des Systems Engineering, 12.-14. November 2014, Bremen, 2014, S. 123-132
- [WDG15] WIEDERKEHR, O.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Systematische Vernetzung von Strategischer Produktplanung und Produktentwicklung. In: Bertram, T.; Corves B.; Janschek K.: Mechatroniktagung 2015, 12./13. März 2015, Dortmund, 2015, S.251-256
- [WE00] WINGER, R.; EDELMANN, D.: Individualisierung oder Segment-of-One-Wettbewerb. In: Von Oettinger, B. (Hrsg.): Das Boston Consulting Group Strategie-Buch. Econ Verlag, Berlin, 8. Auflage, 2000
- [WEG+15] WIEDERKEHR, O.; ECHTERFELD, J.; GAUSEMEIER, J.; LEHNER, A.-C.: Modellorientierte Vernetzung von Strategischer Produktplanung und Produktentwicklung. In: Binz, H.; Bertsch, B.; Bauer, W.; Roth, D. (Hrsg.): Tagungsband zum Stuttgarter Symposium (SSP) 2015, 19. Juni 2015, Stuttgart 2015
- [Wei06] WEILKIENS, T.: Systems Engineering mit SysML/UML – Modellierung, Analyse, Design. dpunkt.verlag, Heidelberg, 1. Auflage, 2006
- [Wei16-ol] WEINER, N.: Der Entwurf von Geschäftsmodellen – Modell, Vorgehensweise und Werkzeug aus THESEUS. Unter: http://www.itbusinessmodels.org/downloads/8_Weiner_pub.pdf, letzter Zugriff: 18. April 2016
- [WG16] WIEDERKEHR, O.; GAUSEMEIER, J.: Systematischer Übergang in die Produktkonzipierung. In: Gausemeier, J.; Ovtcharova, J.; Amshoff, B.; Eckelt, D.; Elstermann, M.; Placzek, M.; Wiederkehr, O. (Hrsg.): Strategische Produktplanung – Adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleitungen von morgen, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2016, S. 58-67
- [Win03] WINTER, R.: Modelle, Techniken und Werkzeuge im Business Engineering. In: Österle, H.; Winter, R. (Hrsg.): Business Engineering - Auf dem Weg zum Unternehmen des Informationszeitalters. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2003, S. 87-118
- [Win11] WINTER, R.: Business Engineering Navigator – Gestaltung und Analyse von Geschäftslösungen "Business-to-IT". Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011
- [Wir11] WIRTZ, B.: Business Model Management – Design - Instrumente - Erfolgsfaktoren von Geschäftsmodellen. Gabler Verlag, 2. Auflage, Wiesbaden, 2011
- [Wir15-ol] WIRTSCHAFTSLEXIKON (HRSG.). Unter: <http://www.wirtschaftslexikon.com/d/strukturmodell/strukturmodell.html>
- [Wir16-ol] WIRTSCHAFTSLEXIKON24 (Hrsg.). Unter: <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/return-on-investment/return-on-investment.html>, März 2016
- [WJ00] WEIBER, R.; JACOB, F.: Kundenbezogene Informationsgewinnung. In: Kleinaltenkamp, M.; Plinke, W. (Hrsg.): Technischer Vertrieb – Grundlagen, Springer Verlag, 2., Auflage, Berlin, 2000, S. 523-612
- [WRW12a] WEINER, N.; RENNER, T.; WEISBECKER, A.: Die Entwicklung von Geschäftsmodellen für Anbieter von Cloud-Anwendungen. In: Spath, D.; Weiner, N.; Renner, T. (Hrsg.): Neue

Geschäftsmodelle für die Cloud entwickeln Methoden, Modelle und Erfahrungen für „Software-as-a-Service“ im Unternehmen. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2012

- [WRW12b] WEINER, N.; RENNER, T.; WEISBECKER, A.: Die Bausteine von Geschäftsmodellen für Anbieter von Cloud-Anwendungen. In: Spath, D.; Weiner, N.; Renner, T. (Hrsg.): Neue Geschäftsmodelle für die Cloud entwickeln Methoden, Modelle und Erfahrungen für „Software-as-a-Service“ im Unternehmen. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2012
- [Zer14] ZERRES, M.: Geleitwort. In: Schoeneberg, K.-P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen – Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden 2014

Normen und Richtlinien

- [DIN2519-1] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN): Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten/Pflichtenheften. Blatt 1. Beuth Verlag, Berlin, 2001
- [DIN69901-5] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN): Projektmanagement; Projektmanagementsysteme – Begriffe. Blatt 5, Beuth Verlag, Berlin, 2009
- [ISO19505-1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO); INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC): Information technology – Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML), Infrastructure, Version 2.4.1. ISO/IEC 19505-1:2012(E), ISO copyright office, Geneva, 2012
- [ISO19505-2] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO); INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC): Information technology – Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML), Superstructure, Version 2.4.1. ISO/IEC 19505- 2:2012(E), ISO copyright office, Geneva, 2012
- [VDI/VDE2224] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI); VEREIN DEUTSCHER ELEKTROTECHNIKER: VDI/VDE-Richtlinie 2224 – Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik. Beuth Verlag, Berlin, Juni, 1994
- [VDI/VDE3694] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI); VEREIN DEUTSCHER ELEKTROTECHNIKER: VDI/VDE-Richtlinie 3694 – Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen, Beuth Verlag, Berlin, April,2014
- [VDI2206] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI): VDI-Richtlinie 2206 – Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Beuth Verlag, Berlin, Juni, 2004
- [VDI2220] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI): VDI RICHTLINIE 2220: Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1980
- [VDI2221] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI): VDI Richtlinie 2221 – Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Richtlinie 2221, Beuth -Verlag, Berlin, 1993
- [VDI2222] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI): Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, Beuth Verlag, Berlin, Juni, 1997

Anhang

Inhaltsverzeichnis	Seite
A1 Entwicklungsrelevante Informationen	A-1
A2 Überblick der Grundkonstrukte	A-5
A2.1 Partialmodell Unternehmensumfeld	A-5
A2.2 Partialmodell Unternehmen.....	A-6
A2.3 Partialmodell Marktleistung	A-7

A1 Entwicklungsrelevante Informationen

Nachfolgend werden die Informationen aus der Befragung zum Thema entwicklungsrelevantes Wissen charakterisiert. Die Befragung ist Gegenstand von Abschnitt 2.4.3.

1) Allgemeine Angaben zum Produkt

Die allgemeinen Angaben liefern die spezifischen Informationen des Projekts bzw. des Produkts. Sie umfassen den Projektnamen, die Projektnummer sowie eine Bezeichnung und kurze Beschreibung des Produkts.

2) Zeitplan

Der Zeitplan definiert vereinbarte Berichtszeitpunkte für die Entwicklung (Meilensteine). Beispiele sind das Ende der Elektronik-Entwicklung.

3) Vorgehensplan

Der Vorgehensplan ist detaillierter als der Zeitplan. Er umfasst die Informationen zur Strukturierung der Entwicklungsabläufe. Es werden die Verantwortlichkeiten dargestellt; also was von welchem Entwickler wann durchgeführt werden muss.

4) Zukunftswissen

Zukunftswissen beschreibt Informationen über (mögliche) zukünftige Entwicklungen im relevanten Umfeld des geplanten Produktes. Die Informationen können in Form von Trendberichten (Zeithorizont <5 Jahre) oder Szenarien (Zeithorizont 10-15 Jahre) übergeben werden.

5) Ursprung der Produktidee

Der Ursprung beschreibt den Auslöser bzw. die Herkunft der Idee, die dem jeweiligen Entwicklungsauftrag zugrunde liegt. Beispielsweise können dies Kundenwünsche oder Potentiale aus Zukunftsszenarien sein.

6) Selektionsbegründung

Die Selektionsbegründung beschreibt, aus welchen Gründen die zugrundeliegende Idee als Erfolg versprechend bewertet selektiert wurde. Beispiele sind die ermittelte Markt- und Technologieattraktivität.

7) Nutzenversprechen des Produkts/der Dienstleistung

Beschreibt die Art und Weise in der das Produkt oder die Dienstleistung das Problem des Kunden löst oder das Kundenbedürfnis befriedigt. Der Nutzen stellt den entscheidenden Kaufgrund dar.

8) Zielgruppe

Die Zielgruppe beschreibt die adressierten Kunden bzw. das adressierte Kundensegment, die ein Unternehmen mit einem Produkt bzw. einer Dienstleistung erreichen möchte.

9) Schlüsselaktivitäten

Schlüsselaktivitäten beschreiben die wichtigsten aber auch notwendigen Tätigkeiten eines Unternehmens, die zur Umsetzung eines Geschäftsmodells erforderlich sind.

Durch diese Tätigkeiten werden neue Kunden erreicht, bestehende Kundenbeziehungen aufrechterhalten und Erträge generiert. Ein Beispiel für eine Schlüsselaktivität ist das Schulen von Vertriebsmitarbeitern.

10) Schlüsselpartner

Die Schlüsselpartner repräsentieren das Netz an Zulieferern, Partnern und weiteren Stakeholdern, die zur Umsetzung des geplanten Produkts und ggf. der zum Produkt gehörenden Dienstleistung notwendig sind.

11) Schlüsselressourcen

Schlüsselressourcen beschreiben die Ressourcen, die das Unternehmen benötigt um das Nutzenversprechen des jeweiligen Produkts bzw. der Dienstleistung rentabel umzusetzen. Beispiele für Ressourcen sind Technologien, Anlagen, Mitarbeiter etc.

12) Geplantes Entwicklungsbudget

Das geplante Entwicklungsbudget umfasst die Ausgaben eines Unternehmens, die für die Entwicklung eines spezifischen Produkts vorgesehen sind. Das umfasst sowohl Sach- als auch Personalkosten.

13) Geplante Herstellkosten

Geplante Herstellkosten sind die Kosten, die für die Produktion eines Produkts vorgesehen sind. Sie ergeben sich als Summe aus Material- und Fertigungskosten.

14) Erwartete Produktionskosten

Erwartete Produktionskosten sind die Kosten, die im Unternehmen für die Produktion des Produkts geplant sind. Dazu zählen die Fertigungs- und Materialkosten sowie die Kosten für Zukaufteile.

15) Erwarteter Ertrag

Der erwartete Ertrag umfasst alle von einem Unternehmen geplanten erfolgswirksamen Wertzuflüsse durch das geplante Produkt bzw. die geplante Dienstleistung.

16) Kundenbeziehungen

Die Kundenbeziehung beschreibt die Art der Verbindung, die ein Unternehmen mit einem spezifischen Kundensegment aufgebaut hat bzw. aufbauen möchte. Kundenbeziehungen erstrecken sich von „persönlich“ bis hin zu „automatisiert“ und beeinflussen in hohem Maße die Kundenzufriedenheit.

17) Geplante Marketingkanäle

Marketingkanäle beschreiben die medialen und institutionellen Verbindungsmöglichkeiten zwischen Hersteller und Kunde, die für die Bekanntmachung des Produkts beim Kunden geplant sind.

18) Wettbewerbssituation

Die Wettbewerbssituation beschreibt sowohl die existierenden und potentiellen Wettbewerber als auch deren strategische Ausrichtung.

19) Erwartete Marktentwicklung

Die erwartete Marktentwicklung beschreibt die Veränderungen der adressierten Kunden-/Marktsegments und die voraussichtliche Entwicklung der Marktnachfragen.

20) Strategische Rahmenbedingungen

Die strategischen Rahmenbedingungen stellen die geplanten Verhaltensweisen des Unternehmens zur Zielerreichung dar. Ein Beispiel stellt die Geschäftsstrategie dar. Das Produkt muss sich in diesen Rahmenbedingungen untereinordnen.

21) Produktschutzstrategie

Die Produktschutzstrategie beschreibt die geplanten präventiven Maßnahmen zum Schutz des Produkts vor Produktpiraterie und unerwünschtem Know-how-Abfluss. Ein Beispiel für eine präventive Maßnahme stellt die „Funktionsverschleierung“ dar.

22) Geeignete Produkttechnologien

Geeignete Produkttechnologien beschreiben technisch (verfügbare) Möglichkeiten, die für einen Einsatz in dem Produkt geeignet sind (z.B. der Touch-Screen bei der Entwicklung des iPhone Smartphones).

23) Ökonomischer Lebenszyklus

Der ökonomische Lebenszyklus beschreibt die erwartete Dauer des Produktes im Markt sowie geschätzte Absatzzahlenentwicklungen und geplante Kampfwertsteigerungen über den Lebenszyklus.

24) Technologischer Lebenszyklus

Der technologische Lebenszyklus definiert den zeitlichen Leistungsfähigkeitsverlauf einer oder mehrere zugrundeliegenden Technologien. Hier sind bspw. Informationen

hinterlegt, die ein Ende des Einsatzes einer spezifischen Technologie in einem Produkt prognostiziert.

25) Intrinsischer Lebenszyklus

Der intrinsische Produktlebenszyklus beschreibt die Abfolge von Situationen, die das Produkt von der Idee, über die Entwicklung, Fertigung, Vertrieb, Nutzung bis zur Entsorgung durchläuft. Hier sind bspw. Informationen zu den Anwendungsszenarien hinterlegt.

26) Information zum Vorgängerprodukt

Die Informationen zum Vorgängerprodukt beschreiben die Vor- und Nachteile des Produkts, dessen Nachfolger nun entwickelt werden soll. Basierend auf diesen Informationen können Verbesserungspotentiale für die aktuelle Entwicklung abgeleitet werden.

27) Informationen zu Konkurrenzprodukten

Konkurrenzprodukte sind Produkte der Wettbewerber, die ein vergleichbares Ziel verfolgen wie das eigene Produkt. Die Informationen umfassen sowohl die Leistung als auch die Vor- und Nachteile des Konkurrenzprodukts.

28) Variantenplanung

Die Variantenplanung umfasst Informationen zu vorgesehenen Anpassungen des Produkts für bestimmte Kundensegmente.

29) Entwicklungsrisiko

Das Entwicklungsrisiko beschreibt, ob bzw. mit welcher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen wird, dass eine Entwicklung fehlschlägt.

30) Restriktionen durch das Produktionssystem

Die Restriktionen durch das Produktionssystem beschreiben bekannte/mögliche Einschränkungen, die durch die Produktionsstätte oder durch verwendete Fertigungsverfahren entstehen.

A2 Überblick der Grundkonstrukte

Für eine schnelle Einarbeitung und als Handout erfolgt nachfolgend eine zusammenfassende Definition der Grundkonstrukte. Die ausführlichen Definitionen sind Gegenstand der Abschnitte 4.3.2, 4.3.3 und 4.3.4.

A2.1 Partialmodell Unternehmensumfeld

<p>Gesetz/Regularien</p> 	<p>Gesetz/Regularien beschreibt alle gesetzlichen Regelungen, Vorschriften sowie alle Vorgaben, die bei der Planung, Erstellung, Vertrieb, Nutzung und Entsorgung einer Marktleistung zu berücksichtigen sind.</p> <p>Beispiele: EU-Energieeffizienz-Richtlinie, ISO 9001:2015, Hotelklassifikation nach Sternen</p>
<p>Kunde/Kundensegment</p> 	<p>Kunde/Kundensegment bezeichnet eine Institution oder Gruppe von Personen, die das Unternehmen mit seinem Angebot erreichen möchte, wobei das Kundensegment eine homogene Gruppe an Kunden bezeichnet.</p> <p>Beispiele: Automobilzulieferer, Schaltschrankbauer, Prozessindustrie, kinderlose Doppelverdiener</p>
<p>Nutzenversprechen</p> 	<p>Das Nutzenversprechen adressiert die Art und Weise, in der das Produkt und/oder die Dienstleistung das Problem des Kunden löst oder das Kundenbedürfnis befriedigt. Es stellt den entscheidenden Kaufgrund dar.</p> <p>Beispiele: „Kostensenkung durch transparente Energieverbräuche“, „Volle Mobilität bei freier Zeiteinteilung“, „Gesund abnehmen“</p>
<p>Partner</p> 	<p>Partner beschreiben die Menge an Marktteilnehmer, Forschungseinrichtungen sowie politischen und nichtpolitischen Verbänden, die Leistungen, Informationen sowie Geld austauschen und somit den Prozess der Leistungserstellung des betrachteten Unternehmens unterstützen.</p> <p>Beispiele: Auftragsfertiger, Personaldienstleister, Service Partner</p>
<p>Wettbewerber</p> 	<p>Wettbewerber sind Marktteilnehmer, die aufgrund ihrer Geschäftsausrichtung in einer konkurrierenden Beziehung mit dem betrachteten Unternehmen stehen. Das umfasst sowohl aktuelle als auch potentielle Wettbewerber.</p> <p>Beispiele: Elektronikkonzern, Fahrzeughersteller, Online-Handel</p>
<p>Zukünftige Entwicklung</p> 	<p>Zukünftige Entwicklung beschreibt eine mögliche Entwicklung oder Situation in der Zukunft, die für das Unternehmen als relevant angesehen werden kann. Hierbei kann es sich gleichermaßen um kurz-, mittel-, oder langfristige Zeithorizonte handeln.</p> <p>Beispiele: Demografischer Wandel, Zunehmende Digitalisierung</p>

Bild A-1: Grundkonstrukte des Partialmodells Unternehmensumfeld

A2.2 Partialmodell Unternehmen

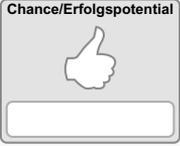
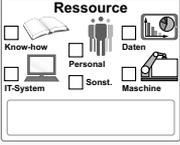
 <p>Chance/Erfolgspotential</p>	<p>Chance/Erfolgspotential meint alle nicht ausgeschöpften Möglichkeiten eines Unternehmens, aus denen in Zukunft Erfolg generiert werden kann.</p> <p>Beispiele: Nachfrage nach kompletären Dienstleistungen, neues Geschäft durch demografischen Wandel, auslaufendes Patent des Wettbewerbers</p>
 <p>Gefahr/Risiko</p>	<p>Gefahr/Risiko beschreibt eine Situation oder einen Sachverhalt, der eine negative Auswirkung auf das betrachtete Unternehmen haben kann. Eine Gefahr liegt vor, wenn das Risiko die Akzeptanzschwelle überschreitet.</p> <p>Beispiele: Lieferschwierigkeiten, Abwerbung von Know-How-Trägern, Auslaufen eigener Patente</p>
 <p>Strategische Rahmenbedingung</p>	<p>Strategische Rahmenbedingungen beschreiben unternehmerische Grundsatzentscheidungen, an denen sich alle kurz-, mittel-, und langfristigen Unternehmensaktivitäten orientieren. Sie beschreiben die Konsequenz der äußeren Einflüsse auf das Unternehmen mit dem Ziel einer langfristigen erfolgreichen Positionierung am Markt.</p> <p>Beispiele: Fokussierung auf Großkunden (Global Key Accounts), Niedrigpreisstrategie in China, Ausschluss von Rüstungsgeschäften</p>
 <p>Finanzen</p>	<p>Finanzen umfassen die wesentlichen Einnahmen und Ausgaben, die mit der Planung, Entwicklung, Produktion sowie der Erbringung der geplanten Marktleistung in einem Unternehmen einhergehen. Das umfasst auch Kosten und Erträge des zugrundeliegenden Geschäftsmodells.</p> <p>Beispiele: Lizenzgebühren, Produktionskosten, Erträge aus Verkauf</p>
 <p>Ressource</p>	<p>Ressourcen umschreiben die wesentlichen strategischen Vermögenswerte, die ein Unternehmen für die Umsetzung des Nutzenversprechens benötigt. Ressourcen sind stark abhängig von der Natur der Marktleistung.</p> <p>Beispiele: IT-Systeme zum Betrieb eines Webshops, Produktionsmaschinen, Personal</p>

Bild A-2: Grundkonstrukte des Partialmodells Unternehmen

A2.3 Partialmodell Marktleistung

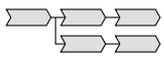
<p>Hauptfunktion</p>  <p><input type="text"/></p>	<p>Funktionen beschreiben den allgemeinen und gewollten Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen, um eine Aufgabe zu erfüllen. Wesentliche und übergeordnete Funktionen eines Produkts werden als Hauptfunktion bezeichnet.</p> <p>Beispiele: Telefonische Erreichbarkeit ermöglichen, Fahrzeug antreiben, Sitzfläche anwärmen</p>
<p>Prozess</p>  <p><input type="text"/></p>	<p>Ein Prozess beschreibt die Tätigkeiten, die zur Erfüllung eines bestimmten Ziels erforderlich sind. Im Kern geht es um die effiziente Beschreibung von Dienstleistungen, deren Hauptprozesse hier im Vordergrund stehen.</p> <p>Beispiele: Schilder drucken, Haare schneiden, Wartung durchführen</p>
<p>Technologie</p>  <p><input type="text"/></p>	<p>Technologie beschreibt das Wissen über Wirkungsbeziehungen, das bei der Lösung praktischer Probleme Anwendungen findet. Technologien dienen der Umsetzung von Funktionen und Prozessen.</p> <p>Beispiele: 3D-Druck, Hybridmotor, WLAN</p>

Bild A-3: Grundkonstrukte des Partialmodells Marktleistung

Das Heinz Nixdorf Institut – Interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik

Das Heinz Nixdorf Institut ist ein Forschungszentrum der Universität Paderborn. Es entstand 1987 aus der Initiative und mit Förderung von Heinz Nixdorf. Damit wollte er Ingenieurwissenschaften und Informatik zusammenführen, um wesentliche Impulse für neue Produkte und Dienstleistungen zu erzeugen. Dies schließt auch die Wechselwirkungen mit dem gesellschaftlichen Umfeld ein.

Die Forschungsarbeit orientiert sich an dem Programm „Dynamik, Mobilität, Vernetzung: Eine neue Schule des Entwurfs der technischen Systeme von morgen“. In der Lehre engagiert sich das Heinz Nixdorf Institut in Studiengängen der Informatik, der Ingenieurwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaften.

Heute wirken am Heinz Nixdorf Institut neun Professoren mit insgesamt 150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Pro Jahr promovieren hier etwa 20 Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler.

Heinz Nixdorf Institute – Interdisciplinary Research Centre for Computer Science and Technology

The Heinz Nixdorf Institute is a research centre within the University of Paderborn. It was founded in 1987 initiated and supported by Heinz Nixdorf. By doing so he wanted to create a symbiosis of computer science and engineering in order to provide critical impetus for new products and services. This includes interactions with the social environment.

Our research is aligned with the program “Dynamics, Mobility, Integration: Enroute to the technical systems of tomorrow.” In training and education the Heinz Nixdorf Institute is involved in many programs of study at the University of Paderborn. The superior goal in education and training is to communicate competencies that are critical in tomorrows economy.

Today nine Professors and 150 researchers work at the Heinz Nixdorf Institute. Per year approximately 20 young researchers receive a doctorate.

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 330 KEIL, R.; SELKE, H. (Hrsg.): 20 Jahre Lernen mit dem World Wide Web. Technik und Bildung im Dialog. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 330, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-49-6
- Bd. 331 HARTMANN, P.: Ein Beitrag zur Verhaltensantizipation und -regelung kognitiver mechatronischer Systeme bei langfristiger Planung und Ausführung. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 331, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-50-2
- Bd. 332 ECHTERHOFF, N.: Systematik zur Planung von Cross-Industry-Innovationen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 332, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-51-9
- Bd. 333 HASSAN, B.: A Design Framework for Developing a Reconfigurable Driving Simulator. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 333, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-52-6
- Bd. 334 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 10. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 20. und 21. November 2014, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 334, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-53-3
- Bd. 335 RIEKE, J.: Model Consistency Management for Systems Engineering. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 335, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-54-0
- Bd. 336 HAGENKÖTTER, S.: Adaptive prozess-integrierte Qualitätsüberwachung von Ultraschalldrahtbondprozessen. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 336, Paderborn, 2014 – ISBN 978-3-942647-55-7
- Bd. 337 PEITZ, C.: Systematik zur Entwicklung einer produktlebenszyklusorientierten Geschäftsmodell-Roadmap. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 337, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-56-4
- Bd. 338 WANG, R.: Integrated Planar Antenna Designs and Technologies for Millimeter-Wave Applications. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 338, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-57-1
- Bd. 339 MAO, Y.: 245 GHz Subharmonic Receivers For Gas Spectroscopy in SiGe BiCMOS Technology. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 339, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-58-8
- Bd. 340 DOROCIAC, R.: Systematik zur frühzeitigen Absicherung der Sicherheit und Zuverlässigkeit fortschrittlicher mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 340, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-59-5
- Bd. 341 BAUER, F.: Planungswerkzeug zur wissensbasierten Produktionssystemkonzipierung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 341, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-60-1
- Bd. 342 GAUSEMEIER, J.; GRAFE, M.; MEYER AUF DER HEIDE, F. (Hrsg.): 12. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 342, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-61-8
- Bd. 343 GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; RAMMIG, F.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A. (Hrsg.): 10. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 343, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-62-5
- Bd. 344 BRÖKELMANN, J.: Systematik der virtuellen Inbetriebnahme von automatisierten Produktionssystemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 344, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-63-2
- Bd. 345 SHAREEF, Z.: Path Planning and Trajectory Optimization of Delta Parallel Robot. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 345, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-64-9

Bezugsadresse:
Heinz Nixdorf Institut
Universität Paderborn
Fürstenallee 11
33102 Paderborn

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 346 VASSHOLZ, M.: Systematik zur wirtschaftlichkeitsorientierten Konzipierung Intelligenter Technischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 346, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-65-6
- Bd. 347 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 11. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 29. und 30. Oktober 2015, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 347, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-66-3
- Bd. 348 HEINZEMANN, C.: Verification and Simulation of Self-Adaptive Mechatronic Systems. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 348, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-67-0
- Bd. 349 MARKWART, P.: Analytische Herleitung der Reihenfolgeregeln zur Entzerrung hochauslastender Auftragsmerkmale. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 349, Paderborn, 2015 – ISBN 978-3-942647-68-7
- Bd. 350 RÜBELKE, R.: Systematik zur innovationsorientierten Kompetenzplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 350, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-69-4
- Bd. 351 BRENNER, C.: Szenariobasierte Synthese verteilter mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 351, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-70-0
- Bd. 352 WALL, M.: Systematik zur technologieinduzierten Produkt- und Technologieplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 352, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-71-7
- Bd. 353 CORD-LANDWEHR, A.: Selfish Network Creation - On Variants of Network Creation Games. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 353, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-72-4
- Bd. 354 ANACKER, H.: Instrumentarium für einen lösungsmusterbasierten Entwurf fortgeschrittener mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 354, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-73-1
- Bd. 355 RUDTSCH, V.: Methodik zur Bewertung von Produktionssystemen in der frühen Entwicklungsphase. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 355, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-74-8
- Bd. 356 SÖLLNER, C.: Methode zur Planung eines zukunftsfähigen Produktportfolios. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 356, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-75-5
- Bd. 357 AMSHOFF, B.: Systematik zur musterbasierten Entwicklung technologieinduzierter Geschäftsmodelle. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 357, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-76-2
- Bd. 358 LÖFFLER, A.: Entwicklung einer modellbasierten In-the-Loop-Testumgebung für Waschautomaten. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 358, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-77-9
- Bd. 359 LEHNER, A.: Systematik zur lösungsmusterbasierten Entwicklung von Frugal Innovations. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 359, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-78-6
- Bd. 360 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 12. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 8. und 9. Dezember 2016, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 360, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-79-3
- Bd. 361 PETER, S.: Systematik zur Antizipation von Stakeholder-Reaktionen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 361, Paderborn, 2016 – ISBN 978-3-942647-80-9