

Andreas Braun

Modellbasierte Unterstützung der Produktentwicklung - Potentiale der Modellierung von Produktentstehungsprozessen am Beispiel des integrierten Produktentstehungsmodells (iPeM)

Model Based Support of Product Development
- Potentials of Modelling Product Engineering
Processes using the example of the
Integrated Product Engineering Model (iPeM)

Band 72

Systeme ■ Methoden ■ Prozesse

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers

Andreas Braun

Modellbasierte Unterstützung der Produktentwicklung - Potentiale der Modellierung von Produktentstehungsprozessen am Beispiel des integrierten Produktentstehungsmodells (iPeM)

Model Based Support of Product Development
- Potentials of Modelling Product Engineering
Processes using the example of the
Integrated Product Engineering Model (iPeM)

Band 72

Herausgeber: o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers

Copyright: IPEK ▪ Institut für Produktentwicklung, 2014
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Universität des Landes Baden-Württemberg und
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

Alle Rechte vorbehalten

Druck: ps printsolution GmbH ▪ Leopoldstraße 244 ▪ 80807 München

ISSN 1615-8113

Modellbasierte Unterstützung der Produktentwicklung - Potentiale der Modellierung von Produktentstehungsprozessen am Beispiel des integrierten Produktentstehungsmodells (iPeM)

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
der Fakultät für Maschinenbau
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte
Dissertation

von

Andreas Braun
aus Bruchsal

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Dezember 2013
Hauptreferent: o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier

Vorwort des Herausgebers

Wissen ist einer der entscheidenden Faktoren in den Volkswirtschaften unserer Zeit. Der Unternehmenserfolg wird in der Zukunft mehr denn je davon abhängen, wie schnell ein Unternehmen neues Wissen aufnehmen, zugänglich machen und verwerten kann. Die Aufgabe eines Universitätsinstitutes ist es, hier einen wesentlichen Beitrag zu leisten. In den Forschungsarbeiten wird ständig Wissen generiert. Dieses kann aber nur wirksam und für die Gemeinschaft nutzbar werden, wenn es in geeigneter Form kommuniziert wird. Diese Schriftenreihe dient als eine Plattform zum Transfer und macht damit das Wissenspotential aus aktuellen Forschungsarbeiten am IPEK – Institut für Produktentwicklung – Karlsruhe (ehemals: Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau) verfügbar.

Die Forschungsfelder des Institutes sind die methodische Entwicklung und das Entwicklungsmanagement, die rechnergestützte Optimierung von hochbelasteten Strukturen und Systemen, die Antriebstechnik mit einem Schwerpunkt auf den Gebieten Antriebsstrang-Engineering und Tribologie von Lager- und Funktionsreibsystemen, die Mikrosystemtechnik mit dem Focus auf die zugehörigen Entwicklungsprozesse sowie die Mechatronik. Die Forschungsberichte werden aus allen diesen Gebieten Beiträge zur wissenschaftlichen Fortentwicklung des Wissens und der zugehörigen Anwendung – sowohl den auf diesen Gebieten tätigen Forschern als auch ganz besonders der anwendenden Industrie – zur Verfügung stellen. Ziel ist es, qualifizierte Beiträge zum Produktentwicklungsprozess zu leisten.

Albert Albers

Vorwort zu Band 72

Der Mensch ist dadurch gekennzeichnet, dass er durch aktive Veränderung seiner Umgebung und durch das Erdenken und Bauen von Artefakten, die Umwelt beeinflusst oder ändert. Dies geht bereits über viele Generationen von den Anfängen der Werkzeuge nutzenden Urmenschen über die große Bauwerke errichtenden Völker der Antike, bis hin zu den technischen Produkten, die wir, insbesondere mit Beginn der Industrialisierung, seit etwa 200 Jahren sehen. Einhergehend mit dieser kreativen Art des Menschen, Artefakte darzustellen, ist zu beobachten, dass die von ihm erdachten Lösungen immer komplexer und komplizierter werden. Insbesondere in den letzten 20 Jahren ist durch die Integration von unterschiedlichen Fachdisziplinen bei der Synthese technischer Lösungen eine enorme Steigerung der Potenziale dieser technischen Lösungen erfolgt. Moderne Maschinen und Fahrzeuge sind mechatronische Produkte mit äußerst komplexen Strukturen in der Verknüpfung von mechanischen, elektrotechnischen und informationstechnischen Lösungen, die ganz neue Funktionen möglich machen. Die elektronischen Unterstützungsfunktionen bei modernen Fahrzeugen seien hier ein Beispiel. Angefangen mit dem Antiblockiersystem, über die Fahrzustandsregelung bis hin zum teilautonomen Fahren, das wir heute diskutieren.

Verbunden ist dies allerdings auch mit einer enorm gestiegenen Komplexität des Produktentstehungsprozesses, die insbesondere durch die Interaktion und die direkten und indirekten Wechselwirkungen der verschiedenen Lösungen entsteht. Die Erforschung der Vorgehensweise bei der Entwicklung und Konstruktion von maschinenbaulichen Produkten ist seit vielen Jahrzehnten ein wichtiges Thema in Deutschland. Insbesondere Pahl und Beitz haben hier grundlegende Beiträge geliefert. Auf der Basis dieser Ansätze wurden verschiedene Richtlinien abgeleitet, die auch dem Praktiker helfen sollen. Es zeigt sich aber nun, dass diese Ansätze nicht mehr ausreichen, um die Dynamik und die Vernetztheit moderner Produktentwicklung abzubilden. So widmen sich seit rund 15 Jahren eine neue Generation von Forschern diesen Herausforderungen. In der Gruppe um Lindemann wird das Münchener Vorgehensmodell erforscht, das die Flexibilisierung und pragmatische Nutzung zum Ziel hat. Gausemeier und seine Gruppe erforschen ebenfalls den Prozess der Produktentstehung in dem Drei-Zyklen-Modell. Die Aspekte der Produktplanung, der Produktentwicklung und der Produktionssystementwicklung werden hier in ineinandergreifende Zyklen abgebildet. Die Gruppe um Albers arbeitet an neuen Ansätzen zur Modellierung des Produktentstehungsprozesses unter Berücksichtigung der Dynamik und der Einzigartigkeit eines jeden Produktentstehungsprozesses. In diesen Forschungsarbeiten ist das integrierte Produktentstehungsmodell „iPeM“ entstanden. Das iPeM verknüpft die zwei Aspekte

des Produktentstehungsprozesses in einem Modell. Es beschreibt die Steuerung des Prozesses durch das Management und verknüpft diese Steuerung mit der Unterstützung des Entwicklers und Konstrukteurs in dem Prozess selbst. Grundlage ist dabei die Definition einer Aktivitätenmatrix, in der grundlegende Aktivitäten der Produktentstehung modelliert werden und das damit verknüpfte Phasenmodell, das je nach Entwicklungsaufgabe individuell aus den Aktivitäten zusammengestellt wird. Dieses Modell erlaubt es, als Metamodell die Vorgehensweisen in den Entwicklungsprozessen von verschiedenen Unternehmen auf einer übergeordneten Ebene abzubilden und so zu diskutieren. Damit kann das iPeM, insbesondere die von Albers formulierte Hypothese, dass jeder Produktentstehungsprozess immer einzigartig und einmalig ist, aufnehmen und gezielt in entsprechende Modellabbildungen überführen. Im Kontext dieser Forschungsarbeiten ist die Dissertation von Herrn Dr.-Ing. Andreas Braun angelegt. Er hat sich zum Ziel gesetzt mit einer breit angelegten Forschungsarbeit die Potenziale der Modellierung von Produktentstehungsprozessen mit dem integrierten Produktentstehungsmodell iPeM nach Albers zu untersuchen. Die Arbeit leistet durch ihre fundierte Untersuchung des Anwendungsaspektes des Metamodells einen wichtigen Beitrag zur gezielten weiteren Forschung unter dem Aspekt Anwenderorientierung und Nützlichkeit. Sie legt damit auch die Grundlage für die zukünftige Ausrichtung der Forschung am iPeM.

Januar, 2014

Albert Albers

Kurzfassung

In den Wissensgesellschaften der führenden Industriestaaten kommt der Produktentstehung eine zentrale volkswirtschaftliche Bedeutung zu. Entscheidend für innovative Produktentstehungsprozesse ist dabei insbesondere die Entwicklung valider Produktkonzepte unter Berücksichtigung der vielfältigen Randbedingungen aus Markt und Gesellschaft. Jedoch unterliegen Produktentstehungsprozesse einer zunehmenden Komplexität. In der vorliegenden Dissertation wird das Ziel verfolgt, die Voraussetzungen für einen erfolgreichen Umgang mit dieser Herausforderung bereitzustellen.

Nach einer umfassenden Erörterung des bestehenden Forschungsstands wird hierfür ein modellbasierter Ansatz verfolgt. Darin sollen relevante Informationen explizit repräsentiert und im Kontext der Produktentstehung miteinander in Beziehung gesetzt werden. Es wird gezeigt, dass dazu eine ganzheitliche, durchgängige, sowie anthropozentrische Modellierung notwendig ist. Es sind also alle benötigten Aspekte zweckorientiert und in geeigneten Betrachtungsebenen so zu erfassen, dass eine Unterstützung der operativ tätigen Menschen im Zentrum der Produktentwicklung möglich wird.

Im Verlauf dieser Arbeit erfolgt hierzu zunächst eine Spezifizierung von generellen, d.h. projektunabhängigen Wirkmechanismen von Nutzen und Aufwand. Dabei wird die Modellstruktur als grundlegender Erfolgsfaktor erkannt. Im Rahmen von systematisch aufeinander aufbauenden Studien werden daraufhin Möglichkeiten und Grenzen erforscht, um einen Modellierungsansatz in der Praxis anwendbar zu machen. Aus der Evaluation verschiedener Werkzeuge und Modellierungstechniken folgt als Kernergebnis der Dissertation eine Erweiterung des zugrunde gelegten Modellverständnisses. In Form eines fraktalen Metamodells wird ein Rahmen bereitgestellt, durch den die identifizierten Einschränkungen der Prozessmodellierung in zukünftigen Arbeiten überwunden werden können. Damit wird eine notwendige Voraussetzung für eine modellbasierte Unterstützung der Produktentwicklung geschaffen.

Abstract

In the knowledge-based societies of leading industrial countries product engineering plays a central economic role. Innovative product engineering processes are determined by system design and engineering – the development of valid product concepts with regard to the manifold constraints of the market and the society. However, product engineering processes are subject to increasing complexity. This dissertation aims at providing the necessary means to successfully dealing with this challenge.

Following a comprehensive discussion of the state of the art a model-based approach is chosen. Therein, relevant information shall be represented explicitly and in an interrelated way with each other in the context of product engineering. It is shown that this requires a holistic, continuous and human-centred modelling. All necessary aspects are to be captured in a purposive way and at suitable levels of consideration to allow for a support of the operative human beings in the centre of product development.

Here fore, a specification of general – i.e. project independent – mechanisms of action concerning benefit and effort is given. The structure of models turns out as a basic success factor. During systematically arranged studies opportunities and limits of the implementation of a modelling approach are investigated in the further course of the dissertation. Finally, the evaluation of different tools and modelling techniques leads to an enhanced understanding of the underlying modelling approach. By means of a fractal meta model a framework is provided with the help of which the identified limitations of process modelling can be overcome in future efforts. This forms the necessary condition for a model-based support of product development.

Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater Herrn o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers für die einzigartige Förderung während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Auf dem Weg zu dieser Dissertation hat er mich zu jeder Zeit konstruktiv begleitet und mir die notwendigen Freiräume geschaffen, zahlreiche Studien durchzuführen sowie einen regen wissenschaftlichen Austausch mit (internationalen) Forscherkollegen zu führen.

Weiterhin haben viele meiner Kollegen einen maßgeblichen Anteil am erfolgreichen Abschluss dieser Promotion. Für den fruchtbaren und immer hilfreichen Austausch, und vor allem für die freundschaftliche Zusammenarbeit in den vergangenen fünf Jahren, möchte ich mich herzlich bedanken.

Der größte Dank gilt meiner Familie, die mir durch ihren steten Rückhalt den langen Weg bis zur Promotion erst ermöglicht hat. Besonders danke ich meiner Frau Sandra für ihre großartige Unterstützung.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier für sein Korreferat und Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Gabi für seinen Vorsitz im Promotionsprüfungsausschuss.

Karlsruhe, den 17. Dezember 2013

Andreas Braun

„An investment in knowledge pays the best interest.“

Benjamin Franklin (1706 - 1790),

Autor und Verleger, autodidaktischer Naturwissenschaftler und Erfinder, Politiker.

Inhalt

1	Einleitung und Einordnung	1
1.1	Motivation	2
1.1.1	Produktentstehung und Systemkonstruktion	2
1.1.2	Produktentstehungsprozesse	3
1.1.3	Bedeutung erfolgreicher Produktentstehungsprozesse	5
1.2	Herausforderungen und Fokus	7
1.2.1	Strukturelle Komplexität	9
1.2.2	Dynamikgetriebene Komplexität	10
1.2.3	Humaninduzierte Komplexität	11
1.3	Übergeordnete Zielsetzung	12
1.4	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	14
1.4.1	Forschungsdesign	15
1.4.2	Aufbau der Arbeit	16
2	Grundlagen und Stand der Forschung	19
2.1	Wissen	19
2.1.1	Kognitions- und lernpsychologische Perspektive	19
2.1.2	Soziotechnische Perspektive	22
2.2	Modelle und Modelltheorie	25
2.2.1	Grundlagen der allgemeinen Modelltheorie	26
2.2.2	Modelle in der Produktentstehung	26
2.3	Allgemeine Systemtheorie und Systemtheorie der Technik	29
2.3.1	Systembegriff und Konzepte der Systembetrachtung	30
2.3.2	Systemtheorie der Technik und Systemtripel ZHO	32
2.4	Modellierung der Produktentstehung	35
2.4.1	Überblick: Herausforderungen und Forschungsstand	37
2.4.2	Einflussparameter der Prozessmodellierung	43
2.4.3	Ansätze mit Fokus auf die Konstruktion und die Entwicklung	44
2.4.4	Ansätze mit Fokus auf das Management	53
2.4.5	Alternative Ansätze mit integrierender bzw. übergreifender Ausrichtung	62
2.4.6	Ansätze der "Karlsruher Schule"	79
2.5	Technische Umsetzung von Modellierungsansätzen	93
2.5.1	Sprachen und Techniken der Modellierung	94
2.5.2	Werkzeuge für die Modellierung	108
2.6	Zusammenfassung und Diskussion	115
3	Handlungsbedarf und Zielsetzung	119
3.1	Forschungshypothesen und resultierender Ansatz	119

3.1.1	Modellierung der Produktentstehung.....	119
3.1.2	Einzigkeit von Produktentstehungsprozessen	120
3.1.3	Kompetenter Umgang mit der Komplexität der Produktentstehung	121
3.1.4	Forschungsansatz und Forschungsgegenstand	121
3.2	Forschungsfragen	123
3.3	Zielsetzung der Dissertation	125
3.4	Adressaten und Fokus der vorliegenden Arbeit.....	127
4	Methodische Vorgehensweise.....	129
4.1	Einordnung in die „Spiral of Applied Research“	129
4.2	Einordnung in die „Design Research Methodology“.....	130
5	Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung.....	132
5.1	Stand der Forschung zum Nutzen der Prozessmodellierung.....	133
5.1.1	Eignung von Modellierungstechniken für verschiedene Modellzwecke.....	133
5.1.2	Situationsspezifische Unterschiede der Eignung von Prozessmodellen	134
5.1.3	Anforderungen an Prozessmodelle im Stand der Forschung.....	135
5.1.4	Abhängigkeiten der Anforderungen an Prozessmodelle	136
5.1.5	Zwischenfazit aus der Analyse des Forschungsstands.....	137
5.2	Deskriptive Studien	138
5.2.1	Untersuchungsergebnisse.....	142
5.2.1	Zwischenfazit aus den deskriptiven Studien	148
5.3	Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung.....	148
5.3.1	Generelle Wirkbereiche der Prozessmodellierung.....	149
5.3.2	Potentieller Nutzen - Möglichkeiten der Prozessmodellierung	153
5.3.3	Potentieller Aufwand - Grenzen der Prozessmodellierung.....	159
5.4	Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung	162
5.4.1	Erfolgsfaktoren und zugehörige Erfolgskriterien	162
5.4.2	Analyse von Abhängigkeiten der Erfolgskriterien.....	166
5.5	Zusammenfassung.....	168
6	Vorstudien.....	169
6.1	Zugrunde gelegtes Metamodell	170
6.2	Modellierung ohne Software-Unterstützung.....	174
6.2.1	Produktentstehungsprozess eines Automobilzulieferers.....	175
6.2.2	Produktentstehungsprozess eines Herstellers von Investitionsgütern	176
6.2.3	Erkenntnisse aus den Anwendungen ohne Software-Unterstützung	177
6.3	MS Excel in der biotechnologischen Prozessentwicklung.....	177
6.3.1	Charakteristika und Ziele der Studie in der Biotechnologie.....	178
6.3.2	Charakteristika der iPeM-Implementierung in MS Excel.....	179
6.3.3	Erkenntnisse aus der Studie in der Biotechnologie.....	180

6.4	Modellierung auf Basis der Graphentheorie	181
6.4.1	Charakteristika und Ziele der Studie an einem studentischen Team	182
6.4.2	Charakteristika der Implementierung in CAM	184
6.4.3	Erkenntnisse aus der Studie an einem studentischen Team	187
6.5	Graphentheorie-basierte Modellierung im Anlagenbau	190
6.5.1	Charakteristika und Ziele der Studie im Anlagenbau	190
6.5.2	Charakteristika der iPeM-Implementierung in LOOME0	191
6.5.3	Erkenntnisse aus der Studie im Anlagenbau	191
6.6	Produktentstehungsprozesse als formale Ontologie.....	193
6.6.1	Charakteristika und Ziele einer akademischen Studie	194
6.6.2	Charakteristika der iPeM-Implementierung in Ontostudio.....	194
6.6.3	Erkenntnisse aus der akademischen Studie.....	196
6.7	Modellierung in einer Plattform zum kollaborativen Arbeiten	196
6.7.1	Charakteristika und Ziele der Studie mit studentischen Teams	196
6.7.2	Charakteristika der iPeM-Implementierung in MS SharePoint	197
6.7.3	Erkenntnisse aus der Studie mit studentischen Teams	198
6.8	Zusammenfassung.....	200
7	Hauptstudien.....	202
7.1	Charakteristika der Software-Implementierung.....	202
7.1.1	Charakteristika von MS SharePoint Server	202
7.1.2	Umsetzung der grafischen Benutzerschnittstelle	204
7.1.3	Funktionsumfang der Implementierung	205
7.2	Anwendung in „Integrierte Produktentwicklung (IP)“	207
7.2.1	Charakteristika und Ziele der Studie.....	208
7.2.2	Identifizierte Möglichkeiten der Prozessmodellierung	209
7.2.3	Identifizierte Grenzen der Prozessmodellierung	210
7.3	Anwendung in der Gerätekonstruktion	211
7.3.1	Charakteristika und Ziele der Studie.....	211
7.3.2	Identifizierte Möglichkeiten der Prozessmodellierung	212
7.3.3	Identifizierte Grenzen der Prozessmodellierung	213
7.4	Zusammenfassung.....	214
7.4.1	Evaluation der Erfolgskriterien.....	215
7.4.2	SWOT-Analyse der iPeM-Modellierung.....	216
8	Implikationen	218
8.1	Diskussion und Interpretation der Studien	218
8.1.1	Qualitative Darstellung von Nutzen und Aufwand.....	218
8.1.2	Forderung der suffizienten Modellierung	221
8.2	Konzept der transsubjektiven Modellierung	222

8.2.1	Transsubjektivität	223
8.2.2	Ein fraktales Metamodell der Produktentstehung	224
8.2.3	Konzept eines generellen Vorgehensmodells.....	234
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	240
9.1	Spezifikation von Nutzen und Aufwand	240
9.2	Durchgeführte Studien	241
9.3	Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung.....	241
9.4	Maßnahmen zur Eindämmung der begrenzenden Faktoren.....	242
9.5	Transsubjektive Modellierung.....	244
9.6	Fazit	244
9.7	Ausblick.....	245
10	Literaturverzeichnis.....	247
	Betreute Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten.....	277
	Weitere Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten	278
11	Anhang.....	279
A.	Screenshots der Implementierung in MS SharePoint	279
B.	Ergebnisse der six-thinking-hats Methode.....	282
C.	Fraktales Metamodell der Produktentstehung	296

1 Einleitung und Einordnung

Das dieser Arbeit vorangestellte Zitat Benjamin Franklins wird oft als Aufmacher in der Werbung für Aus- und Weiterbildungsangebote herangezogen. Meist richten sich diese an Berufstätige – das sogenannte „lebenslange Lernen“ wurde zur Jahrtausendwende zu einem zentralen strategischen Thema der Europäischen Union. Die Notwendigkeit für neue Wege zur Beschäftigungsfähigkeit begründet sich in sich in einem grundlegenden wirtschaftlichen und sozialen Wandel.¹ Die wissensbasierte Gesellschaft und Wirtschaft Europas befindet sich in einem globalen Wettbewerb mit aufstrebenden Staaten, die sich durch eine gänzlich verschiedene Demographie kennzeichnen. Auf nationaler Ebene in Deutschland wird die Bildungsstrategie durch die „Konzeption für das Lernen im Lebenslauf“ umgesetzt.² Über reines Wissen wie in Franklins Zitat hinaus, wird darin der Fokus zu „Erfahrung“ und „Kompetenz“ erweitert. Diese können nicht pauschal durch Unterricht vermittelt werden. Es gilt stattdessen eine Umgebung zu schaffen, die sich für einen Kompetenzerwerb eignet.³ Dieser erfolgt in Form von Lernzyklen und baut auf Erfahrungen und Wissen auf.⁴

In der vorliegenden Dissertation werden diese Aspekte im Kontext der Produktentstehung diskutiert. Hier kommt persönlicher Kompetenz, Erfahrung und Wissen eine herausragende Bedeutung zu. Sie bestimmen Produktentstehungsprozesse gänzlich – von elementaren Bedingungen wie der intersubjektiven Kommunikation⁵ bis hin zu einem unternehmensweiten und -übergreifenden Kontext. Dort bilden (Kern-)Kompetenzen⁶ und Kompetenznetzwerke⁷ die Grundlage einer wettbewerbsfähigen Produktentstehung. Der Umgang mit der Ressource „Wissen“ bestimmt kurzfristig, aber vor allem langfristig über volkswirtschaftlichen Erfolg oder Misserfolg.⁸ Ziel dieser Dissertation ist die Bereitstellung eines Rahmenwerks für die explizite Repräsentation von vernetzten Informationen. Damit soll auch erfahrungsbasiertes, implizites Wissen zugänglich gemacht werden können und die Basis für eine kompetente Realisierung der Produktentstehung mit Hilfe eines modellbasierten Ansatzes begründet werden.

¹ s. EG-Kommission 2000

² s. BMBF 2008

³ vgl. Albers et al. 2008a

⁴ vgl. Hoffmann et al. 2010

⁵ s. Eckert 2001

⁶ vgl. Prahalad und Hamel 1990

⁷ vgl. Olson et al. 2003

⁸ vgl. Heisig et al. 2010 und Kleinsmann et al. 2010

1.1 Motivation

In diesem Abschnitt erfolgt einleitend eine Hinführung zu den Themenbereichen Produktentstehung und Produktentstehungsprozess. Aus der näheren Betrachtung der gesellschaftlichen Bedeutung von erfolgreichen Produktentstehungsprozessen ergibt sich die Motivation für die vorliegende Arbeit.

1.1.1 Produktentstehung und Systemkonstruktion

Die **Produktentstehung** ist ein soziotechnisches System. ROPOHL begründet die soziotechnische Natur der Technikgenese mit Bezug auf HEGEL und MARX.⁹ Sie diene der Produktion von Gütern für den Zweck der Konsumtion – beide Aspekte bedürften menschlichen Zutuns. Demnach stellt die Produktentstehung weiterhin ein offenes System dar. Sie findet in der Gesellschaft und im Umfeld eines Marktes statt. Dieser ist durch Regeln und Konventionen gekennzeichnet¹⁰, die insbesondere das Verhältnis von Anbietern, Kunden und Wettbewerbern beschreiben.¹¹ EHRENSPIEL beschreibt diesen Sachverhalt als „Produkterstellung“ in einem Kreislauf vom Markt über das herstellende Unternehmen zurück zum Markt bzw. Nutzer.¹² Ein einzelnes Produkt beschreibe in diesem Kreis einen Produktlebenslauf mit zahlreichen Vor- und Rückflüssen von Informationen zwischen den verschiedenen Stakeholdern¹³ im Unternehmen und im Markt.¹⁴ Die Produktentwicklung ist dabei eine Teilmenge der Produktentstehung.¹⁵ Sie setzt sich aus „Myriaden multifunktionaler Aktivitäten zwischen der Definition einer Marktchance und dem Produktionsstart“¹⁶ zusammen.

In einer elementaren Betrachtung sind dies Aktivitäten der Analyse und der Synthese.¹⁷ Sie stellen das operative Handeln der beteiligten Personen dar. ALBERS legt mit dieser Betrachtung den Fokus auf den Menschen im Zentrum der Produktentstehung.¹⁸ Gleichzeitig gilt es, die elementaren Entwicklungstätigkeiten in den übergeordneten Kontext eines Projekts einzugliedern und an dessen Randbedingungen anzupassen. Die durchgängige Berücksichtigung technologischer, marktwirtschaftlicher und gesellschaftlicher Einflüsse in der Produktentwicklung findet

⁹ Ropohl 2009, S. 163ff. mit Bezug auf Hegel 1833, S182ff. und Marx 1857/58, S. 11ff.

¹⁰ vgl. Menard 1995, S. 170

¹¹ vgl. Samuelson und Nordhaus 1985, S. 43 und Elizalde 2011, S. 2

¹² Ehrlenspiel 2007, S. 158

¹³ Der Begriff „Stakeholder“ stammt aus dem angelsächsischen Sprachraum und meint die Beteiligten bzw. Betroffenen eines Projekts. Der im Projektmanagement geläufige Begriff wird in den folgenden Ausführungen ohne weitere Erläuterungen verwendet.

¹⁴ ebda. S. 195

¹⁵ s. Albers und Braun 2011 und Gausemeier et al. 2000

¹⁶ Browning et al. 2006, S. 105 (eigene Übersetzung)

¹⁷ s. Albers und Sadowski 2013 und Albers et al. 2012a

¹⁸ vgl. Albers 2013

Ausdruck im Begriff „**Systemkonstruktion**“.¹⁹ Sie erfordert es, Produkte als interagierende technische Systeme aufzufassen und die Wechselwirkungen ihrer Teilsysteme zu überschauen. Dies stellt besondere Herausforderungen an die Ausbildung von Systemkonstruktoren.²⁰ Sie müssen in der Lage sein, abstrakte Zusammenhänge verarbeiten zu können, und ein Problem aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Damit bilden sie eine zentrale Schnittstelle zwischen fachlichen Spezialisten z.B. in der Dimensionierung oder in der Fertigungstechnik und Validierungsingenieuren²¹, bzw. zwischen Synthese und Analyse in der Produktentstehung.

„[System-] Konstrukteure werden auch in Zukunft Entwickler, Treiber und Gestalter neuer mechanischer und mechatronischer Produkte sein, die sich fortwährend mit neuen Materialien, Prozessen und Technologien auseinandersetzen müssen. Sie sind gleichzeitig auch Manager, die Projekte und Produkte selbstständig planen, steuern und kontrollieren und dabei stets auf Qualität, Kosten, aber auch Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit achten. Und sie sind kreative Menschen, die schöpferisch arbeiten. Entscheidend für die Arbeit zukünftiger Konstrukteure ist es jedoch, stets das Ganze im Auge zu behalten.“²²

1.1.2 Produktentstehungsprozesse

Das Geschehen in der Produktentstehung kann in Form von Produktentstehungsprozessen strukturiert beschrieben werden. Im Allgemeinen sind Prozesse spezifische zeitliche Abfolgen von Aktivitäten zur Erreichung konkreter Ziele. Sie können als Systeme aufgefasst werden.²³ In dieser Betrachtung sind sie durch Eingangs- und Ausgangsgrößen in Form von Stoffströmen, Energie- und Informationsflüssen gekennzeichnet²⁴ und werden von Ressourcen ausgeführt.²⁵ Die Transformation²⁶ von Eingangs- und Ausgangsgrößen erfolgt in einer hierarchischen Struktur²⁷ von untereinander vernetzten Teilprozessen.²⁸

Aktivitäten können dabei prinzipiell durch Menschen oder Maschinen ausgeführt werden. Je nach Fachrichtung unterscheidet sich der Prozessbegriff. So werden z.B.

¹⁹ s. Albers et al. 2012b

²⁰ Albers et al. 2012b, S. 101f.

²¹ vgl. Albers 2013

²² Albers et al. 2012b, S. 101f. [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

²³ Albers und Braun 2011, S. 8

²⁴ vgl. Eekels 2000 und 2001, sowie Davenport 1993, S.5

²⁵ vgl. van der Aalst und van Hee 2004

²⁶ vgl. Roelofsen 2011, S. 13

²⁷ vgl. Lehmann 2008

²⁸ vgl. van der Aalst und van Hee 2004

in der Produktionstechnik vorrangig wertschöpfende Maschinenprozesse betrachtet, für die Sachmittel aufgewendet werden müssen. Hingegen werden unter Aktivitäten der Produktentwicklung oft mentale Prozesse verstanden, die v.a. durch Intuition gekennzeichnet sind. Sie verursachen Kosten für Personal, Validierungsprozesse etc. und führen nur mittelbar – aber ursächlich – zu Erträgen. Während kreative Entwicklungstätigkeiten vornehmlich von Menschen ausgeführt werden, können vereinzelte diskursive oder recherchierende Tätigkeiten auch algorithmisch beschrieben und damit auch von Maschinen abgearbeitet werden. Die unterschiedlich besetzten Begriffe je nach Fachrichtung sind ein Beispiel für die herausfordernde Ambiguität von Produktentstehungsprozessen. Aus den vielfältigen und divergenten Blickwinkeln ergibt sich die Notwendigkeit gemeinsamer Verständnismodelle in der Produktentstehung. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass Produktentstehungsprozesse durch eine Vielzahl von Aufgaben und Anforderungen geprägt sind. Sie umfassen organisierende, kontrollierende, koordinierende und informierende Tätigkeiten.²⁹

Folgende Charakteristika von Produktentstehungsprozessen sind für die vorliegende Arbeit von Bedeutung. Entgegen Geschäftsprozessen, die leicht zu definieren, von Wiederholungen gekennzeichnet und in ihren Ausgangsgrößen verifizierbar sind³⁰, zeichnen sich Entwicklungstätigkeiten in Produktentstehungsprozessen durch Unsicherheit, Mehrdeutigkeit und ein erhöhtes Risiko aus.³¹ Sie erfolgen eher in Netzwerken als in Prozessketten und sind synchroner, „flexibler und agiler, als ihre relativ fixierten Gegenstücke“. ³² Dies begründet sich v.a. in veränderlichen Zielen, die sie komplex, intransparent und polytelisch (vielzielig) machen.³³ Vor allem sind Produktentstehungsprozesse aufgrund individueller Zielvorgaben und Randbedingungen immer einzigartig.³⁴ Hierbei spielt auch der jeweilige Zustand bzw. die veränderliche Verfassung der handelnden Akteure eine wichtige Rolle („Tagesform“). Daher wird in dieser Arbeit im Plural von Produktentstehungsprozessen gesprochen. Produktentstehungsprozesse sind nur auf einer sehr abstrakten Ebene vergleichbar.³⁵ CLARKSON und ECKERT halten fest, dass gegenwärtig nur ein begrenztes theoretisches Verständnis darüber bestehe, wie Produkte deren Entstehungsprozesse beeinflussen und umgekehrt. Weiterhin bestünde nur ein begrenztes Verständnis

²⁹ s. Wallmeier 2001

³⁰ Browning et al 2006, S. 114

³¹ s. de Meyer et al. 2002

³² Browning et al 2006, S. 114 (eigene Übersetzung)

³³ vgl. Badke-Schaub und Frankenberger 2003

³⁴ s. Albers 2010 und Albers et al. 2010a

³⁵ Clarkson und Eckert 2005, S.4f

darüber, wie diese von Entwicklern und Nutzern beeinflusst würden und welche Einflüsse diese Beziehungen untereinander aufwiesen.³⁶

Der Begriff des Prozesses ist skalierbar. Von elementaren Handlungen, wie dem Anfertigen einer Skizze, bis hin zur Gesamtheit aller denkbaren Abläufe zu Erstellung und Vertrieb eines Produkts, dienen Prozesse der Produktentstehung dem übergeordneten Ziel der Sicherstellung des Unternehmenserfolgs. In einem über einzelne Unternehmen hinaus reichenden Betrachtungswinkel summieren sich deren jeweilige Prozesse insgesamt zum gesellschaftlichen „technischen Fortschritt“³⁷.

1.1.3 Bedeutung erfolgreicher Produktentstehungsprozesse

„Technischer Fortschritt entsteht durch Innovationen, bei denen drei Phasen unterschieden werden:

(1) Phase der Invention (Erfindung): Erarbeitung naturwissenschaftlich-technischen Wissens, von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen und Erfindungen.

(2) Phase der Innovation: Die erstmalige kommerzielle Anwendung führt zur Erweiterung des technischen Könnens und zur Entstehung von Produkt-, Material- und/oder Verfahrensinnovationen; Hauptaktivitäten sind u.a. Konstruieren, Experimentieren mit Prototypen, montagegerechte Anwendung und Verwertung in der Produktion und erste Marketingbestrebungen.

(3) Phase der Diffusion: Die Innovationen werden mittels Marketingaktivitäten und Technologietransfer in Form von Materialien, Produkten, Verfahren (Investitionsgütern), Patenten und Lizenzen wirtschaftlich verwertet; ihre Anwendung breitet sich dadurch aus (diffundiert).“³⁸

Diese Definitionen schließen den Innovationsbegriff des Volkswirts SCHUMPETER ein, nach dem erst eine erfolgreiche Umsetzung am Markt eine Invention zu einer Innovation mache.³⁹ Dabei ist die sogenannte „frühe Phase“⁴⁰ von Produktentstehungsprozessen von besonderer Bedeutung. Frühe Entscheidungen über ein Produktkonzept – also die Definition eines technischen Systems, das in seiner Ausgestaltung auf den Markt abgestimmt und zusammen mit einem geeigneten Produktionssystem validiert wurde – bestimmen maßgeblich die Eigenschaften eines Produkts. „80 % der Produktfehler werden in der Entwicklungsphase früh erzeugt,

³⁶ ebda.

³⁷ s. Klodt und Schäfer 2013

³⁸ ebda.

³⁹ s. Albers 2013

⁴⁰ vgl. Albers und Muschik 2010b

aber leider erst zu 70 % in der Montage und im Versuch spät entdeckt.“⁴¹ Die Kosten für eine Fehlerbehebung in späteren Phasen (z.B. nach Serienanlauf, nach Auslieferung an den Kunden) potenzieren sich um den Faktor zehn von Phase zu Phase.⁴² Daher gilt es, Fehler möglichst früh zu erkennen⁴³, indem z.B. eine (realitätsnahe) Validierung der qualitativen Funktionserfüllung erfolgt.⁴⁴ Der Produktentwicklung kommt als menschenzentrierte, integrierende Schnittstelle bei der Fehlererkennung bzw. -vermeidung eine zentrale Rolle zu. Nach BADKE-SCHAUB und FRANKENBERGER lägen die Fehlerursachen meist nicht im technischen Bereich, sondern gingen auf psychologische, organisatorische oder kommunikative Faktoren zurück, die sich in Form von Zeit- und Kostendruck äußerten. Erkannt werden könnten die Fehler jedoch erst spät in der technischen Umsetzung.⁴⁵

Erfolgreiche Produktentstehungsprozesse sind essenziell für produzierende Unternehmen. Durch den gewinnbringenden Verkauf von Produkten wird Umsatz erwirtschaftet, der zur Deckung der Unternehmenskosten beiträgt. Das Produkt muss die Kundenbedürfnisse so erfüllen, dass ein konkurrenzfähiger Preis am Markt erzielt werden kann. Neben einer rein technischen Perspektive auf das Produkt, kann erst der Blick auf den „menschlichen [Produktentstehungs-]Prozess“ eine hohe Prozessqualität und damit eine hohe Produktqualität ermöglichen.⁴⁶

Im globalen Wettbewerb gilt der „Imperativ der Produktivität“ nicht nur einzelnen Unternehmen, sondern ganzen Wirtschaftsräumen. Nach Einschätzung der Unternehmens- und Strategieberatung MCKINSEY & COMPANY seien Produkt- und Prozessinnovation der Schlüssel zur Aufrechterhaltung der Generierung von Wohlstand.⁴⁷ Hierfür müsse in westlichen Ökonomien die Arbeitsweise des 20. Jahrhunderts, die durch Fabrikarbeit geprägt gewesen sei, in eine wissensbasierte Arbeitsweise überführt werden. So erforderten 85 % der in den USA in der vergangenen Dekade neu geschaffenen Arbeitsstellen komplexe Fähigkeiten wie die Analyse von Informationen, Problemlösung, Entscheidungsfindung und kreatives Denken. Gleichwohl zeige eine Analyse, dass die Hälfte der Interaktionen solcher Beschäftigter nicht die gewünschte Wertsteigerung erbringe. Menschen suchten Informationen, ohne zu wissen, woher sie diese bekommen könnten, oder welche

⁴¹ vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 139

⁴² ebda. nach Clark und Fujimoto 1992. Genannt sind „Konzeptphase“, „Entwurfsänderung“, „Produktionsvorbereitung“, „Serienanlauf“ und „beim Kunden (Rückrufaktion)“ mit Kosten von 10 € bis 100.000 €.

⁴³ vgl. Reinhart et al. 1996

⁴⁴ s. Meboldt et al. 2012 und Abschnitt 8.2.3.2

⁴⁵ Ehrlenspiel 2007, S. 139 nach Badke-Schaub und Frankenberger 2003

⁴⁶ Ehrlenspiel 2007, S. 157 [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

⁴⁷ Bisson et al. 2010

Informationen sie benötigten. Oder aber sie verlören sich in ineffizienten Bürokratien. Während sich das erzeugte Datenvolumen in den kommenden fünf Jahren verfünffachen werde, gingen selbst großzügige Schätzungen davon aus, dass weniger als zehn Prozent der Informationen zweckgemäß organisiert sein werden. Die Autoren sähen in Web 3.0 Technologien⁴⁸ einen Weg, dem „Datenlärm“ in der nächsten Dekade⁴⁹ Herr zu werden. Sie ermöglichten „smarte“ Daten, die sich intelligent mit anderen Daten kombinieren ließen – meist ohne direktes menschliches Zutun.⁵⁰ Diese Bedeutung effektiver und effizienter Produktentwicklung unterstreicht eine Studie von HOWELL und SHEA. Demnach sähen die Vorstände großer Unternehmen darin mit 75 % Zustimmung die größte Chance zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit ihrer Unternehmen – weit vor Verbesserungen der Produktionsprozesse oder Investitionen in ihre Infrastruktur.⁵¹

Die Diskussion um einen zweckmäßigen Umgang mit Wissen und Informationen führt zu einem Begriff, der sich in der nationalen und internationalen Politik zu einem Leitbild für das 21. Jahrhundert entwickelt hat. Die Forderung nach "Nachhaltigkeit" ist meist ökologisch motiviert und hat ihren Ursprung in der Forstwirtschaft.⁵² Angesichts des demographischen Wandels und der wirtschaftlichen Randbedingungen in den westlichen Hochlohnländern gilt es jedoch auch, nachhaltig mit der täglichen Entwicklungsarbeit eines Unternehmens umzugehen. Daraus ergibt sich die Forderung nach ressourcenschonenden Prozessen in der Wissensarbeit. Mit einer geeigneten Informationskultur muss die Voraussetzung geschaffen werden, (neues) Wissen in die Produktentstehung zu integrieren. Mit Blick auf die Wissensträger – die Menschen im Zentrum der Produktentstehung – ergeben sich außerdem die Forderungen nach einer geeigneten Bereitstellung von bestehendem Wissen für laufende Prozesse und insbesondere nach der Sicherung von Expertenwissen über ein Arbeitsleben hinaus.

1.2 Herausforderungen und Fokus

„Every leaf of a tree has a different shape. One cannot understand form and function of a leaf without considering it as part of a whole tree with connections to the soil, the climate in which it grows and the animals living

⁴⁸ Web 3.0 bezeichnet das Ziel einer Weiterentwicklung des World Wide Nets (www) bzw. des Internets, so dass Maschinen die von Menschen zusammengetragenen Informationen auf Basis semantischer Zusatzinformationen (Metadaten) verarbeiten können (s. Hengartner und Meier 2001).

⁴⁹ Gemeint sind die 2010er Jahre.

⁵⁰ Bisson et al. 2010

⁵¹ Howell und Shea 2001, S. 15

⁵² Hans Carl von Carlowitz (1645-1714), ein sächsischer Forstbeamter, prägte das Konzept der Nachhaltigkeit in seinem Werk "Sylvicultura Oeconomica" zur Leipziger Ostermesse 1713. Es fordert, der Natur zurückzugeben, was der Mensch sich aus ihr nimmt (s. von Carlowitz 1713, S. 111).

*with it. One cannot succeed in describing a whole system from the point of view of one single part of it.*⁵³

Dieses Zitat entstammt einem Artikel über die christliche Kirche. Gleichwohl kann es aber eins zu eins auf die Produktentstehung übertragen werden.⁵⁴ Es stellt eine wichtige Forderung an die Wissensarbeit dar und veranschaulicht, dass eine ganzheitliche Betrachtung notwendig ist, um Aussagen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen einzelner Aspekte treffen zu können. So sind neben Produkt und Prozess auch Markt und Organisation wichtige Aspekte, die voneinander abhängen und nicht losgelöst voneinander betrachtet werden dürfen.⁵⁵ Erst eine umfassende Kenntnis über die Zusammenhänge der Produktentstehung und die Auswirkungen von Entscheidungen würde ein zielgerichtetes, „optimales“⁵⁶ Handeln möglich machen. Jedoch findet die Produktentstehung in einem Umfeld statt, in dem sehr viele Aspekte in Wechselwirkung untereinander stehen. Darüber hinaus sind diese zeitlich instabil, d.h. Zustände verändern sich während laufender Prozesse. Daher ist es ohne Unterstützung unmöglich, eine ausreichende Kenntnis aller Aspekte und ihrer Zusammenhänge zu einem bestimmten Zeitpunkt vorauszusetzen. PUHL schließt eine Bestimmung aller Wirkzusammenhänge sogar gänzlich aus.⁵⁷

Dies ist den vielfältigen Randbedingungen geschuldet, unter denen die Produktentstehung heute erfolgen muss. Zu den Herausforderungen zählen:

- kürzere Produktlebenszyklen;
- die vermehrte Integration von mechanischen, elektrischen und informationstechnischen Komponenten in Produkten;
- interdisziplinäre und internationale Entwicklungsteams;
- hohe Kosten und Risiken von Entwicklungsprozessen;
- eine verstärkte Einbindung von Zulieferern und Kunden in Entwicklungsprozesse;
- höhere Qualitätsstandards;
- ein verschärfter internationaler Wettbewerb;
- ein Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt;

⁵³ Albers et al. 2010a, S. 15 nach Sandmeyer 2009

⁵⁴ nach Albers et al. 2010a, S. 15

⁵⁵ vgl. Lindemann et al. 2009, S. 4f. und S. 27

⁵⁶ Im Kontext dieser Arbeit ist hiermit die globale Lösung eines n-dimensionalen Mehrzielproblems gemeint.

⁵⁷ Puhl 1999, S. 101

- sowie eine verstärkte Spezialisierung von Wissen und Fertigkeiten in den Fachgebieten.⁵⁸

In der vorliegenden Arbeit werden diese Randbedingungen unter dem Aspekt der Komplexität zusammengefasst. Entsprechend der Basisdefinition der Kybernetik werden einfache, komplizierte und komplexe Probleme unterschieden.⁵⁹ Einfache Probleme sind von wenigen Parametern charakterisiert, die kaum untereinander vernetzt sind. Komplizierte Probleme hingegen besitzen viele hochvernetzte Parameter.⁶⁰ Komplexe Probleme sind darüber hinaus durch hochdynamische Veränderungen gekennzeichnet.⁶¹ Zusätzlich zu diesen Aspekten zeichnen sie sich [im Kontext der Produktentstehung] durch Multidimensionalität aus, d.h. sie können mehreren Domänen zugeordnet werden. Sie sind außerdem beeinflussbar, unterliegen also inneren oder äußeren Einflüssen wie z.B. Änderungen von Randbedingungen. Ferner können komplexe Probleme von Intransparenz und/oder Unsicherheit gekennzeichnet sein.⁶² Zusammenfassend gliedern LINDEMANN ET AL. Komplexität in numerische, relationale, variationale, disziplinäre und organisationale Aspekte.⁶³ Im Folgenden werden drei übergeordnete Ausprägungen diskutiert: strukturelle, dynamikgetriebene und humaninduzierte Komplexität.

1.2.1 Strukturelle Komplexität

Strukturelle Komplexität ergibt sich aus der Anzahl und Verschiedenartigkeit der Elemente und Relationen eines Systems.⁶⁴ Sie beschreibt dessen innere Ordnung.⁶⁵ Die Elemente können durch Attribute näher spezifiziert werden; ebenso können Relationen parametrisiert werden.⁶⁶ Die Beziehungen von Systemelementen lassen sich in einer funktionalen Betrachtung als Flussgrößen auffassen.⁶⁷ Die systemische Betrachtung struktureller Komplexität wird detailliert in Abschnitt 2.3.1 im Stand der Forschung betrachtet. Für die Eingrenzung des Fokus dieser Dissertation ist zunächst folgende Aussage von Bedeutung: Die Struktur bestimmt das Verhalten von Produkten oder Prozessen.⁶⁸ Nach MAURER stellt die Struktur ein Netzwerk dar.⁶⁹

⁵⁸ vgl. Averbeck 2011 (betreute Abschlussarbeit) nach Ehrlenspiel 2007 und Cross 2008

⁵⁹ s. Gomez und Probst 1997 nach Wiener 1948

⁶⁰ s.a. Geraldi et al. 2011, S.976

⁶¹ Lindemann et al. 2009 et al., S. 25 (nach eigener Übersetzung)

⁶² Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 86 mit Bezug auf Lindemann et al. 2009 [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

⁶³ Lindemann et al. 2009, S. 29.

⁶⁴ Biedermann et al. 2010 nach Maurer 2007, s.a. Patzak 1982, S. 22ff.

⁶⁵ Haberfellner et al. 2012, S. 35

⁶⁶ s. Biedermann et al. 2010

⁶⁷ s. Albers und Muschik 2010a mit Bezug auf Ropohl 2009

⁶⁸ Lindemann et al. 2009, S. 17 nach Maurer et al. 2005; s.a. Maurer 2007, S. 17

⁶⁹ Maurer 2007, S. 32

Dieses kann in Form unterschiedlicher Strukturformen wie Sternstrukturen, Netzwerkstrukturen, Strukturen mit Rückkopplungen, geschichtete Strukturen oder hierarchische Strukturen auftreten.⁷⁰ Das einfachste Strukturmodell sind Graphen, die durch eine Menge von Knoten bzw. Elementen sowie eine Menge von Kanten bzw. Relationen beschrieben werden.⁷¹ Sie werden in Abschnitt 2.5.1.8 dieser Arbeit besprochen.

Wissen, wie ebenfalls im Stand der Forschung in Abschnitt 2.1 erläutert wird, kann als Information im Kontext definiert werden. Daher sind die Systemstruktur und Möglichkeiten ihrer Repräsentation in geeigneten Modellen ein zentraler Aspekt der vorliegenden Arbeit. Es wird gezeigt werden, dass damit ein Rahmen bereitgestellt werden kann, um das komplexe Geschehen der Produktentstehung erfolgreich zu systematisieren. Besondere Bedeutung hat dabei der Begriff des „System-of-Interest“. Nach ALBERS ET AL. bezeichnet er einen zweckgerichteten Ausschnitt eines größeren Zusammenhangs. Er bilde die Grundlage für eine Skalierbarkeit von Systembetrachtungen – immer relativ zum jeweils betrachteten Kontext.⁷² Dies ist umso wichtiger, als dass in der Produktentstehung verschiedenste Ziele aus unterschiedlichen Perspektiven (z.B. Entwicklungsarbeit und Management) nebeneinander bestehen.

1.2.2 Dynamikgetriebene Komplexität

Dynamische Komplexität basiert auf einer diffizilen zeitlichen Entwicklung von Zustandsgrößen einzelner Systemelemente oder des gesamten Systems, abhängig von deren Wechselwirkungen.⁷³ Die Dynamik und Veränderung des Systems wird stark von der Offenheit der Systemgrenze und damit der Interaktion zu anderen Systemen beeinflusst, wodurch auch die Systemumgebung mit in die Komplexitätsbetrachtung einfließt.⁷⁴ In der Produktentstehung äußert sich dies bspw. in dynamischen Veränderungen von Zielen und Randbedingungen.⁷⁵ Neben solchen äußeren Ursachen erhöhen auch systemimmanente Aspekte die dynamische Komplexität. So ergeben sich im frühen Verlauf von Entwicklungsprozessen typischerweise Abweichungen von geplanten Verläufen, die auf unzureichend definierte Ziele zurückzuführen sind. Solche Unsicherheiten⁷⁶ gehen auf mangelndes

⁷⁰ Hellenbrand 2013, S. 48 nach Habermellner et al. 2012, S. 35; Patzak 1982, S.39 ff. und Bruns 1991, S. 49ff.

⁷¹ Biedermann et al. 2010 nach Harary et al. 1965

⁷² vgl. Albers et al. 2012a

⁷³ Biedermann et al. 2010 nach Diepold et al. 2010

⁷⁴ Hellenbrand 2013, S. 60 nach Felgen 2007, S. 15

⁷⁵ vgl. Muschik 2011 und Baumberger 2007, S.133

⁷⁶ vgl. Lévárdy und Browning 2009, S. 603, Malik 2003 und Danilovic und Sandkull 2002

Wissen oder mangelnde Festlegung zurück⁷⁷; außerdem können Fehler eine Ursache von Unsicherheit und Änderungen sein, was im folgenden Abschnitt dargestellt wird.

Dynamische und strukturelle Komplexität sind nicht unabhängig voneinander. Die Struktur legt einen Rahmen für das Verhalten und die Funktion eines Systems fest. LINDEMANN ET AL. folgern aus verschiedenen Literaturarbeiten⁷⁸, dass Auswirkungen eines Systems oder seines Verhaltens abgeschätzt werden könnten, wenn die Systemstruktur zugänglich gemacht werden könnte.⁷⁹

Ein Beispiel hierfür ist die Ausbreitung von Änderungen in einem System, die in der „Change Prediction Methode“ beschrieben wurde. Basierend auf einem Modell der Abhängigkeiten von Systemelementen können damit Wahrscheinlichkeit und Auswirkung der Änderung eines Elements prognostiziert werden.⁸⁰ Grundsätzlich gibt es eine Vielzahl dynamischer Modellierungsformen, die sich aus drei Grundformen (kontinuierliche Systeme, zeitdiskrete Systeme und endliche Zustandsautomaten (ereignisdiskret)) sowie deren Kombinationen ergeben.⁸¹

1.2.3 Humaninduzierte Komplexität

In der Produktentstehung müssen unterschiedliche Fachkompetenzen wie Betriebswirtschaft, Management oder technische Entwicklung integriert werden.⁸² Deswegen können komplexe Projekte nicht von einzelnen Personen bewältigt werden⁸³, sondern müssen im Team bearbeitet werden.⁸⁴ Folglich erfordert eine ganzheitliche Betrachtung der Komplexität neben externen Randbedingungen des Marktes und internen strukturellen und dynamischen Aspekten von Produkt und Prozess auch organisatorische Faktoren.⁸⁵ Diese wurden von DANILOVIC und SANDKULL aus der Perspektive des Projektmanagements beleuchtet.⁸⁶ Nach WEBER ergebe sich die Prozesskomplexität aus der Interaktion der beteiligten Disziplinen und umfasse die organisatorische Komplexität.⁸⁷ Diese Perspektiven lenken den Blick auf die beteiligten Individuen und deren Interaktionen.

⁷⁷ vgl. Albers et al. 2011d

⁷⁸ Sharman und Yassine 2004, Rapp 1999, Baldwin und Clark 2000

⁷⁹ Lindemann et al. 2009, S. 37 nach Lindemann et al. 2005; s.a. Biedermann et al. 2010 nach Kreimeyer 2010 und Wend 1993

⁸⁰ s. Clarkson et al. 2001

⁸¹ Biedermann et al. 2010 nach Diepold et al. 2010

⁸² vgl. Ehrlenspiel 2007

⁸³ s. Ehrlenspiel und Dylla 1993

⁸⁴ s. Winner et al. 1988 und Ehrlenspiel 2007

⁸⁵ Lindemann et al. 2009, S. 27

⁸⁶ Danilovic und Sandkull 2002

⁸⁷ Lindemann et al. 2009, S. 29 nach Weber 2005, S. 4f.

Grundsätzlich besteht in einer interdisziplinären oder „transdisziplinären“⁸⁸ Produktentstehung eine kognitive Distanz.⁸⁹ Diese ergibt sich aus unterschiedlichen Wissens- und Erfahrungswelten der beteiligten Personen. Sie stellt einerseits eine Hürde dar, aus der sich Missverständnisse und Fehler als Komplexitätstreiber ergeben können. Andererseits ist sie in modernen⁹⁰ Produktentstehungsprozessen unumgänglich, um Wissenslücken zu schließen bzw. Kompetenzen zu ergänzen.

Der Blick auf die Menschen und deren (Zusammen-)Arbeit in der Produktentstehung stellt ein umfangreiches Forschungsfeld dar. Die kognitionspsychologischen Arbeiten von DÖRNER erlauben grundlegende Aussagen über Ursachen und Bedingungen individuellen menschlichen Denkens und Handelns.⁹¹ Sie dienen insbesondere als Erklärungsmodelle für Fähigkeiten aber auch Unzulänglichkeiten menschlicher Kognition. Bezogen auf die Produktentwicklung und die Arbeitspsychologie entstanden darauf aufbauend zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten.⁹² Dazu zählen u.a. die Untersuchungen zur Analyse technischer Anforderungen⁹³, zum Einsatz und Nutzen einfacher Hilfsmittel bei Entwurfsprozessen⁹⁴, sowie zur iterativen Zielklärung und Handlungsplanung in der Entwicklung.⁹⁵ Weitere wesentliche Referenzen in diesem Forschungsbereich sind die Beiträge der Sammelwerke „Designers – The Key to Successful Product Development“⁹⁶, „Denken in der Produktentwicklung – Psychologische Unterstützung der frühen Phasen“⁹⁷ und „Human Behaviour in Design“.⁹⁸

1.3 Übergeordnete Zielsetzung

Im voranstehenden Abschnitt wurde die Komplexität der Produktentstehung als zentrale Herausforderung beschrieben. Sie wird neben strukturellen und dynamischen Aspekten vor allem durch menschliche Eigenschaften hervorgerufen. Letztere sind nach DÖRNER kognitive Einschränkungen der Denkleistung (z.B. begrenztes Arbeitsgedächtnis), Protektionismus, (Vor-)Fixierung auf Ausschnitte eines Gesamtproblems, oder aber eine zu abstrakte Betrachtung, sowie ein

⁸⁸ s. Hellenbrand 2013, S. 13 nach Beneke 2004

⁸⁹ vgl. Ibert und Kujath 2011

⁹⁰ Hier sind Produktentstehungsprozesse gemeint, die unter den in Abschnitt 1.1.2 genannten Randbedingungen erfolgen.

⁹¹ Dörner 1979

⁹² Hacker 2005

⁹³ Schroda 2000

⁹⁴ Römer 2002

⁹⁵ Müller 2007

⁹⁶ Frankenberger et al. 1998

⁹⁷ Hacker 2002

⁹⁸ Lindemann 2003

unzureichender Umgang mit Informationen.⁹⁹ LINDEMANN ET AL. sehen darin die Ursache für Fehler im Umgang mit Komplexität wie z.B. vorschnelles und einseitiges Handeln, ad hoc Entscheidungen etc.¹⁰⁰

Um den Umgang mit der Komplexität der Produktentstehung zu unterstützen, wird im Rahmen dieser Dissertation ein modellbasierter Ansatz zur Strukturierung von Informationen betrachtet. Dieser soll Transparenz schaffen, indem Struktur und dynamisches Verhalten, bzw. dessen zugrundeliegenden Regelmechanismen, explizit gemacht werden. Die Repräsentation von Informationen in einem übergeordneten Kontext stellt nach NORTH Wissen dar.¹⁰¹ Dieses wiederum bilde die Basis für einen kompetenten Umgang mit Komplexität.¹⁰² Dies bedeutet, dass die Beteiligten eines Produktentstehungsprozesses in die Lage versetzt werden sollen, Informationen in den Rahmen eines übergeordneten Verständnisses von Wirkzusammenhängen der Produktentstehung einzuordnen. Es soll dabei nicht jeder Beteiligte alle Informationen bewältigen müssen, sondern nur relevante Ausschnitte bearbeiten, und dies durch geeignete Schnittstellendefinitionen zurück ins Gesamtsystem spiegeln können.¹⁰³ Dies wiederum soll begründete Entscheidungen möglich machen und ein zielorientiertes Handeln erlauben. In dieser Betrachtung folgt aus der Kompetenz von Prozessbeteiligten auch immer eine Verantwortung – für Produkt bzw. Teilsysteme, Prozess bzw. Handlungssysteme¹⁰⁴, für Organisation bzw. kontinuierliche Verbesserung, sowie in Konsequenz dieser: für den technischen Fortschritt. Diese ganzheitliche Betrachtung manifestiert sich mit dem eingangs eingeführten Begriff der Systemkonstruktion in einer verantwortungsvollen, nachhaltigen Produktentwicklungsphilosophie.

In dieser Arbeit wird gezeigt, dass die explizite Modellierung von Informationen im Kontext eine notwendige Voraussetzung bildet, um den Menschen in der Produktentwicklung zu unterstützen – und nicht etwa darauf abzielt, ihn zu ersetzen. Aus ihr kann eine Transparenz resultieren, die helfen kann, einen Überblick über die Abhängigkeiten des Austauschs, der Veränderung und Ausbreitung von Informationen zu schaffen.¹⁰⁵ Die Grundlage hierfür bildet die Systemstruktur. Nach LINDEMANN ET AL. erfordere deren Explizierung die Bestimmung relevanter Domänen, die Akquise von Informationen, das Kondensieren von Informationen zu individuellen Sichten und deren systematische Anwendung auf konkrete Probleme der

⁹⁹ Dörner 2000, S. 288ff.

¹⁰⁰ Lindemann et al. 2009, S. 30

¹⁰¹ vgl. North 2011 und Abschnitt 2.1

¹⁰² vgl. Hoffmann et al. 2011

¹⁰³ vgl. Browning et al. 2006, S. 124

¹⁰⁴ vgl. Abschnitt 2.3.2

¹⁰⁵ vgl. Jarratt et al. 2004

Produktentstehung¹⁰⁶ – Forderungen, aus denen Teilziele dieser Dissertation gefolgert werden. ALBERS und LOHMEYER mahnen hierfür analog zu bereits genannten Quellen eine ganzheitliche Betrachtung an. Außerdem sei nur durch eine durchgängige und konsistente Integration von Modellen in Produktentstehungsprozesse eine Anwendbarkeit zu erreichen – insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen. Die Anwendbarkeit erweise sich letztlich in Form einer adaptiven Methodik, die durch eine konsequente Ausrichtung auf den Menschen im Zentrum der Produktentstehung die notwendige Akzeptanz der Anwender finde.¹⁰⁷

Somit ist die vorliegende Dissertation als Querschnittsarbeit zwischen verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen einzuordnen. Sie zielt auf wirtschaftswissenschaftliche Aspekte ab; ihre Hintergründe liegen hingegen in den Sozialwissenschaften bzw. im Feld der Arbeitspsychologie. Der wesentliche Beitrag soll aus einer ingenieurwissenschaftlichen Perspektive geleistet werden. Hier liegt das Hauptaugenmerk auf einer Erörterung der strukturellen Grundlagen für eine modellbasierte Unterstützung der Produktentwicklung.

1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist durch das übergeordnete Ziel der Unterstützung der Produktentwicklung motiviert. Hierfür soll erörtert werden, ob durch Verknüpfung von Informationen im Kontext der Produktentstehung eine hinreichende Transparenz für die Repräsentation, Analyse und Verbesserung von Prozessen ermöglicht werden kann. Eine ganzheitliche Betrachtung soll dabei der polytelischen Natur der Produktentstehung Rechnung tragen. Überdies sollen verschiedene Perspektiven und deren Schnittstellen durch einen durchgängigen Ansatz berücksichtigt werden. Horizontale Durchgängigkeit bildet zeitliche Zusammenhänge z.B. entlang des Produktlebenszyklus ab.¹⁰⁸ Vertikale Durchgängigkeit beschreibt granulare Abstufungen von Abstraktions- oder Detaillierungsgrad.¹⁰⁹ Ergänzend hierzu dient die orthogonale Durchgängigkeit der Repräsentation von personen- oder prozessübergreifenden Zusammenhängen und bildet die Basis für eine individuelle oder organisationale Akzeptanz des Ansatzes zur Unterstützung.

Damit soll ein expliziter Rahmen definiert werden, in dem Informationen zu Wissen verknüpft werden können. Potentiell kann damit auch implizit vorliegendes Wissen über Ursache-Wirkungs-Ketten in Produktentstehungsprozessen verfügbar gemacht

¹⁰⁶ vgl. Lindemann et al. 2009, S. 17ff.

¹⁰⁷ vgl. Albers und Lohmeyer 2012

¹⁰⁸ s. Albers und Lohmeyer 2012

¹⁰⁹ ebda.

werden. Ein Beispiel für einen konkreten Nutzen, der sich daraus ergeben kann, ist die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen. Gleichzeitig ergibt sich jedoch auch die Frage nach den Grenzen dieses Ansatzes. So gilt es zu erörtern, wie sich eine Modellierungstechnik für die ganzheitliche und durchgängige Repräsentation von Informationen eignet. Auch die Umsetzung des Ansatzes wirft Fragen auf. So ist zu klären, welche Form der Werkzeugunterstützung sich eignet und welche Faktoren die Anwendbarkeit und Akzeptanz auf persönlicher oder organisationaler Ebene bedingen.

Nachstehend wird das Forschungsdesign der Dissertation, mit dem die oben dargestellten Ziele verfolgt werden, umrissen – eine ausführliche Darstellung der Forschungsmethodik folgt in Kapitel 4.

1.4.1 Forschungsdesign

Der vorliegenden Arbeit werden Ansätze zugrunde gelegt, die am IPEK – Institut für Produktentwicklung – entwickelt wurden. Die sogenannte „Karlsruher Schule“ stellt einen generalisierten Rahmen für die Produktentstehung dar, der gleichermaßen deskriptiven und präskriptiven Charakter hat. Er basiert auf langjährigen Erfahrungen in Wissenschaft und Praxis, und baut auf Hypothesen auf, die zahlreiche Arbeiten des Stands der Forschung widerspiegeln.¹¹⁰ Aus diesen Vorarbeiten wird ein Erklärungs- und Vorgehensmodell abgeleitet, das den Forderungen nach Ganzheitlichkeit, Durchgängigkeit und Anwendbarkeit Rechnung trägt. Im Rahmen einer Literaturrecherche wird dieses in den Stand der Forschung eingeordnet und davon abgegrenzt. Außerdem werden die theoretischen Grundlagen der Arbeit betrachtet.

Neben dieser recherchierenden bzw. deduktiven Vorgehensweise finden im weiteren Verlauf der Arbeit deskriptive und präskriptive Studien Anwendung. Damit wird das Ziel der Umsetzung einer modellbasierten Unterstützung der Produktentwicklung systematisch verfolgt. Zunächst werden abgeschlossene Projekte analysiert, um Anforderungen für eine Implementierung des gewählten Modellierungsansatzes zu bestimmen. Auf Basis der daraus gewonnenen Erkenntnisse werden verschiedene Klassen von Werkzeugen explorativ auf ihre Eignung zur Implementierung des Ansatzes hin untersucht. Gleichzeitig werden dabei verschiedene Ausprägungen von Umsetzungen gegenübergestellt, um zu erörtern, *was* jeweils implementiert werden kann, und *wie* dies erfolgen kann. Die verschiedenen Umsetzungen werden in realen Produktentstehungsprozessen angewendet. Dieses sogenannte „Action Rese-

¹¹⁰ Albers und Braun 2011 nach Albers 2010

arch“¹¹¹, bei dem die Forscher einen direkten Einfluss auf den Forschungsgegenstand haben, erlaubt Rückschlüsse auf generelle Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung. Aus einer theoretischen Betrachtung dieser lässt sich schließlich ein Fazit auf konzeptioneller Ebene ziehen.

Das Forschungsdesign führt zu folgendem Aufbau der Dissertation (s. Abbildung 1).

1.4.2 Aufbau der Arbeit

1 Einleitung und Motivation	
2 Stand der Forschung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Systemtheorie, Modelltheorie ▪ Prozessmodellierung, Werkzeuge 	
3 Zielsetzung	4 Vorgehensweise
5 Spezifikation von Erfolgsfaktoren	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ deskriptive Studien zur Bestimmung von Schlüsselfaktoren 	
6 Vorstudien	7 Hauptstudien
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erprobung von Werkzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluation der Schlüsselfaktoren
8 Implikationen	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung 	
9 Zusammenfassung und Ausblick	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ weiterführende Studien 	

Abbildung 1: Aufbau der vorliegenden Dissertation

In Kapitel 1 wurde einleitend die Motivation für die vorliegende Arbeit begründet. Die Herausforderungen der Produktentstehung wurden in Form verschiedener Ausprägungen der Komplexität detailliert betrachtet. Dabei wurde deutlich, dass strukturelle Zusammenhänge zugleich Ursache und Ansatzpunkt für eine Bewältigung der Herausforderungen darstellen. Daraus wurde als übergeordnete Zielsetzung abgeleitet, mit Hilfe einer geeigneten Repräsentation von Informationen im Kontext, Transparenz im komplexen System der Produktentstehung zu schaffen.

Hierfür werden im folgenden Kapitel die theoretischen Grundlagen und der aktuelle Stand der Forschung diskutiert. Zunächst wird der Begriff „Wissen“ im Kontext dieser Arbeit beleuchtet. Danach werden die technikphilosophischen Grundlagen der Modell- und Systemtheorie betrachtet. Darauf aufbauend werden anschließend

¹¹¹ s. Ottoson et al. 2006

Ansätze zur Modellierung der Produktentstehung klassifiziert und gegenübergestellt. Darüber hinaus wird in einem weiteren Abschnitt dargelegt, wie diese Ansätze in der Produktentwicklungspraxis Verwendung finden und welche Sprachen bzw. Techniken, sowie Software-Werkzeuge im Stand der Technik für ihre Anwendung zur Verfügung stehen.

Aus dieser umfassenden Literaturbetrachtung werden Handlungsbedarf und Zielsetzung detailliert hergeleitet und in Kapitel 3 dargelegt. Dabei werden Hypothesen aufgestellt, die in dieser Arbeit als Grundannahmen dienen. Weiterhin werden Forschungsfragen formuliert, die die weiteren Ausführungen bestimmen. Dies erlaubt es, den wissenschaftlichen Beitrag dieser Dissertation zu benennen. Abschließend werden in Kapitel 3 der Fokus und die Adressaten der Arbeit eingegrenzt.

Eine Erläuterung der methodischen Vorgehensweise folgt in Kapitel 4. Sie wird zum einen in die „Spiral of Applied Research“¹¹² eingeordnet. Zum anderen wird das Forschungsdesign anhand der „Design Research Methodology“¹¹³ erklärt.

In Kapitel 5 werden Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung formuliert. Sie stellen Anforderungen für eine Realisierung des Ansatzes zur Unterstützung der Produktentwicklung dar. Dafür wird zunächst der Stand der Forschung für diesen Bereich analysiert und begründet, warum weiterführende Studien notwendig sind. Diese Studien führen zu einer Zusammenstellung erfolgskritischer Faktoren der Prozessmodellierung. Weiterhin werden Wirkbereiche beschrieben, in denen sich Formen potentiellen Nutzens und Aufwands klassifizieren lassen. Diese bilden eine generelle Aufstellung der Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung. Ausgehend von dieser Betrachtung, ist es möglich, konkrete Erfolgsfaktoren und messbare Erfolgskriterien zu definieren, anhand derer eine Implementierung des Ansatzes evaluiert werden kann.

In Kapitel 6 werden sieben explorative Vorstudien präsentiert, in denen verschiedene Wege der Umsetzung einer Prozessmodellierung erforscht wurden. Hierfür wird zunächst das zugrunde gelegte Metamodell des gewählten Modellierungsansatzes vorgestellt. Danach folgen die Beschreibungen der einzelnen Studien, die jeweils eine Charakterisierung der betreffenden Studie, des verwendeten Werkzeugs und der Art der Implementierung, sowie eine Darstellung der Erkenntnisse aus der Studie umfassen.

¹¹² s. Eckert et al. 2003

¹¹³ s. Blessing und Chakrabarti 2009

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine Implementierung des Modellierungsansatzes vorgenommen, die in Kapitel 7 vorgestellt wird. Sie stellt eine Operationalisierung des Ansatzes dar, die es erlaubt, eine Bewertung von Möglichkeiten und Grenzen anhand der in Kapitel 5 aufgestellten Erfolgskriterien vorzunehmen. Dies geschieht in zwei Hauptstudien anhand eines akademischen Beispiels mit sieben Projektteams und anhand einer Studie mit einem Industriepartner. Kapitel 7 schließt mit einer „SWOT-Analyse“¹¹⁴, in der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Prozessmodellierung erörtert werden.

In Kapitel 8 werden Schlussfolgerungen aus den Studien gezogen. Dabei werden Nutzen und Aufwand der Modellierung in einer abstrakten Betrachtung diskutiert. Dies führt zu der grundlegenden Annahme, dass eine günstige Relation von Nutzen und Aufwand nicht durch eine „absolute Modellierung“, sondern nur durch eine integrative, eine sogenannte „transsubjektive Modellierung“ erzielt werden kann. Infolge dessen wird das Konzept der transsubjektiven Modellierung in Form eines fraktalen Metamodells und eines generellen Vorgehensmodells eingeführt. Damit wird die zuvor aufgestellte Forderung nach einem expliziten Rahmen für die ganzheitliche und durchgängige, sowie anthropozentrische Repräsentation vernetzter Informationen im Kontext der Produktentstehung erfüllt.

In Kapitel 9 werden die Ergebnisse der Dissertation zusammengefasst. Die Spezifikation von Nutzen und Aufwand wird rekapituliert. Nach einer Zusammenfassung der durchgeführten Studien werden die darin festgestellten Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung aufgeführt und in einem Ausblick mit Maßnahmen zur Förderung der Potentiale, bzw. zur Eindämmung der Grenzen ergänzt. Abschließend wird das Konzept der transsubjektiven Modellierung zusammengefasst und ein Fazit der Dissertation gezogen. Ein Ausblick auf Folgearbeiten schließt die Arbeit ab.

¹¹⁴ s. Abell und Hammond 1979

2 Grundlagen und Stand der Forschung

In diesem Kapitel werden die Forschungslagen im Themenkomplex Prozessmodellierung und die relevante Literatur zu Hintergründen und aktuellen Arbeiten umrissen. Ziel dieser Dissertation ist die Bereitstellung eines Rahmenwerks für einen erfolgreichen Umgang mit der Komplexität der Produktentstehung im Sinne ALBERS'.¹¹⁵ Es basiert auf der expliziten Verknüpfung von Informationen in einem gemeinverständlichen Kontext. Daher werden im Folgenden zunächst die Grundlagen der Handhabung von Wissen in der Produktentstehung erörtert. Der Stand der Forschung zur Modellierung von Prozessen ist sehr umfangreich. Die Basis hierfür sind Modelltheorie und Systemtheorie. Die Forschungsarbeiten können gegliedert werden in übergeordnete Philosophien und Theorien, sowie konkrete Modellierungsansätze mit unterschiedlichen Perspektiven auf die Produktentstehung. Zur Anwendung dieser Ansätze in der Praxis existieren diverse Sprachen bzw. Techniken und Software-Werkzeuge zur Modellierung, sowie Methoden und Vorgehensweisen, wie mit diesen konkrete Modelle erstellt werden können – zu jeweils bestimmten Zwecken. In dieser Arbeit wird die „Karlsruher Schule“ als Ansatz zur Modellierung herangezogen und deren Möglichkeiten und Grenzen zur Unterstützung der Produktentstehung auf konzeptioneller Ebene untersucht. Außerdem werden in explorativen Studien systematisch verschiedenartige Werkzeuge hinsichtlich ihrer Eignung zur Implementierung wichtiger Aspekte der „Karlsruher Schule“ untersucht. Daher umfasst das vorliegende Kapitel auch eine Klassifizierung von Software-Werkzeugen im Verständnis dieser Arbeit.

2.1 Wissen

Wissen ist von zentraler Bedeutung für alle Aktivitäten der Produktentstehung.¹¹⁶ In diesem Abschnitt werden zunächst lernpsychologische Grundlagen erörtert und darauf aufbauend verschiedene Ansätze zum Umgang mit Wissen in Produktentstehungsprozessen vorgestellt.

2.1.1 Kognitions- und lernpsychologische Perspektive

Die Kognitionspsychologie befasst sich mit den psychischen Mechanismen des menschlichen Denkens und stellt ein umfangreiches Forschungsfeld dar.¹¹⁷ Im engeren Kontext der Produktentstehung kann Wissen als die Gesamtheit der

¹¹⁵ vgl. Vorwort zu Lohmeyer 2013

¹¹⁶ vgl. z.B. Ohms 2000

¹¹⁷ s. Roth und Prinz 1996

Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen, definiert werden.¹¹⁸ Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse, als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen ist nicht per se gegeben, sondern muss erlernt werden – wie einleitend beschrieben, stellt dies eine gesellschaftliche Aufgabe dar, der durch politische Förderungsmaßnahmen zum „lebenslangen Lernen“ begegnet wird.¹¹⁹ Die Lernpsychologie erklärt das Lernen als Zyklus von fünf Schritten.¹²⁰

(1) Erlernen von Fakten: In diesem grundlegenden Lernschritt werden Bruchteile von Informationen kennengelernt, bzw. auswendig gelernt. Diese Art zugreifbarer Informationen entspricht dem „factual knowledge“ in der überarbeiteten Lerntaxonomie nach BLOOM.¹²¹

(2) Erlernen von Kontexten: Faktenwissen muss mit anderen Informationen in einem Kontext verknüpft werden, um eine Bedeutung zu bekommen („conceptual knowledge“ nach BLOOM). In verschiedenen Kontexten können sich aus ein und denselben Fakten verschiedene Bedeutungen ergeben. Ein Beispiel hierfür wurde in Abschnitt 1.1.2 mit der unterschiedlichen Auffassung des Begriffs „Prozess“ aufgezeigt.

(3) Üben von Prozeduren für automatisierte Reaktionen: Faktenwissen im Kontext ist eine Voraussetzung für adäquate Reaktionen auf Veränderungen von Situationen. Wenn derartige Reaktionen unbewusst erfolgen, so geschieht dies im impliziten (auch „prozeduralen“ oder „nicht-deklarativen“) Gedächtnis. Der entsprechende Lernprozess ist das „Training“ – es mündet in Fertigkeiten und Gewohnheiten.

(4) Erkennen von Regeln hinter Prozeduren: Dieser wichtige Lernschritt speichert Regeln wie Ursache-Wirkungs-Beziehungen im deklarativen Gedächtnis. Im Gegensatz zum Training erfordert diese Art des Lernens ein zweckgerichtetes, bewertbares Handeln. In der Produktentstehung wird geläufig von „Erfahrungswissen“ gesprochen.¹²² HOFFMANN bezeichnet dieses Wissen als „kanonisch“ und betont die Notwendigkeit analytischen Denkens in den Ingenieurwissenschaften.¹²³

(5) Ableiten von Handlungsstrategien: Diese fortgeschrittenste Lernform folgt aus Abschätzungen, was geschehen würde, wenn Regeln, die in einem bestimmten Kontext als valide angesehen werden, in einem anderen Kontext angewandt werden,

¹¹⁸ vgl. Probst et al. 2010 und Dörner 1979, S. 26f.

¹¹⁹ s. BMBF 2008

¹²⁰ nach Hoffmann 2005

¹²¹ Anderson et al. 2001

¹²² vgl. Ahmend et al. 2003

¹²³ s. Hoffmann 2005

oder gebrochen werden würden. Nach HOFFMANN könnten aus diesem „strategischen“ Wissen potentielle Handlungsoptionen für zukünftige Ereignisse abgeleitet werden. Ferner sei es die Basis kreativen Denkens.¹²⁴

Für den Bereich der Ingenieurwissenschaften folgern HOFFMANN ET AL. aus diesen Lernschritten drei Deskriptoren für die Ausbildung von Ingenieuren. **Wissen** stelle zugreifbare Informationen über faktisches und konzeptuelles Wissen dar. **Fertigkeiten** entsprächen implizitem, prozeduralem Wissen. **Kompetenzen** ließen sich als Anwendung und Weiterentwicklung deklarativen, prozeduralen Wissens klassifizieren und stellten kanonisches, strategisches Wissen dar. Stark vereinfacht bedeute Wissen ein Auswendiglernen; Fertigkeiten seien durch Training erlernbar und Kompetenzen würden durch Anwendung von Geist und Intellekt entwickelt werden.¹²⁵

In einer konstruktivistischen Perspektive halten PROBST ET AL. fest, dass Wissen von Individuen konstruiert werde und deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge repräsentiere. Es stütze sich auf Daten und Informationen; sei aber im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden.¹²⁶ Diese Notwendigkeit sogenannter „Wissensträger“¹²⁷ motiviert die Unterscheidung von implizitem und explizitem Wissen. Unter **implizitem Wissen** wird das auf subjektiven Wahrnehmungen und Lernprozessen basierende, unausgesprochene bzw. unformulierbare Wissen verstanden („tacit knowledge“).¹²⁸ Somit basiert es auf individuellen Tätigkeiten von Einzelpersonen und ist eng mit deren Idealen, Werten und Gefühlen verbunden.¹²⁹ Hingegen bezeichnet **explizites Wissen** das formulierbare und von Wissensträgern abgekoppelte Wissen, das weiteren Personen zur Verfügung gestellt werden kann.¹³⁰ NONAKA und TAKEUCHI beschreiben mit dem SECI-Modell (Socialization, Externalization, Combination, Internalization) den Weg der Externalisierung impliziten Wissens. Sie erfordert einen formalisierten, (sprachlichen) Ausdruck, der z.B. durch Induktion, Deduktion, Analogien und Metaphern unterstützt werden könne.¹³¹

¹²⁴ ebda. Dieser Aussage liegt ein Kreativitätsbegriff zugrunde, der eng mit bewusstem, strategischem Handeln verbunden ist. Im Stand der Forschung bestehen daneben zahlreiche weitere Auffassungen (s. z.B. Guilford 1973).

¹²⁵ Hoffmann et al. 2010, S. 4

¹²⁶ Probst et al. 2010, S. 23

¹²⁷ vgl. Meboldt 2008, S. 62

¹²⁸ vgl. Polanyi 1985

¹²⁹ vgl. Nonaka und Takeuchi 1995

¹³⁰ vgl. Kreitel 2008

¹³¹ vgl. Nonaka und Takeuchi 1995

2.1.2 Soziotechnische Perspektive

Ziel des sogenannten „Wissensmanagements“ ist es, Wissen explizit in zusammenhängenden Organisationseinheiten bzw. Unternehmen nutzbar zu machen. Dies motiviert sich aus der arbeitsteiligen, informationsintensiven Natur komplexer Produktentstehungsprozesse.¹³² BOURGEON hält die Notwendigkeit der Beherrschung und Förderung kollektiven Lernens in Unternehmen fest.¹³³ GRIFFIN präsentiert eine Sammlung von Ansätzen und Methoden der letzten 30 Jahre, um Wissen langfristig verfügbar zu machen und durch dessen Einsatz die Effektivität und Effizienz in der Produktentstehung zu verbessern.¹³⁴ Mit Blick auf die humaninduzierte Komplexität (vgl. Abschnitt 1.2.3) muss festgehalten werden, dass derartige Wissensintegrationsprozesse maßgeblich vom Vermögen der Beteiligten abhängig sind, anschlussfähige Verständnisprozesse auszubilden¹³⁵, wobei speziell soziokognitive Faktoren wie z.B. die Fähigkeit, Wissen mit andern Akteuren zu teilen, wichtige Einflussfaktoren darstellen.¹³⁶ Neuere Untersuchungen belegen, dass Wissensintegrationsprozesse durch geeignete mediale Funktionen unterstützt werden können.¹³⁷ Demnach ist eine Darstellung verknüpfter Informationen in Modellen von Produktentstehungsprozessen für die Wissensintegration hilfreich.¹³⁸ Hierbei unterstützt die Nutzung kooperativer Medien die soziale Wirklichkeitskonstruktion zwischen Projektbeteiligten.¹³⁹ Die Einführung solcher Werkzeuge erfolgt in einem Unternehmen meist in Kombination mit dem Geschäftsprozessmanagement. Im sogenannten prozessorientierten Wissensmanagement sollen Wissensflüsse und Wissenskonversionen entlang und zwischen einzelnen Geschäftsprozessen transparent gestaltet und gezielt gefördert werden.¹⁴⁰

Daneben gibt es jedoch auch die Auffassung, dass sich Wissen generell *nicht* managen lasse, sondern lediglich gefördert werden könne.¹⁴¹ MALIK prägt einen anschaulichen Vergleich: „Wissensmanagement ist semantisch ähnlich wenig zu nutzen wie wenn ich zu dem, was Beethoven gemacht hat, Soundmanagement sagen würde.“¹⁴² Lediglich Menschen ließen sich managen. Trotzdem – bzw. gerade

¹³² vgl. u.a. Bucciarelli 1996

¹³³ s. Bourgeon 2007

¹³⁴ s. Griffin 2007

¹³⁵ s. Bechky 2003

¹³⁶ s. Kleinsmann 2006 und Olivera und Argote 1999

¹³⁷ vgl. Holzweißig und Rundquist 2010 und Holzweißig 2011

¹³⁸ s. z.B. Engwall et al. 2005 und Bucciarelli 2002

¹³⁹ s. Knickel 1997

¹⁴⁰ vgl. Remus 2002, Gronau und Müller 2005 und Gronau et al. 2005

¹⁴¹ Larry Prusak, Executive Director IBM Institute for Knowledge Management, in einem Interview für das deutsche Handelsblatt im April 1988, zitiert nach Puntschart 2006, S. 23.

¹⁴² Malik 2002

darum – ist es notwendig, die Voraussetzungen für eine Formalisierung, bzw. Externalisierung von Wissen zu schaffen. Es ist wichtig festzuhalten, dass externalisierte Informationen erst durch Aneignungsprozesse von Menschen wieder zu Wissen werden.¹⁴³ Die theoretische Grundlage hierfür beschreibt NORTH in Form der „Wissenstreppe“¹⁴⁴. Aufbauend auf formalen Zeichen ergäben sich unter Definition einer geeigneten Syntax Daten, die – individuell mit einer bestimmten Bedeutung versehen – Informationen abbildeten. Erst die Vernetzung von Informationen in einem bestimmten Kontext aber ermögliche deren Interpretation zu Wissen. NORTH beschreibt weiter, wie aus Wissen durch motivierte Anwendung zunächst Handeln, durch richtiges Handeln die Kompetenz (das Können) und durch Erfolg am Markt letztlich die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens erreicht werden können. Damit kann diese Taxonomie – für Abstufungen von Wissen im Kontext von Unternehmen – eine Ergänzung zu HOFFMANNNS lerntheoretischem Modell für Individuen darstellen, das zuvor in Abschnitt 2.1.1 beleuchtet wurde.

Existierende Ansätze zur werkzeugtechnischen Umsetzung eines Umgangs mit Wissen adressieren primär die Aspekte der Kombination und Internalisierung bereits externalisierten Wissens. Hierfür finden z.B. semantische Technologien, Concept Maps, Topic Maps oder Ontologien Verwendung.¹⁴⁵ Damit unterstützen heute am Markt verfügbare Informationssysteme nur eine reine Informationsbereitstellung und keinen Transfer kontextualisierten Wissens.¹⁴⁶ Hierfür finden sich in der Psychologie Methoden, die sich ausdrücklich der „Gewinnung von Daten über menschliches Wissen“ widmen (z.B. lautes Denken, Storytelling, u.v.m.).¹⁴⁷

Systematiken im Stand der Forschung zur Wissensbereitstellung in der Produktentstehung orientieren sich i.d.R. am SECI-Modell¹⁴⁸ (s.o.). Allen Ansätzen ist gemein, dass Wissen ausgehend von den Wissensquellen (z.B. Fachbüchern, Entwicklern) identifiziert, erhoben, analysiert und formal repräsentiert werden muss, um es anschließend anwenden zu können. So erarbeiten bspw. BINZ ET AL. im DFG-geförderten-Projekt „ProKon“ ein wissensbasiertes System auf Basis eines Agentensystems, das den Konstrukteur proaktiv unterstützen soll.¹⁴⁹ Im ebenfalls durch die DFG geförderten „Pingate“-Projekt entwickelt BIRKHOFER auf Basis von Erkenntnissen aus der Lern- und Kognitionspsychologie eine Methode sowie ein Anwendungssystem zur zielgerichteten Unterstützung des Entwicklers. Die

¹⁴³ s. Willke 2001

¹⁴⁴ North 2011, S. 35ff.

¹⁴⁵ vgl. Schwankl 2002 und Weber 2010

¹⁴⁶ s. Wallace et al. 2005

¹⁴⁷ s. Mandl und Spada 1988

¹⁴⁸ vgl. Nonaka und Takeuchi 1995

¹⁴⁹ s. Binz et al. 2011

individuelle Wissensaufbereitung erfolgt dabei mit Hilfe semantischer Technologien in Form von Topic Maps (Vernetzung modular aufgebauter Dokumente).¹⁵⁰ Im DFG-Projekt „Semantic Web Service für den wissensbasierten Entwurf mechatronischer Systeme“ wurde eine Plattform zum Entwurf mechatronischer Systeme entwickelt.¹⁵¹ STARK erarbeitet im Projekt ISYPROM ein Vorgehen für ein durchgängiges Innovations- und Wissensmanagement im Systems Engineering.¹⁵² Ferner untersucht MAURER die Verbesserung des unternehmensinternen Wissenstransfers durch matrixbasierte Knowledge Maps auf der Basis von „Methoden zum Management“¹⁵³ der zuvor beschriebenen strukturellen Komplexität.¹⁵⁴ Die Arbeiten SCHMALENBACHS und FREUDENMANNs stellen anschauliche Beispiele ontologischer Beschreibungen bzw. Anwendungen in der Produktentstehung dar.¹⁵⁵

Zwischenfazit

Es lässt sich festhalten, dass Wissen eine zentrale, grundlegende Rolle in Produktentstehungsprozessen spielt. Es stellt die Basis für einen kompetenten Umgang mit der Komplexität der Produktentstehung dar. Gleichzeitig unterliegt Wissen der individuellen Interpretation von Informationen durch Individuen. Dies macht es weiterhin unerlässlich, die Akteure in Produktentstehungsprozessen durch Möglichkeiten der Bereitstellung vernetzter Informationen im Kontext zu unterstützen. Hierfür bieten sich kollaborative Werkzeuge an, die in Form geeigneter medialer Repräsentationen Wissensintegrationsprozesse fördern können. Die Herausforderung besteht darin, dass implizites Wissen – in dem weite Teile der (Handlungs-)Kompetenz erfolgreicher Unternehmen begründet liegen – über existierende Produkt- oder Prozessdokumentationen (Stücklisten, Zeitpläne etc.) hinausgeht. So sollen z.B. Zusammenhänge dargestellt werden können, die ein strategisch erfolgversprechendes Handeln in bestimmten Situationen beschreiben, um dieses (Erfahrungs-)Wissen auf neue Probleme übertragen zu können. Damit derartige, vernetzte Informationen von verschiedenen Individuen genutzt werden können, muss eine gemeinsame subjektive Interpretation ermöglicht werden.¹⁵⁶ Die Basis für ein solches gemeinsames Verständnis kann ein abstraktes, situationsunabhängiges Metamodell sein, das die Zusammenhänge der Produktentstehung auf einer übergeordneten Ebene repräsentiert.¹⁵⁷

¹⁵⁰ s. Jänsch et al. 2006

¹⁵¹ s. Welp et al. 2008

¹⁵² s. Damerau et al. 2011

¹⁵³ s. Lindemann et al. 2009

¹⁵⁴ s. Maurer und Kesper 2010

¹⁵⁵ vgl. Schmalenbach 2013 und Freudenmann 2013

¹⁵⁶ vgl. Meboldt 2008, S. 103f.

¹⁵⁷ vgl. Browning et al. 2006, S. 111 und S. 121ff.

In der vorliegenden Dissertation sollen Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung von Produktentstehungsprozessen erörtert werden. Daher werden in den folgenden Abschnitten die Grundlagen der Modelltheorie erläutert und verschiedene Ansätze der Modellierung in der Produktentstehung diskutiert.

2.2 Modelle und Modelltheorie

„Modelle sind von zentraler Bedeutung in vielen Wissenschaftsbereichen.“¹⁵⁸ Dennoch wurde die zentrale Bedeutung von Modellen erst „bemerkenwert spät anerkannt“ – erst seit den 1960er Jahren stehen sie im Zentrum des philosophischen Verständnisses der Wissenschaft.¹⁵⁹ Anhand von Modellen lassen sich Fragen der Semantik (Welche Funktion der Repräsentation üben verschiedene Modelle aus?), der Ontologie (Was sind Modelle, deren Elemente, Relationen?) und der Wissenschaftsphilosophie (In welchem Zusammenhang stehen Modelle mit der Wirklichkeit?) erörtern.¹⁶⁰ Dafür existieren verschiedenste Modelltypen, u.a. Repräsentationsmodelle zur Veranschaulichung von Zusammenhängen, Experimentalmodelle zur Ermittlung oder Überprüfung von Hypothesen, theoretische Modelle zur Vermittlung von Erkenntnissen über Sachverhalte, sowie operative Modelle, die Entscheidungs- oder Planungshilfen darstellen können. Eine Besonderheit stellen darüber hinaus Metamodelle dar. Sie „sind abstrakte Modelle, die kein konkretes Instanzwissen enthalten, und [stattdessen] der Entwicklung und der Ableitung formaler Modelle [dienen].“¹⁶¹ Hierfür beinhalten sie die notwendigen Regeln und Notationsformen für die Beschreibung der Modellinstanzen, die aus ihnen abgeleitet werden können.

In der vorliegenden Arbeit werden Modelle in erster Linie als Technik zur Repräsentation von Elementen und Zusammenhängen der Produktentstehung aufgefasst. Fallstudien werden dabei in Form von konkreten Modellinstanzen modelliert, während die Erkenntnisse daraus in generische Modelle münden, die auf Metaebene repräsentiert werden. Sie haben zunächst deskriptiven Charakter und können durch Interpretation der enthaltenen Informationen in der Anwendung auch präskriptiv genutzt werden. Für die Modellierung werden die Grundlagen der allgemeinen Modelltheorie zugrunde gelegt.

¹⁵⁸ s. Frigg und Hartmann 2012 (eigene Übersetzung)

¹⁵⁹ s. Eckert und Stacey 2010, S. 5 (eigene Übersetzung)

¹⁶⁰ nach Frigg und Hartmann 2012

¹⁶¹ Meboldt 2008, S. 104 [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

2.2.1 Grundlagen der allgemeinen Modelltheorie

Der Modellbegriff im Verständnis dieser Arbeit wurde von STACHOWIAK in seinem Werk „Allgemeine Modelltheorie“ geprägt. Darin erläutert er „die Prozesse des Wissens- und Erkenntnisgewinns unter Verwendung anderweitig entwickelter Modellvorstellungen kybernetisch [...] und mit Blickrichtung auf eine kybernetische Erkenntnisanthropologie auf überindividuelle Erkenntnissubjekte.“¹⁶² Für die weiteren Ausführungen dieser Dissertation sind insbesondere drei Hauptmerkmale des allgemeinen Modellbegriffs von Bedeutung. Diesen Aspekten ist sowohl während der Modellbildung als auch bei der Modellanwendung Rechnung zu tragen.

(1) Abbildendes Merkmal: „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.“ Modelle dienen in dieser Hinsicht als Darstellungen von gegebenen Sachverhalten, wie sie in der Realität (dem Original) auftreten.¹⁶³

(2) Verkürzendes Merkmal: „Modelle erfassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen.“ Modelle können und sollen nicht die darzustellenden Originale – also etwa die realen Abhängigkeiten von Entwicklungsprozessen – in ihrem kompletten Umfang repräsentieren. Vielmehr fokussiert sich ein Modell auf diejenigen Parameter des Originals, die im Rahmen des Modells dargestellt werden sollen.¹⁶⁴

(3) Pragmatisches Merkmal: „Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.“ Der Modellbegriff wird hier durch die Begriffe des Modellanwenders, des geltenden Zeitraums sowie des Modellzwecks genauer spezifiziert.¹⁶⁵

2.2.2 Modelle in der Produktentstehung

BROWNING und RAMASEH definieren den Modellbegriff im Kontext der Produktentstehung als „abstrakte Repräsentation der Realität, die aufgestellt, verifiziert, analysiert und manipuliert wird, um das Verständnis von dieser Realität zu erweitern.“ Weiterhin halten sie den Unterschied zwischen Modellen und Sichten („views“) fest. Erstere

¹⁶² ebda. S. 8

¹⁶³ Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit) nach Stachowiak 1973, S. 131ff.

¹⁶⁴ ebda.

¹⁶⁵ ebda.

umfassten Attribute und zugrunde gelegte Annahmen, die als ausreichend angesehen würden, um Prozesse zu beschreiben. Hingegen sei eine Sicht eine Zusammenstellung von Symbolen, eine Tabelle oder eine andere Art der Darstellung, um einen ausgewählten Teil dieser Attribute und Annahmen abzubilden.¹⁶⁶

Der Stand der Forschung zur Modellbildung in der Produktentstehung kann hinsichtlich des jeweiligen Betrachtungsgegenstands in zwei Gruppen unterschieden werden. So befassen sich zahlreiche Arbeiten mit Produktmodellen und ebenso zahlreiche Arbeiten mit Prozessmodellen. Beide bilden relevante Aspekte der Produktentstehung ab; es lässt sich argumentieren, dass es sich jeweils um unterschiedliche Perspektiven auf ein und denselben Sachverhalt handelt. Produkt und Prozess bedingen sich grundsätzlich. Werden Prozessmodelle erstellt, bevor ein Prozess stattfindet, basieren sie auf Annahmen, wie das Produkt aussehen soll, und welche [Entwicklungs- und Herstellungs-]Prozesse dafür benötigt werden. Wenn ein Prozess bereits vorgegeben ist, schränkt dieser die (Aus-)Gestaltungsmöglichkeiten des Produkts ein.¹⁶⁷

Unter **Produktmodellen** werden formale Abbilder realer oder geplanter Produkteigenschaften verstanden.¹⁶⁸ Dies können Texte, Skizzen, Berechnungen, physische oder virtuelle Modelle sein, die z.B. Funktionsstrukturen oder Lösungskonzepte abbilden.¹⁶⁹ Der Modellierungszweck kann dabei eine Unterstützung der Analyse sein, für die ein Sachverhalt z.B. explizit veranschaulicht wird, um ihn systematisch zu ergründen. Oder aber die Modellbildung dient der Synthese, für die bspw. Teillösungen in einem 3D-Modell kombiniert werden. Entsprechend dem Modellierungszweck („pragmatisches Merkmal“ nach STACHOWIAK) werden die Modelle dabei zu anwendungsorientierten Sichten verkürzt, also nur diejenigen Informationen repräsentiert, die benötigt werden. Dabei beeinflusst die individuelle Wahrnehmung der Menschen die Arbeit mit dem Modell¹⁷⁰ (vgl. Abschnitt 2.1). Insbesondere bei einer gemeinsamen Modellnutzung durch mehrere Individuen entscheiden letztlich nicht die Modellersteller, sondern die Modellnutzer über den erfolgreichen Einsatz eines Modells¹⁷¹. Hierbei besteht ein Zusammenhang zwischen der Qualität der Theorie hinter einem Modell und seinem praktischen Nutzen.¹⁷² Außerdem gelten die psychologischen Faktoren, die in Abschnitt 2.1 dargestellt

¹⁶⁶ Browning und Ramaseh 2007, S. 220 (eigene Übersetzung)

¹⁶⁷ vgl. Eckert und Stacey 2010, S. 11 [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

¹⁶⁸ s. Grabowski et al. 1993

¹⁶⁹ vgl. Ponn und Lindemann 2011

¹⁷⁰ Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 3

¹⁷¹ Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit) nach Meboldt 2008

¹⁷² Brady et al. 1997 zitiert nach Smith und Morrow 1999

wurden, d.h. auch die kognitiven Fähigkeiten der Beteiligten bedingen maßgeblich die erfolgreiche Umsetzung einer Modellierung.

Selbiges gilt für **Prozessmodelle**. Auch sie stellen pragmatisch verkürzte Abbildungen realer oder geplanter Sachverhalte dar – in diesem Fall repräsentieren sie jedoch das logische und/oder chronologische Vorgehen in der Produktentstehung. Sie sollen den bzw. die Menschen unterstützen, indem die komplexe Produktentstehung in einzelne, logisch abgrenzbare Abschnitte unterteilt wird. Diese wiederum werden in handhabbare Arbeitspakete zerlegt und erlauben so eine schrittweise Produktkonkretisierung.¹⁷³ Generische Vorgehensmodelle, die Arbeitsschritte entweder deskriptiv veranschaulichen oder präskriptiv vorgeben, können hierbei als Muster dienen.¹⁷⁴ MEBOLDT und ALBERS unterscheiden verschiedene Perspektiven von Prozessmodellen, denen unterschiedliche Modellierungszwecke zugrunde liegen. So beinhalteten Managementmodelle überwiegend strategische und betriebswirtschaftliche Elemente und seien auf das operative Controlling ausgerichtet. Entwicklungsgetriebene Modelle seien im Gegensatz dazu von technischen Aspekten geprägt, wobei der Fokus auf die Entwicklertätigkeit gelegt werde. Front-End-Ansätze kombinierten Entwicklungs- und Managementelemente, ohne technische Details zu behandeln. Sie dienten insbesondere der Unterstützung früher Phasen der Produktentstehung, die von hoher Unsicherheit geprägt seien.¹⁷⁵

Der Schwerpunkt dieser Dissertation wird auf die Prozessmodellierung gelegt. Verglichen mit der Modellierung von Produkten und Produkteigenschaften stellt sie nach ECKERT und STACEY eine größere (mentale) Herausforderung dar, denn ihr Betrachtungsgegenstand – ‚der Prozess‘ – sei selbst ein nur schwer greifbares Konstrukt.¹⁷⁶ Verschiedene Fachrichtungen betrachten Prozesse aus individuellen Perspektiven und verfolgen mit Prozessmodellen teils sehr verschiedene Zwecke. Folglich ist der Stand der Forschung zur Prozessmodellierung sehr umfangreich und variiert sowohl im Betrachtungsfokus, als auch im Detaillierungs- bzw. Abstraktionsgrad.¹⁷⁷ Nachfolgend werden verschiedene Arbeiten zur Prozessmodellierung betrachtet, deren Kerngedanken für die weiteren Ausführungen in dieser Dissertation relevant sind.

Zwischenfazit

Die drei Hauptmerkmale des allgemeinen Modellbegriffs können eine Grundlage für

¹⁷³ Lindemann 2009, S. 33 zitiert nach Hellenbrand S. 38

¹⁷⁴ vgl. Ponn 2007, S. 7

¹⁷⁵ s. Meboldt 2008, S. 31ff. und Albers und Meboldt 2007

¹⁷⁶ vgl. Eckert und Stacey 2010, S. 4

¹⁷⁷ ebda. S. 8

einen erfolgreichen Umgang mit der Komplexität der Produktentstehung darstellen. Mit Hilfe der Abbildung kann ein individuelles Verständnis vorliegender Sachverhalte explizit und einer Diskussion, Analyse oder Synthese zugänglich gemacht werden. Die pragmatische Verkürzung der zu betrachtenden Informationsmenge ermöglicht darüber hinaus ein zweckgerichtetes Fokussieren. Damit können die kognitiven Einschränkungen überwunden werden, die in Abschnitt 1.3 als Ursache humaninduzierter Komplexität herausgestellt wurden. Insbesondere bietet der Einsatz von verkürzten Modellen die Chance einer Entlastung des Arbeitsgedächtnisses und ermöglicht ein Zerlegen der ‚Gesamtaufgabe Produktentstehung‘ in handhabbare Teile.

Aus diesem Ansatz folgen jedoch weitere Herausforderungen. So darf das Zerlegen der Informationsmenge eines kooperativen Projekts nicht willkürlich erfolgen. Stattdessen muss dieser Vorgang den jeweiligen Erfordernissen und Randbedingungen des vorliegenden Projekts genügen und v.a. auf einem gemeinsamen Verständnis basieren. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Teilaspekte auch wieder zu einem Ganzen zusammengefügt werden können. Dabei muss individuellen Perspektiven und Modellierungszwecken Rechnung getragen werden. Nach ALBERS kann die hierfür notwendige Durchgängigkeit mit Hilfe eines systemischen Ansatzes erzielt werden.¹⁷⁸ Daher werden nachstehend zunächst die Grundlagen der Systemtheorie beleuchtet.

2.3 Allgemeine Systemtheorie und Systemtheorie der Technik

Die Allgemeine Systemtheorie geht auf die „General System Theory“ zurück. Der Biologe VON BERTALANFFY entwickelt darin eine Ansicht von offenen Systemen, um deren dynamischen Austausch mit ihrer Umwelt zu beschreiben. Dabei prägt er den Begriff der „organisierten Komplexität“, mit dem er einfache, linear logisch gekoppelte Einzelphänomene von Netzwerken abgrenzt, die durch reziproke Wechselwirkungen geprägt seien.¹⁷⁹ ROPOHL interpretiert die Allgemeine Systemtheorie mit Bezug auf STACHOWIAK als eine besondere Modelltheorie. Demnach stelle sie ein Metamodell für die Beschreibung von Systemen dar.¹⁸⁰ Weiter sei jede Systemvorstellung per se ein [mentales oder formales] Modell – es werde durch menschliches Denken erstellt und könne an beliebige Gegenstände herangetragen werden.¹⁸¹

Die Allgemeine Systemtheorie ist eine umfassende Theorie über das Zusammenwirken und die gegenseitige Beeinflussung von Elementen in Systemen. Sie ist

¹⁷⁸ s. Albers 2010 und Albers und Lohmeyer 2012

¹⁷⁹ s. von Bertalanffy 1969 und von Bertalanffy 1956

¹⁸⁰ s. Ropohl 2012, S. 52

¹⁸¹ s. Ropohl 1975, S. 25 [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

fachrichtungsübergreifend. Nach PULM erfolge ihre Anwendung jedoch immer im Kontext einer bestimmten Disziplin. Folglich erfahre sie dort jeweils eine spezifische Ausprägung.¹⁸² Im Bereich der Ingenieurwissenschaften hat sich diese Ausprägung unter dem Begriff des „Systems Engineering“ bzw. später auch unter dem Begriff der „Systemtechnik“ etabliert.¹⁸³

PULM fasst die Systemtheorie zu folgenden ausgewählten Prinzipien zusammen, die auch für die vorliegende Arbeit von Relevanz sind:

Differenz: Ein System ist eine zu seiner Umwelt abgegrenzte Einheit. Die enthaltenen Elemente haben zueinander einen stärkeren Bezug als zur Umwelt des Systems. Systeme stehen auch im Bezug zueinander.

Spezialisierung: Systeme erfüllen eine bestimmte Funktion innerhalb eines übergeordneten Systems. Diese Funktion muss für das Gesamtsystem nützlich sein, damit das System darin bestehen kann.

Kontingenzschließung: Aus einer Vielzahl möglicher Handlungsoptionen muss das System eine spezifische auswählen; wichtig ist hierbei nicht die Findung von Handlungsoptionen (sie sind vorhanden), sondern ihre Auswahl. Im Sinne einer doppelten Kontingenzschließung schränken die Systeme ihre Handlungsmöglichkeiten gegenseitig ein.

Reflexivität: Das System muss sich selbst in den Kontext seiner Umwelt einordnen und darin betrachten, um sich an ihr ausrichten zu können.

Subjektivität: Die Wahrnehmungen von System und Umwelt sind subjektiv.

Pluralismus: Verschiedene Systeme können nebeneinander bestehen, auch wenn sie zueinander nicht kompatibel oder widersprüchlich sind.¹⁸⁴

2.3.1 Systembegriff und Konzepte der Systembetrachtung

Ein einzelnes System beschreibt eine spezifische Weltanschauung.¹⁸⁵ Nach VESTER und HESLER umfasse es verschiedene Teile, die sich voneinander unterscheiden und in Form einer spezifischen Architektur miteinander in Beziehung stehen.¹⁸⁶ LINDEMANN ET AL. folgern aus dieser Definition, dass das Entfernen oder Hinzufügen von Systemteilen dessen Beziehungen und dadurch das System an sich [bzw.

¹⁸² s. Pulm 2004, S. 22f.

¹⁸³ s. Lohmeyer 2013, S. 14 mit Bezug auf Goode und Machol 1957, sowie Hall 1962, bzw. Zangemeister 1969 und Beitz 1970

¹⁸⁴ Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), s. 7f. nach Pulm 2004

¹⁸⁵ s. Lindemann et al. 2009, S. 22 nach Weinberg 1975, S. 521

¹⁸⁶ vgl. Vester und Hesler 1980, S. 271

dessen Verhalten] verändere.¹⁸⁷ ROPOHL definiert ein System ebenfalls als eine Ganzheit, die Beziehungen zwischen bestimmten Attributen aufweise, und die aus miteinander verknüpften Teilen bestehe. Zudem grenze sie sich von ihrer Umgebung ab.¹⁸⁸

Diese Aspekte fasst er in drei Konzepten der Systembetrachtung zusammen. Entsprechend dem **funktionalen Konzept** weise ein System Beziehungen zwischen Attributen wie Ein- und Ausgangsgrößen sowie Systemzuständen auf. Damit könne das Systemverhalten auf Charakteristika der Systemelemente zurückgeführt werden. Diese würden in der Systemstruktur abgebildet. Das **strukturelle Konzept** besage, wie sich Teil- bzw. Subsysteme zum Gesamtsystem aggregierten (vgl. Strukturbegriff in Abschnitt 1.2.1). Die durchgängige Beschreibung von über- und untergeordneten Systemen finde Ausdruck im **hierarchischen Konzept**¹⁸⁹ und der Abgrenzung von der jeweiligen Systemumwelt. Letztere wird auch als Umsystem bezeichnet.¹⁹⁰ Die Organisation INCOSE¹⁹¹ erweitert die strukturelle bzw. hierarchische Systembetrachtung im Kontext des „Systems Engineering“ um den Begriff „System-of-Systems“.¹⁹² Dieser beschreibe entweder das zweckgebundene Zusammenspiel einzelner technischer (Gesamt-)Systeme, wobei durch Bündelung derer Ressourcen und/oder Funktionalitäten ein neues, komplexeres „System-der-Systeme“ realisiert werde. Dieses sei in der Lage Ziele zu erfüllen, die über die Möglichkeiten seiner Einzelsysteme hinausgingen. Oder der Begriff „Systems-of-Systems“ beschreibe die junge Forschungsdisziplin, die sich der Bereitstellung von Methoden und Prozessen für diese Bündelung von Systemen widme.¹⁹³

Denk- und Vorgehensmodelle für die Modellierung und Analyse von Systemen lassen sich ebenfalls in drei Betrachtungen unterscheiden.¹⁹⁴ In der **wirkungsorientierten** Betrachtung wird ein System als „Black-Box“ aufgefasst und nur der Zusammenhang zwischen seinen Eingangs- und Ausgangsgrößen betrachtet. Im Fokus steht dabei die Beschreibung des Zwecks bzw. der Funktion des Systems, die oft als Transformation eingehender in ausgehende Größen aufgefasst wird. Die **struktuorientierte** Betrachtung stellt hingegen die Elemente und Beziehungen *innerhalb* eines Systems in den Mittelpunkt. Damit wird darauf abgezielt, das Verhalten des betrachteten (Teil-)Systems aus der Anordnung und dem dynami-

¹⁸⁷ s. Lindemann et al. 2009, S. 22 [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

¹⁸⁸ s. Ropohl 1975, S. 31

¹⁸⁹ ebda. S. 75f.

¹⁹⁰ vgl. Haberfellner et al. 2012, S. 34

¹⁹¹ INCOSE - International Council on Systems Engineering

¹⁹² s. INCOSE 2010

¹⁹³ vgl. Popper et al. 2004

¹⁹⁴ vgl. Haberfellner et al. 2012, S. 41f. und Riepe 2003, S. 28 zitiert nach Hellenbrand 2013, S. 47

schem Zusammenwirken seiner Elemente zu erklären. In der **umfeldorientierten** Betrachtung werden Systeme wiederum als „Black-Box“ aufgefasst und deren Einflüsse auf die Umgebung bzw. von der Umgebung werden fokussiert. Hier dient das hierarchische Denken zur schrittweisen Konkretisierung bzw. Abstrahierung von Systemen, was insbesondere bei komplexen Sachverhalten zu einer Verbesserung des Systemverständnisses führen kann. Dabei wird eine Vorgehensweise vom Groben ins Detail von einigen Ansätzen der Konstruktionsmethodik propagiert, die im folgenden Abschnitt 2.4 vorgestellt werden.

Die Denkweise, die es ermöglicht, komplexe Erscheinungen (hier: Systeme) besser verstehen und gestalten zu können, heißt **Systems Thinking**.¹⁹⁵ Es ist ein übertragbarer Ansatz, der die voranstehenden Betrachtungsformen zusammenführt. Zentrale Gedanken sind dabei die Ganzheitlichkeit und die Durchgängigkeit der betrachteten Informationen. Während die Forderung nach Durchgängigkeit auf eine kontinuierliche Betrachtung von Systemen entlang deren Struktur und über hierarchische Ebenen hinweg abzielt¹⁹⁶, wird Ganzheitlichkeit in der Literatur als das grundlegende Wesensmerkmal der Systemtheorie beschrieben. Die Betrachtung eines Gegenstandes in seiner Ganzheit beinhaltet dabei eine umfassende, weitsichtige und vorausschauende Berücksichtigung möglichst vieler Aspekte und Zusammenhänge.¹⁹⁷

2.3.2 Systemtheorie der Technik und Systemtripel ZHO

HUBKA beschreibt in seiner „Theorie technischer Systeme“ die Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. Darin definiert auch er zunächst einen allgemeinen Systembegriff. Ein System sei ein aus einer endlichen Menge von Elementen nach bestimmten Regeln geordnetes Ganzes. Zwischen den Elementen existierten bestimmte Beziehungen. Diese Relationen bildeten gemeinsam mit den Elementen die Systemstruktur. Er betont die Relativität der Begrifflichkeiten – ein System könne Element eines größeren Systems sein und ein Element könne wiederum ein System aus untergeordneten Elementen darstellen. Systeme stünden mit ihrer „Wirkumgebung“ über Input- und Output-Relationen in Beziehung. HUBKA interpretiert die Überführung von Input in Output als „technische Funktion“. Damit wird der allgemeine Systembegriff für den Kontext der Produktentwicklung konkretisiert. Technische Systeme („Maschinensysteme“) ließen sich unter Anwendung der funktionalen, strukturalen und hierarchischen Modellierung in Form

¹⁹⁵ s. Haberfellner et al. 2012, S. 33

¹⁹⁶ vgl. Albers und Lohmeyer 2012

¹⁹⁷ s. Lohmeyer 2013, S. 16 und Voigt 2000

von „Black-Boxen“ und korrespondierenden Funktionsstrukturen beschreiben.¹⁹⁸ Damit zielt Hubka auf eine Methodisierung der Repräsentation technischer Systeme ab. So legt auch er bspw. ein schrittweises Vorgehen vom Groben ins Detail nahe.¹⁹⁹

In der vorliegenden Arbeit wird der Schwerpunkt der Betrachtung von einer Modellierung der Produktfunktionen und des Verhaltens von dessen Teilsystemen auf soziotechnische Aspekte der Produktentstehung ausgedehnt. Das hierfür verwendete Systemverständnis geht maßgeblich zurück auf ROPOHL. Er betrachtet die Produktentstehung an sich als ein System. Sie diene der Erstellung von Sachsystemen (technische Systeme) durch komplexe Organisationen. Deren Maßnahmen und Einrichtungen technischer Arbeit bezeichnet er als Handlungssysteme. Die Ingenieurstätigkeit orientiere sich dabei an Vorgaben, die in einem Zielsystem abgebildet werden.²⁰⁰ Die systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses in diesen drei Teilsystemen bildet die Basis für weitere Arbeiten in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts. Dazu gehören die „Methodik der integrierten Produkterstellung“ EHRENSPIELS²⁰¹, sowie die „Systemtechnik“ nach PATZAK.²⁰² In dieser wird das Handlungssystem unterteilt in ein abstraktes Programmsystem, dem das Projektmanagement zukommt, und in ein konkretes Wirksystem, das Organisation, Handlungsträger und Sachmittel umfasst. Der Begriff des Sachsystems wird darin durch die Bezeichnung Objektsystem ersetzt. In einer weiteren Revision werden Programm- und Wirksystem als Prozess- und Handlungssystem gedeutet.²⁰³ Dieses sogenannte ZOPH-Modell findet im Verlauf der 1990er Jahre Beachtung im angelsächsischen „Systems Engineering“²⁰⁴ und in der Modellierung von Produktentwicklungsprozessen aus Sicht des Projektmanagements.²⁰⁵

Der vorliegenden Dissertation wird der Ansatz von ALBERS und MEBOLDT zugrunde gelegt, der sich an ROPOHLS Systemtheorie anlehnt.²⁰⁶ Dessen Basis bildet das Systemtripel ZHO aus Ziel-, Handlungs- und Objektsystem. Das **Zielsystem** umfasst die mentale Vorstellung bzw. Explizierung der geplanten Eigenschaften eines Produktes und alle dafür notwendigen Restriktionen, deren Abhängigkeiten und Randbedingungen. Die Ziele beschreiben dabei den gewünschten zukünftigen

¹⁹⁸ vgl. Hubka 1984, S. 11ff. und S. 63ff.

¹⁹⁹ ebda. S. 158f.

²⁰⁰ vgl. Ropohl 1975

²⁰¹ s. Ehrlenspiel 2007, S. 302ff.

²⁰² vgl. Patzak 1982, S. 30

²⁰³ vgl. Negele 1998, S. 138ff.

²⁰⁴ vgl. Negele et al. 1997

²⁰⁵ vgl. Browning et al. 2006

²⁰⁶ s. Albers und Meboldt 2006

Zustand des Produktes (und seiner Komponenten) und dessen Kontext, nicht jedoch die Lösung als solche. Das Zielsystem wird im Verlauf des Produktentstehungsprozesses fortwährend erweitert und konkretisiert. Das **Handlungssystem** ist ein soziotechnisches System, das aus strukturierten Aktivitäten, Methoden und Prozessen aufgebaut ist. Es enthält weiterhin alle für die Realisierung einer Produktentstehung notwendigen Ressourcen (Entwickler, Budget, Ausstattung etc.). Das Handlungssystem erstellt sowohl das Ziel- als auch das Objektsystem, beide Systeme sind ausschließlich durch das Handlungssystem miteinander verbunden. Das **Objektsystem** enthält alle Dokumente und Artefakte, die als Teillösungen während des Entstehungsprozesses synthetisiert werden. Es ist faktisch vollständig, sobald der geplante Zielzustand erreicht ist bzw. als erreicht festgestellt wird. Die eigentlichen (Serien-)Produkte sind neben Zwischenprodukten (z.B. Zeichnungen oder Prototypen) Elemente des Objektsystems. Das Handlungssystem nimmt nach ALBERS während des Produktentstehungsprozesses sowie während des weiteren Produktlebenszyklus Teile des Objektsystems auf und leitet daraus durch Schritte der Analyse und Validierung neue Ziele im Sinne einer Produktgenerationsentwicklung ab.²⁰⁷

Ein ZHO-Modell umfasst folglich zahlreiche Elemente (z.B. konkrete Ziele, Objekte), die ihrerseits durch eine Vielzahl verschiedener Attribute (z.B. Zielwerte) und Relationen (z.B. Zielkonflikte) zueinander gekennzeichnet sind. Aus der Kombinatorik dieser Elemente ergibt sich die bereits in Abschnitt 1.2 behandelte strukturelle Komplexität der Produktentstehung. Daneben wurden humaninduzierte und dynamische Komplexität als Herausforderungen identifiziert. Sie sind u.a. Untersuchungsgegenstand des „**System Dynamics**“. Darin werden aus einer managementorientierten Perspektive charakteristische Informationsrückflüsse von Systemen betrachtet und modelliert, um organisatorische Verbesserungen vorzunehmen.²⁰⁸ Dies erfolge nach FORRESTER auf Basis der Annahme, dass Symptom, Handlung und Lösung nicht isoliert in einer Ursache-Wirkungs-Beziehung, sondern in einem Netzwerk zyklisch verwobener Strukturen existierten. Dabei könne eine Handlung jedoch nicht nur eine Verbesserung, sondern auch gegenteilige Effekte oder ein Verschlimmern der ursprünglichen Symptome nach sich ziehen.²⁰⁹

Konsequenterweise geht SUH davon aus, dass Komplexität in ihrem Kern Unsicherheit ist.²¹⁰ Nach DE WECK ET AL. kann sich Unsicherheit einerseits darin äußern, dass sich getroffene Annahmen während des Produktentstehungsprozesses

²⁰⁷ s.a. Albers 2010, S. 5

²⁰⁸ vgl. Forrester 1961, zitiert nach Coyle 1996, S. 9

²⁰⁹ vgl. Forrester 1980, S. 131

²¹⁰ vgl. Suh 1999

als fehlerhaft erweisen. Andererseits können aber auch vollständig unbekannte Sachverhalte auftreten, welche die zukünftige Entwicklung eines Produktes und dessen Erfolg am Markt maßgeblich beeinflussen.²¹¹ Die Unkenntnis über Ursachen von Phänomenen bzw. Auswirkungen von Handlungen kann mit Bezug auf HASTINGS und MCMANUS in bekanntes Unwissen (known unknowns) und unbekanntes Unwissen (unknown unknowns) unterschieden werden.²¹² Eine Wissenslücke kann dabei entweder durch Maßnahmen zum Erkenntnisgewinn (z.B. Versuche) geschlossen werden (epistemische Unsicherheit), oder nicht (aleatorische Unsicherheit).²¹³

Zwischenfazit

Zusammenfassend hält LOHMEYER fest, dass mithilfe der Modellierung im Systemtripel ZHO das soziotechnische System der Produktentstehung insbesondere hinsichtlich der durch Komplexität und Unsicherheit hervorgerufenen Aspekte abgebildet werden könne. Dieser Ansatz berge zudem das Potential einer ganzheitlichen und durchgängigen Systemrepräsentation. Eine direkte Anwendbarkeit des Modells sei jedoch nur eingeschränkt gegeben. In der Folge sei das ZHO-Modell eher als ein Basismodell der Produktentstehung zu verstehen, d.h. als ein Metamodell, um bestimmte Aspekte der Produktentstehung in weiteren, zweckorientierten Modellen beschreiben und unterstützen zu können.²¹⁴ Für die nachfolgenden Ausführungen der vorliegenden Arbeit sind folgende übergeordnete Prinzipien der Systemtheorie von Bedeutung:

- funktionale, strukturelle, sowie hierarchische Betrachtung;
- Abgrenzung und Wechselwirkung von Teilsystemen;
- durchgängige Betrachtung vom Groben zum Detail;
- Abstraktion und Konkretisierung;
- Unterscheidung von Analyse und Synthese in der Konstruktion;
- grundsätzliche Anerkennung von Unsicherheit und Komplexität;
- Einflussanalyse und (Unterstützung der) Entscheidungsfindung.²¹⁵

2.4 Modellierung der Produktentstehung

Die Abbildung mit Hilfe des systemischen ZHO-Modells stellt eine unter vielen Möglichkeiten dar, den komplexen Sachverhalt der Produktentstehung zu

²¹¹ vgl. de Weck et al. 2007

²¹² vgl. Hastings und McManus 2004

²¹³ s. Lohmeyer 2013, S. 10

²¹⁴ s. Lohmeyer 2013, S. 27

²¹⁵ Pulm 2004, zitiert nach Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 8

repräsentieren. In diesem Abschnitt wird der Stand der Forschung verschiedener Ansätze zur Modellierung²¹⁶ der Produktentstehung beleuchtet. Dabei ist festzuhalten, dass es nicht „das eine“ Metamodell der Produktentstehung geben kann, da jede Modellierung individuelle Zwecke verfolgt. Produktentstehungsprozesse unterliegen überdies zahlreichen Einflussparametern. Demzufolge existieren unterschiedlichste Formen der Repräsentation und insbesondere sehr unterschiedliche Perspektiven und Betrachtungsebenen hinsichtlich Fokus, Detail und/oder Abstraktion.²¹⁷

Der vorliegende Abschnitt gliedert sich wie folgt: Zunächst werden grundsätzliche Forschungsfelder der Prozessmodellierung aufgezeigt und der Stand der Forschung in einem Überblick umrissen. Am Beispiel der „Design Science“ und des „Axiomatic Design“ wird der Kerngedanke einer gestuften Produktentstehungsphilosophie erläutert. Auf der Annahme, dass sich die Produktentstehung in inhaltlich und chronologisch unterscheidbare Abschnitte herunterbrechen lasse, beruhen zahlreiche Modellierungsansätze. Davon ausgehend wird die Entwicklung der Forschungsarbeiten in den vergangenen Jahrzehnten nachvollzogen. Dabei wird der Betrachtungsschwerpunkt zuerst auf Ansätze zur **Konstruktionsunterstützung** gelegt. Von der generischen Erklärung des Entwicklungsgeschehens entwickelte sich die Vision einer Algorithmisierung der Entwicklungstätigkeiten – sie zielte darauf ab, die Produktentwicklung formal zu beschreiben. Damit sollten Konstrukteure entlastet und deren Tätigkeit in Teilen sogar ersetzt werden können.²¹⁸ Neben diesem universellen Anspruch entstanden parallel weitere, enger fokussierte Ansätze. Mit ihnen werden entweder ausgewählte Aspekte der Konstruktion wie z.B. montagegerechtes Entwerfen im Detail adressiert; oder sie zielen auf eine abstrakte, produktunabhängige Gliederung der Produktentwicklung ab. Damit soll die Konstruktion in Sequenzen²¹⁹ dividiert werden, für die jeweils geeignete Methoden und Vorgehensmodelle eingeführt wurden.

Diese phasenorientierte Betrachtung der Produktentstehung bildet auch die Basis für viele Ansätze zur Unterstützung des **Entwicklungs- bzw. Projektmanagements**. Sie zielen auf eine Kontrolle und Steuerung des Entwicklungsgeschehens ab. Dabei werden im Gegensatz zur Konstruktionsunterstützung primär organisatorische und betriebswirtschaftliche Ziele verfolgt. Aus der Erkenntnis, dass streng getrennte Phasen der dynamischen Komplexität vieler Produktentstehungsprozesse nicht

²¹⁶ Gemeint sind i.d.R. Ansätze zur „Metamodellierung“ – von der korrekten Nomenklatur wird zugunsten der Lesbarkeit Abstand genommen.

²¹⁷ vgl. Eckert und Stacey 2010, S. 8

²¹⁸ vgl. Heymann 2005

²¹⁹ vgl. Albers et al. 2011b

gerecht werden, entwickelten sich weitere Modellierungsansätze, die von flexiblen, sich überlappenden Phasen²²⁰ oder von Entwicklungszyklen²²¹ ausgehen.

Um auch dem Aspekt der humaninduzierten Komplexität Rechnung zu tragen, wurden überdies **integrierte, übergreifende Ansätze** entwickelt. Sie ergänzen die auf Konstruktion oder Management fokussierten Ansätze um die Perspektive der beteiligten Personen. Hierfür umfassen sie z.B. Methoden der Problemlösung, die auf kognitionspsychologischen Erkenntnissen beruhen. In der „Integrierten Produktentwicklung“²²² werden ferner Methoden für die persönliche, informatorische und organisatorische Integration der Beteiligten in einer übergreifenden Methodik zusammengefasst. In einem weiter gefassten Betrachtungswinkel bezieht das „Systems Engineering“ neben den direkt am Prozess Beteiligten auch das Umfeld der Produktentstehung in Form von Geschäftsprozessen, industrierelevanten und sozio-ökonomischen Faktoren²²³ mit ein. Die „Karlsruher Schule“ umfasst derart übergreifende Ansätze zur Modellierung von Produkt und Prozess sowie zur Unterstützung der Konstruktion und Validierung. Darin werden zahlreiche der hier aufgeführten Arbeiten aufgegriffen und mit dem Ziel der Bereitstellung einer anwendbaren Methodik zusammengeführt.²²⁴

2.4.1 Überblick: Herausforderungen und Forschungsstand

Die nachfolgenden Betrachtungen unterliegen den zuvor erläuterten Grundlagen der allgemeinen Modelltheorie. So können mit einem Modellierungsansatz grundsätzlich immer nur modellhafte Abbildungen tatsächlicher Prozesse erstellt werden. Ein solches Prozessmodell stellt immer eine Verkürzung der Realität dar. Daher kann es im Umkehrschluss auch nie eins zu eins interpretiert, umgesetzt bzw. „angewendet“ werden. Die Prozessmodellierung soll immer nur pragmatisch ausgewählten Zwecken dienen und in der Anwendung bspw. Analyse- oder Syntheseschritte unterstützen. Sie ist immer im jeweils zugrunde gelegten Kontext zu verstehen.

2.4.1.1 Forschungsfelder der Prozessmodellierung

Die Special Interest Group (SIG) der Design Society „MMEP – Modelling and Management of Engineering Processes“²²⁵ veröffentlichte in einem „white paper“ grundlegende Forschungsfelder der Prozessmodellierung. Sie wurden in Workshops mit Vertretern der Industrie und der akademischen Forschung und Lehre ermittelt.²²⁶

²²⁰ vgl. Cooper 1994

²²¹ vgl. Gausemeier et al. 2011 und Lindemann 2010

²²² s. Ehrlenspiel 2007

²²³ s. Hitchens 2007

²²⁴ s. Albers und Braun 2011

²²⁵ s. URL: <http://www-edc.eng.cam.ac.uk/mmep/> (abgerufen am 06.05.2013)

²²⁶ vgl. Heisig et al. 2009

Demnach gliederten sich die Herausforderungen in das **grundsätzliche Verständnis** von Prozessmodellen, deren Management und das Ausschöpfen der Prozessmodellierung. Neben Begriffsklärungen seien im ersten Forschungsfeld die vielfältigen Modellierungszwecke und die daraus resultierenden Formen der Modellierung zentrale Forschungsgegenstände. Weiterhin seien Herausforderungen einer Anwendung in der Praxis aus Sicht der Entscheider und der Anwender zu diskutieren sowie die Zugänglichkeit und Leistungsfähigkeit werkzeugtechnischer Umsetzungen zu erörtern. Das **Management** der Prozessmodellierung werfe zum einen Forschungsfragen bezüglich der Modellersteller und -nutzer auf. So sei zu klären, wer zu involvieren sei und welche Anforderungen an die Kompetenzen der Beteiligten zu stellen seien. Bezüglich der Modelle selbst, stellten deren Aufbau, Validität und Möglichkeiten zum Umgang mit Unsicherheit sowie menschlichen (psychologischen) Faktoren die Wissenschaft vor Herausforderungen. Auch hinsichtlich werkzeugtechnischer Umsetzungen bestehe Forschungsbedarf. Dies betreffe u.a. Fragen der Visualisierung und Wartung von Modellen, aber auch Möglichkeiten und Grenzen der Simulation und Prognose mit Hilfe der Prozessmodellierung. Für eine Praxisanwendung ergebe sich ferner die Frage nach geeigneten Messgrößen, um bspw. Prozesse zu überwachen und zu steuern. Im dritten Forschungsfeld gelte es, **Nutzen** aus einer Prozessmodellierung zu ziehen. Hierfür seien Anwendbarkeit und Verständlichkeit von Prozessmodellen ausschlaggebend. Außerdem bedürfe es einer gemeinsamen Modellierung aus verschiedenen Perspektiven.

Um diese Herausforderungen bzw. Teilmengen davon anzugehen, wurden in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Ansätze zur Prozessmodellierung entwickelt. Nachfolgend werden drei Arbeiten vorgeschellt, die unterschiedliche Klassifizierungen des Stands der Forschung vorschlagen. Sie vermitteln einen Überblick von der Vielfalt der entwickelten Ansätze.

2.4.1.2 Kompilatorische Arbeiten und Klassifizierung von Ansätzen

WYNN und CLARKSON klassifizieren ihre umfangreiche Literaturrecherche in drei Kategorien von Modellierungsansätzen. So grenzen sie phasenbasierte Modelle von ihren aktivitätenbasierten Pendanten ab. Weiterhin unterscheiden sie problem- und lösungsorientierte Ansätze sowie analytische, abstrakte und prozedurale Ansätze. Letztere werden weiter unterteilt in deskriptive und präskriptive Modelle bzw. Methodologien. Außerdem grenzen die Autoren Modellierungsansätze aus der Perspektive des Managements von der Perspektive der Entwicklung ab.²²⁷

²²⁷ s. Wynn und Clarkson 2005

Auch BROWNING und RAMASEH beschreiben aus der Perspektive des Projektmanagements eine umfangreiche Klassifizierung von rund 400²²⁸ Veröffentlichungen. Sie unterscheiden aktivitätenbasierte Modelle von dynamischen, kausalen, oder parametrischen Modellen und orientieren sich in ihrer Arbeit an den jeweiligen Modellierungszwecken der Ansätze.²²⁹ (Eine detaillierte Betrachtung von Modellierungszwecken folgt in Kapitel 5 dieser Arbeit.)

TOMIYAMA und Kollegen verweisen auf Klassifikationsschemata wie z.B. von FINGER und DIXON²³⁰ oder HORVÁTH²³¹. Außerdem stellen sie eine Klassifikation deutscher Ansätze nach HEYMANN²³² und eine Klassifikation auf Basis der General Design Theory nach YOSHIKAWA²³³ dar. Sie illustrieren zahlreiche Theorien und Methoden bzw. Methodologien – von wissenschaftstheoretischen Grundlagenwerken bis hin zu anwendungsorientierten Methoden und Vorgehensweisen mit konkreten Zielen (z.B. „Design for X“²³⁴). Außerdem untersuchen sie deren Verbreitung in der akademischen Lehre und in der industriellen Anwendung. Sie kommen zu dem Schluss, dass abstrakte Methodologien der Produktentwicklung in der Lehre weit verbreitet seien. Jedoch fänden sie wenig Anwendung in der Praxis. Hingegen seien Methodologien mit konkreten Zielen (z.B. QFD²³⁵ oder TRIZ²³⁶) gleichermaßen weit in Lehre und Anwendung verbreitet. Selbiges gelte für Methoden, die auf mathematischen Algorithmen basieren.²³⁷

2.4.1.3 Von deskriptiven zu präskriptiven Modellen

Design Science als Beispiel einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre

Die „Design Science“ ist ein Beispiel für eine Auffassung von der Konstruktionslehre als Wissenschaft. Sie entwickelte sich in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts auf Basis der Systemtheorie. Dabei stellt sie eine umfassende Philosophie dar, die technische, ökonomische, menschliche, soziologische und psychologische Dimensionen umfasst. Wichtige Arbeiten umfassen katalogische Aufstellungen von Maschinensystemen²³⁸, die zu Theorien technischer Systeme weiterentwickelt wurden. Zunächst stellten diese Arbeiten reine Erklärungsmodelle dar. Zusammen

²²⁸ Von ursprünglich ca. 400 identifizierten Arbeiten waren rund die Hälfte zugänglich bzw. relevant.

²²⁹ s. Browning und Ramaseh 2007

²³⁰ vgl. Finger und Dixon 1989

²³¹ vgl. Horváth 2004

²³² vgl. Heymann 2005

²³³ vgl. Yoshikawa 1981

²³⁴ vgl. Huang 1996 und Holt und Barnes 2009

²³⁵ vgl. Mizuno und Akao 1993

²³⁶ TRIZ – russ. Abk. f. „Theorie zur Lösung erfinderischer Probleme“ – vgl. Altshuller 1984

²³⁷ s. Tomiyama et al. 2009

²³⁸ vgl. Hubka 1974

mit Theorien über Konstruktionsprozesse²³⁹ wurde sie u.a. von HUBKA zu einem „Total Concept Theory for Engineering Design“ weiterentwickelt.²⁴⁰ Zwar ist die „Design Science“ auf eine industrielle Anwendung ausgerichtet; sie findet dort jedoch keine breite Anwendung.²⁴¹ Stattdessen kann sie aber als Erklärungsmodell dem Konstruktionsunterricht an Technischen Hochschulen dienen.²⁴²

Das „generelle Vorgehensmodell des Entwicklungsprozesses“ gliedere sich nach HUBKA in folgende inhaltlich bzw. chronologisch zu unterscheidenden Abschnitte: Eine **Produktplanung** münde in eine Problemeingrenzung z.B. in Form eines verbindlichen Entwicklungsauftrags. Dem schließe sich die **Spezifikation** an, für die das identifizierte Entwicklungsproblem zunächst analysiert werde. Parallel zu einer Marktrecherche würden ferner Möglichkeiten einer Umsetzung untersucht werden, um einen vollständigen Satz priorisierter Anforderungen festzulegen. Davon ausgehend werde eine **Funktionsstruktur** entwickelt. Dabei sei es möglich, dass zunächst alternative Lösungswege zur Funktionserfüllung verfolgt würden, aus denen eine geeignete (abstrakte) Systemstruktur auszuwählen sei. Die Umsetzung der abstrakten Funktionen erfolge durch die **Organstruktur**, die das technische Lösungskonzept repräsentiere. Beispielsweise durch eine morphologische Matrix könnten dabei Funktionsträger (sogenannte „Organe“) zum technischen System kombiniert werden, um dessen Systemverhalten – eine Transformation von Eingangs- in Ausgangsgrößen – zu realisieren. Eine Konkretisierung der Organe in Form von Komponenten führe zu einer groben Formgebung und Anordnung der Teilsysteme. Damit würden die Entwurfparameter und eine erste Dimensionierung der Komponentenstruktur in einem **Vorentwurf** festgelegt werden. Eine Verifizierung dieses Entwurfs erlaube schließlich dessen Finalisierung – dabei würde durch Festlegen von Anordnung und Dimensionierung ein **finaler Entwurf** bestimmt. Eine vollständige Dokumentation in Form von Stücklisten, Montagezeichnungen etc. schließe diesen Abschnitt ab. Als letzten Schritt erfolge ein Funktionsnachweis durch **Testen** eines Prototyps, bevor – ggf. nach letzten Änderungen – eine Freigabe für Fertigung und Vertrieb erfolgen könne. Während dieser Prozessschritte erfolge ein kontinuierlicher Informationsrückfluss, der zu Iterationen innerhalb der jeweiligen Schritte oder aber zu einer neuen Produktplanung führen könne.²⁴³

²³⁹ vgl. Hubka 1976

²⁴⁰ vgl. Hubka und Eder 1988

²⁴¹ s. Tomiyama et al. 2009

²⁴² s. ebda. und Hubka 1978

²⁴³ s. Hubka 1967 und Hubka und Eder 1996

Kerngedanke des „V-Vorgehensmodells“ am Beispiel des Axiomatic Design

Auch mit dem „Axiomatic Design“ geht SUH davon aus, dass sich die Produktentwicklung in unterscheidbare Abschnitte herunterbrechen lasse. Er führt mit seinem Ansatz eine mathematische Formalisierung der Konstruktionstätigkeit ein. Die Vorgehensweise des Herunterbrechens und wieder Zusammenfügens in iterativen Zyklen für einzelne Teilsysteme beschreibt SUH als „zig-zagging“ Ansatz.²⁴⁴

Die strukturierte Suche und Zuordnung geeigneter Lösungen für zuvor festgelegte Anforderungen erfolge nach SUH schrittweise in vier Domänen: der Kundendomäne, der funktionalen und der physischen Domäne sowie der Prozessdomäne. Sein Vorgehensmodell beschreibt, wie aus **Kundenanforderungen** zunächst sogenannte **funktionale Anforderungen** FA und Restriktionen abgeleitet werden könnten. Diese gelte es zu dekompositionieren und iterativ **Design Parametern** DP zuzuordnen. Ziel dabei sei es, diese Zuordnung, wie nachfolgend dargestellt, in einer vollständigen Entwurfsmatrix $[A]$ zu repräsentieren.

$$\{FA\} = [A]\{DP\} \quad \text{bzw.} \quad \begin{Bmatrix} FA_1 \\ \vdots \\ FA_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & \dots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \dots & A_{nm} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ \vdots \\ DP_n \end{Bmatrix} \quad \text{Gl. 1}$$

Davon ausgehend sei schrittweise eine Identifikation von Modulen, der Entwurf von Schnittstellen und damit die Umsetzung bzw. Realisierung des Entwurfs in ein Produkt bzw. System möglich. Dafür seien **Prozessvariablen** zu definieren, die ein Abarbeiten des Realisierungsplans ermöglichen.

Zur Bewertung der Entwurfsmatrix werden im Axiomatic Design zwei Entwurfsprinzipien aufgestellt. Das Unabhängigkeitsaxiom besagt, dass die funktionalen Anforderungen per Definition unabhängig voneinander seien; die Unabhängigkeit müsse bei der Zuordnung zu Design Parametern erhalten bleiben. In Fällen, wo dies nicht möglich sei, liege ein „gekoppelter Entwurf“ vor. Da hier die Reihenfolge der Ausgestaltung der Designparameter nicht mathematisch bestimmt werden könne, seien Iterationen wahrscheinlich. Daher gelte der Ansatz, dass gekoppelte Entwürfe zu vermeiden seien. SUH strebt also danach, Komplexität einzudämmen. Nach dem Informationsaxiom diene ferner die Menge zusätzlicher Informationen, die neben den Entwurfsgleichungen für die Realisierung des Designs benötigt werden, als quantitatives Maß für die Bewertung und den Vergleich unterschiedlicher zulässiger Entwürfe. Dieses ergebe sich aus der Erfolgswahrscheinlichkeit eines Entwurfs, die

²⁴⁴ s. Suh 1990, S. 39

es zu maximieren gelte. Ziel dieses Axioms ist eine Reduktion des Informationsgehalts, indem nur zulässige Entwürfe gesucht werden.²⁴⁵

Die logische Vorgehensweise des Axiomatic Design veranschaulicht den komplexen Entwurfsprozess technischer Systeme mit wenigen Beschreibungsmitteln. Daher erfährt diese Auffassung von der Produktentstehung bzw. -entwicklung einige Beachtung in der Industrie.²⁴⁶ Dennoch sind wesentliche Grundannahmen des Axiomatic Design zur Diskussion zu stellen. So wird das Streben nach einer Eindämmung der Komplexität und Informationsvielfalt u.a. von LINDEMANN als mögliches Hemmnis von Innovationen kritisiert. Es sei nur eine unter vielen denkbaren Strategien.²⁴⁷ Weiter können kaufentscheidende Kundenwünsche aufgrund zahlreicher Faktoren grundsätzlich nicht als bekannt bzw. zugänglich vorausgesetzt werden.²⁴⁸ Daher kann nicht davon ausgegangen werden, dass immer eine vollständige Erfassung funktionaler Anforderungen gelingt. Darüber hinaus argumentiert ALBERS, dass eine eindeutige Zuordnung von Design Parametern zu funktionalen Anforderungen der kognitionspsychologisch begründeten Vorgehensweise der Konstrukteure und dem Verhalten realer technischer Systeme widerspreche – vielmehr bedingten sich Funktion und Gestalt in hohem Maße gegenseitig.²⁴⁹ Sie seien folglich nicht losgelöst voneinander zu betrachten, was als Widerspruch zum ersten Axiom angesehen werden kann.

Die Grundannahme, dass sich das Entwicklungsgeschehen in sequenzielle Abschnitte gliedern lasse, bildet die Basis für zahlreiche Arbeiten im Stand der Forschung. Sie gehen mehrheitlich davon aus, dass sich Anforderungen top-down in Funktionen herunterbrechen ließen (oftmals als „Analyse“ bezeichnet), die dann wieder in Form von Gestaltelementen bottom-up zusammengefügt werden könnten (oftmals als „Synthese“ bezeichnet). Diese Vorgehensweise findet Ausdruck im sogenannten „V-Modell“. Die Schritte der Anforderungsermittlung, des Herunterbrechens in funktionale Anforderungen, das Zuordnen dieser zu Teilsystemen und deren Aggregation zu einem Gesamtentwurf sind typisch für zahlreiche Ansätze. Sie spiegeln sich u.a. im Vorgehen nach PAHL UND BEITZ sowie den VDI-Richtlinien 2221 und 2206 wider, wie nachfolgend in diesem Abschnitt gezeigt wird. Diese Arbeiten haben präskriptiven Charakter. Sie sollen die Produktentwicklung demnach nicht nur erklären, sondern auch konkrete Handlungsanweisungen liefern, wie dabei vorzugehen sei. Wenngleich diese Ansätze auch in der Lehre und der Praxis

²⁴⁵ vgl. Suh 2001

²⁴⁶ s. Tomiyama et al. 2009

²⁴⁷ s. Lindemann 2009, S. 34

²⁴⁸ s. Heck 2013 (betreute Abschlussarbeit), S. 39

²⁴⁹ vgl. Albers et al. 2011a

verbreitet sind²⁵⁰, werden sie häufig z.B. aufgrund ihrer Unflexibilität und mangelnder Praxistauglichkeit kritisiert.²⁵¹ Insbesondere sieht ALBERS erst in der Überwindung sequenzieller Prozessmodelle eine notwendige Voraussetzung, der Entwicklungsmethodik zu einer erfolgreichen Anwendung in der Praxis zu verhelfen.²⁵² Dabei gelte es, Analyse und Synthese als elementare, iterative Entwicklungstätigkeiten zu verstehen.²⁵³ Sie seien nicht kennzeichnend für einzelne Phasen eines Prozesses. Vielmehr erfolgten sowohl Analyse als auch Synthese innerhalb aller Entwicklungsaktivitäten – während der Konstruktion und auch in der übrigen Produktentstehung von der Produktprofilfindung bis zu dessen Umsetzung und Validierung.²⁵⁴

2.4.2 Einflussparameter der Prozessmodellierung

Bevor nachfolgend verschiedene Ansätze der Prozessmodellierung vorgestellt werden, sollen in diesem Unterabschnitt zunächst wichtige Einflussparameter betrachtet werden, denen Prozesse unterliegen. Es ist von Bedeutung, diese Einflüsse zu verstehen, um individuelle Unterschiede der jeweiligen Prozessmodelle erklären zu können.

Durch das zu entwickelnde Produkt selbst fließen v.a. technische Parameter in die Produktentstehung ein. So werden zahlreiche Anforderungen an Kompetenzen in Entwicklung, Validierung, Fertigung, aber auch Inbetriebnahme, Service und Systemabbau oder Wiederaufbereitung am Ende des Produktlebenszyklus gestellt.

Betriebswirtschaftliche Einflüsse auf die Produktentstehung können in einer Betrachtung gegliedert werden, die top-down vom Markt bis zu individuellen Prozessbeteiligten reicht. So stellten nach HECK Kunden wie auch Wettbewerber wichtige Stakeholder eines Prozesses dar. Durch die Organisation von Unternehmen würden Rahmenbedingungen vorgegeben werden, die ihrerseits erhebliche Einflüsse auf Produktentstehungsprozesse haben könnten. Eine besondere Bedeutung komme hierbei dem Marketing zu. Während dieses Anforderungen aus Sicht der Kunden in die Produktentwicklung speise, würden durch die Produktionstechnik weitere Einflüsse bestimmt, nach denen sich die Produktentwicklung richten müsse. Die Entwicklung selbst sei überdies durch zahlreiche Einflussparameter gekennzeichnet. Diese umfasse Aspekte der Teamorganisation und -kommunikation und reiche bis hin zu individuellen Charakteristika der beteiligten Personen und deren Umfelds.²⁵⁵

²⁵⁰ s. Tomiyama et al. 2009

²⁵¹ vgl. Albers und Braun 2011 nach Weiß 2006, Wynn 2007 und Meboldt 2008

²⁵² vgl. Albers et al. 2011b

²⁵³ vgl. Albers et al. 2012a

²⁵⁴ vgl. Albers und Braun 2011

²⁵⁵ vgl. Heck 2013 (betreute Abschlussarbeit), S. 38ff.

Ähnliche und weitere Aspekte vergleicht PINNER in einer Einflussmatrix, um durch diesen binären Vergleich Aussagen über die Stärke verschiedener Einflüsse zu treffen.²⁵⁶ Demnach seien u.a. Geografie, Kultur und Mentalität wichtige Einflüsse: Je nach gesellschaftlichem und politischem Umfeld eines Unternehmens ergäben sich hohe Einflüsse auf Parameter wie die Dynamik und die Vernetzung zugrunde gelegter Ziele, die Erwartungen der Kunden oder die Entwicklungskosten. Die Branche, in der ein Unternehmen agiere, beeinflusse ebenso wichtige Parameter wie die Art und Anzahl der Entwicklungspartner und Zulieferer, die Entwicklungsart oder die Anzahl parallel durchgeführter Projekte. Die Unternehmensstrategie beeinflusse maßgeblich den unternehmensinternen Neuheitsgrad eines Entwicklungsprojekts, die Einbindung externer Partner oder den Qualitätsanspruch. Die Konkurrenzsituation habe Einfluss auf Parameter wie die Dynamik der Ziele, die Entwicklungszeit oder die Marktverhältnisse. Insbesondere projektübergreifende Parameter übten also einen hohen Einfluss aus. Gleichzeitig seien die am stärksten beeinflussten Indikatoren stark projektbezogene Parameter wie die Entwicklungszeit, die Vielfalt an Prozessen, die Entwicklungskosten oder die Einbindung externer Partner. Projekte werden also zu einem erheblichen Teil von Parametern bestimmt, auf die das entwickelnde Unternehmen keinen Einfluss ausüben kann – umso wichtiger ist die Bereitstellung von methodischen Ansätzen zur Unterstützung der Produktentstehung.

2.4.3 Ansätze mit Fokus auf die Konstruktion und die Entwicklung

In diesem Abschnitt werden zunächst Ansätze vorgestellt, die die Entwicklungsarbeit in den Vordergrund stellen. Den Ausgangspunkt bilden Arbeiten der Konstruktionsmethodik. Sie zielen hauptsächlich auf technische Aspekte der Produktentwicklung ab. Daraufhin wird die Evolution der Modellierungsansätze über systemtechnische Modelle zu den sequenzorientierten Ansätzen zur Gliederung und methodischen Unterstützung der Entwicklung nachvollzogen. Letztere führte bis zu Bestrebungen, Teile der Ingenieursarbeit rechnergestützt zu automatisieren.

2.4.3.1 Frühe Konstruktionsmethodik und moderne Unterstützungssysteme

Die ersten methodischen Ansätze der Konstruktionslehre gehen auf die sogenannte „Ilmenauer Schule“ zurück. Motiviert durch den Mangel an Fachkräften entstanden in der ehemaligen DDR Ansätze zur Steigerung von Effektivität und Effizienz der Produktentwicklung.²⁵⁷ Dabei wurden insbesondere den psychologischen Aspekte adressiert, um Konstrukteure zu unterstützen.²⁵⁸ Neben Kognitionswissenschaft und

²⁵⁶ vgl. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 59f.

²⁵⁷ vgl. Hansen 1956

²⁵⁸ vgl. Müller 1990

Heuristik fand auch die Disziplin der Informatik bzw. der digitalen Datenverarbeitung Einzug in diese Schule der Produktentwicklung.²⁵⁹

In der BRD wurde die Konstruktionsmethodik seit 1965 von ROTH und ab den 1980er Jahren von dessen früherem Schüler FRANKE vorangetrieben. Dabei standen zunächst logisch strukturierte Systematiken zur datenbasierten Produktdefinition im Vordergrund der Betrachtung. Die Arbeiten mündeten in der Bereitstellung von Systematiken technischer Systeme und deren zugrundeliegenden Wirkmechanismen und Effekte z.B. in Form von Konstruktionskatalogen oder Sammlungen sogenannter Prinziplösungen.²⁶⁰ Durch FRANKE erfuhr die Konstruktionsmethodik eine Orientierung, die sich stärker auf die iterative Natur von Entwicklungsprozessen konzentrierte. Damit rückte die individuelle Kreativität der Entwickler in den Vordergrund.²⁶¹ Daneben wurden ausgewählte einzelne Aspekte der Produktentwicklung methodisch ergründet. Zu den Ergebnissen gehören u.a. Methoden für das kostengerechte Konstruieren, die Variantenkonstruktion oder das Qualitätsmanagement. Letzteres wurde maßgeblich durch bemerkenswerte Fortschritte japanischer Konzerne beeinflusst.²⁶² Eine umfassende Zusammenstellung dieser Ansätze und ihrer Entstehungsgeschichte zeichnet HEYMANN nach. Dabei wird der Weg von einer **enzyklopädischen Maschinenwissenschaft** zu einer Universaltheorie der Technik nachverfolgt und die Entwicklung dieser Verwissenschaftlichung unter Berücksichtigung diverser Einflüsse aus Philosophie und Praxis aufgezeigt.²⁶³ Insbesondere Einflüsse der **Kybernetik** und der aufkommenden Computertechnik führten demnach zu Visionen einer Automatisierung der Entwicklungstätigkeit, wie sie auch Gegenstand der u.a. nachfolgend vorgestellten Arbeiten GRABOWSKIS waren.

Das Streben nach einer **Automatisierung** ist nach wie vor ein vieldiskutierter Gedanke. Zahlreiche Wissenschaftsvertreter führen an, dass aufgrund der Komplexität der Produktentstehung kein Ersetzen der menschlichen Ingenieurstätigkeit mit ihren kreativen und heuristischen Momenten möglich sei.²⁶⁴ Dennoch werden immer wieder Unterstützungswerkzeuge vorgestellt, die zumindest Teile der Konstruktionsarbeit erleichtern bzw. automatisieren sollen. Hierzu werden i.d.R. mathematische Algorithmen entwickelt, die innerhalb eines sogenannten „Lösungsraums“²⁶⁵ – des manipulierbaren Gestaltungsrahmens für die Konstruktion – eine Vielzahl „geeigneter“ Lösungen generieren. Eine Entscheidungsheuristik soll

²⁵⁹ vgl. Hansen 1974

²⁶⁰ vgl. Roth 1982, Franke 1985 und Koller 1985

²⁶¹ vgl. Pahl und Beitz 1996, S. 16f.

²⁶² vgl. Taguchi 1987

²⁶³ vgl. Heymann 2005

²⁶⁴ vgl. u.a. Brandish et al. 1996

²⁶⁵ s.a. Lohmeyer 2013, S. 96ff.

danach eine Evaluation und Auswahl „optimaler“ Lösungen erlauben.²⁶⁶ Beispiele für derartige Arbeiten sind die Programme FuncSION²⁶⁷ oder Schemebuilder²⁶⁸ sowie die „Design Automation“ von BLESSING.²⁶⁹ Dieser Ansatz basiert auf WEBERS Characteristics Properties Model, das im Folgenden kurz vorgestellt wird.

2.4.3.2 Property-Driven Design und Characteristics Properties Model

WEBER beschreibt ein generelles Rahmenwerk zur Modellierung von Produkten und zur Repräsentation des Prozesses zu deren Entwicklung. Dabei unterscheidet er gestaltcharakterisierende **Merkmale** von funktionsrelevanten **Eigenschaften** eines Produktes. Das Zusammenwirken von Funktion und Gestalt findet sich auch in ALBERS Contact and Channel Ansatz (C&C²-A) wieder, der nachfolgend im Detail betrachtet wird. Zunächst sei lediglich das Grundverständnis des Funktions-Gestalt-Zusammenhangs von Interesse. Demnach könne ein Konstrukteur ausschließlich Gestaltmerkmale manipulieren, indem er z.B. deren Geometrie, Toleranzen oder Werkstoffe definiert. Funktionseigenschaften folgten indirekt aus der Gestaltung eines Produkts. Sie seien nur durch Nutzung oder Testen eines Produktes für eine Analyse zugänglich. Die Synthese technischer Systeme sei dem Property-Driven Design zufolge also nur durch eine iterative Spezifikation eines Entwurfs möglich. Ohne dass konkrete Entwicklungsphasen benannt werden, zielt der Ansatz auf kurze Entwicklungszyklen aus Problemanalyse, Anpassung bestehender Lösungen und Ergebnisverifikation ab.²⁷⁰

2.4.3.3 Ansätze auf Basis der Systemtechnik

Die voranstehend beschriebenen Ansätze der Konstruktionsmethodik legen den Betrachtungsschwerpunkt auf die technischen Aspekte der Produktentwicklung. Daneben gab es seit Beginn der 1970er Jahre auch die Bestrebung, die Konstruktionslehre stärker auf die soziotechnischen Anforderungen der Produktentstehung auszurichten. Wie bereits in Abschnitt 2.3 dargestellt, sollte die „Systemtechnik“ als interdisziplinäre Wissenschaft zu neuen Arbeitsweisen zur optimalen Gestaltung komplexer Systeme führen. So war die Systemtechnik 1971 Motto des Deutschen Ingenuiertags des VDI. Die richtungsweisenden Arbeiten von ROPOHL und PATZAK zum **Systemtripel ZHO** wurden bereits vorgestellt.²⁷¹ Insbesondere die Zielorientierung stellt eine Basis für zahlreiche Arbeiten zur Unterstützung der

²⁶⁶ s. Antonsson und Cagan 2001 und Chakrabarti 2002

²⁶⁷ vgl. Chakrabarti und Bligh 1996

²⁶⁸ vgl. Bracewell und Sharpe 1996

²⁶⁹ vgl. Qureshi et al. 2013

²⁷⁰ vgl. Weber und Deubel 2003 und Weber 2004

²⁷¹ vgl. Ropohl 1975 und Patzak 1982

Produktentwicklung dar. So beeinflusste die Systemtechnik auch den im nächsten Abschnitt vorgestellten Ansatz nach PAHL UND BEITZ.²⁷²

2.4.3.4 Konstruktionslehre nach Pahl und Beitz

Bei der Konstruktionslehre nach PAHL und BEITZ handelt es sich um einen weit verbreiteten²⁷³ Vertreter der zuvor eingeführten phasenorientierten Vorgehensmodelle. Die große Beachtung in Lehre und Praxis ist z.T. auf den anwendungsorientierten Charakter des Werkes, das zahlreiche Methoden und konkrete Anleitungen umfasst, zurückzuführen. Darüber hinaus liegen der Arbeit denkpsychologische Erkenntnisse zugrunde, um den Konstrukteur besser in seiner Arbeit unterstützen zu können.²⁷⁴ Die internationale Verbreitung des Ansatzes ist jedoch insbesondere durch die englische Übersetzung durch POMERANS und WALLACE begründet.²⁷⁵

Nach PAHL und BEITZ ist ein Produktentwicklungsprozess ein iterativer Ablauf von vier Hauptphasen.²⁷⁶ Im ersten Schritt – **Planen und Klären der Aufgabe** – seien relevante Produkteigenschaften zu definieren. Außerdem müssten interne wie externe Randbedingungen analysiert werden. Daraufhin werde durch das **Konzipieren** eine prinzipielle Lösung der Entwicklungsaufgabe festgelegt. In der Phase des **Entwurfs** werde die Gestalt festgelegt. Die detaillierte Ausarbeitung des endgültigen Entwurfs nebst einer Überprüfung der Funktionstüchtigkeit erfolge in der letzten Phase – dem **Ausarbeiten**.

HALES untersuchte das Geschehen der Produktentwicklung in einer empirischen Feldstudie. Dabei ließen sich lediglich 47 % der von ihm erfassten Informationen über den Produktentwicklungsprozess den durch PAHL und BEITZ definierten Kategorien von Aktivitäten zuordnen.²⁷⁷ Generell sind wesentliche Aspekte in starren oder einseitig fokussierten Modellen nicht abbildbar – ein Nachteil, der auch den nachfolgend vorgestellten VDI-Richtlinien zum Vorwurf gemacht wird.²⁷⁸

2.4.3.5 VDI-Richtlinie 2221

Auch in der VDI-Richtlinie 2221 wird der Produktentwicklungsprozess in die Phasen der Planung, Konzipierung, Gestaltung und Ausarbeitung unterteilt. Ferner wird die Entwicklungstätigkeit in sieben branchenunabhängige **Arbeitsschritte** untergliedert.

²⁷² vgl. Beitz 1970

²⁷³ s. Tomiyama et al. 2009

²⁷⁴ vgl. Pahl et al. 2007

²⁷⁵ vgl. Pahl und Beitz 1984

²⁷⁶ ebda.

²⁷⁷ vgl. Hales 1987

²⁷⁸ s. Meboldt 2008, S. 141ff.

Ihnen werden jeweils typische Arbeitsergebnisse zugeordnet.²⁷⁹ Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Arbeitsschritte mit den korrespondierenden Arbeitsergebnissen.

Tabelle 1: Arbeitsschritte und zugehörige Ergebnisse nach VDI-Richtlinie 2221

Arbeitsschritte	Zugehörige Ergebnisse
Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung	Anforderungsliste
Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen	Funktionsstrukturen
Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen	Prinzipielle Lösungen
Gliedern in realisierbare Module	Modulare Strukturen
Gestalten der maßgebenden Module	Vorentwurf
Gestalten des gesamten Produkts	Gesamtentwurf
Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben	Produktdokumentation

Zwar wird die iterative Natur von Produktentstehungsprozessen grundsätzlich betont; dem stehen jedoch die lineare Anordnung der Entwicklungsaufgaben und -phasen sowie ein streng sequenzieller Problemlösungsprozess der Zielsetzung, Planung, Durchführung und Kontrolle umfasst, entgegen. Weitere Kritik fasst WEIß wie folgt zusammen:

- fehlende klare Nachvollziehbarkeit ganzer Entwicklungsprojekte, da das betont flexible Durchlaufen der Arbeitsschritte nicht gegeben ist.
- Keine Präzisierung der angesprochenen Iterationsthematik und Abgrenzung zu Rekursionen.
- Zu abstrakt-methodische Vertiefung der einzelnen Arbeitsschritte.
- Keine explizite Trennung von Prozessen und Ergebnis.
- Die Beherrschung genutzter, generierter Inhalte und ihrer Verknüpfung werden nicht hinreichend dargelegt.²⁸⁰

ALBERS und SADOWSKI stellen darüber hinaus den zweiten Arbeitsschritt der Erstellung von Funktionsstrukturen in Frage. Sie beziehen sich auf MATTHIESEN, der in Studien mit Industrieunternehmen feststellt, dass Funktionsstrukturen in der Praxis zwar als Terminus technicus bekannt seien; es habe sich jedoch herausgestellt, dass in keinem Fall auch nur eine einzige Repräsentation einer Funktionsstruktur zu finden gewesen wäre.²⁸¹ Die Autoren argumentieren, dass eine Betrachtung von Funktionen nicht losgelöst von einer Betrachtung der zugehörigen Gestalt erfolgen könne.²⁸² Demnach sei in einer sequenziellen Trennung von Funktions- und

²⁷⁹ s. VDI 2221 1993

²⁸⁰ s. Weiß 2006, S. 10 zitiert nach Meboldt 2008, S. 38

²⁸¹ s. Matthiesen 2011

²⁸² ebda. und Albers und Sadowski 2013

Gestaltmodellierung bzw. -entwicklung eine Hauptschwierigkeit vieler Ansätze im bestehenden Stand der Forschung begründet.²⁸³

2.4.3.6 VDI-Richtlinie 2206

Ergänzend zur VDI-Richtlinie 2221 wurde für mechatronische Systeme die VDI-Richtlinie 2206 eingeführt.²⁸⁴ Es wird darin auf das Ordnungsprinzip der Hierarchisierung verwiesen, mit dem sich mechatronische Systeme hinsichtlich ihres funktionalen Aufbaus aus Modulen (Systemelemente, Bauteile) betrachten lassen.²⁸⁵ Die Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme beschreibt einen Makrozyklus in Form des sogenannten V-Modells, das seinen Ursprung in der Softwareentwicklung der 1970er Jahre hat.²⁸⁶ Dessen Besonderheit ist eine Unterscheidung der Entwicklungstätigkeiten in drei übergeordnete Phasen – die Schenkel, die wie in Abschnitt 2.4.1.3 dargelegt oft als Analyse und Synthese aufgefasst werden, sowie die Basis des „V“ – s. Abbildung 2.²⁸⁷

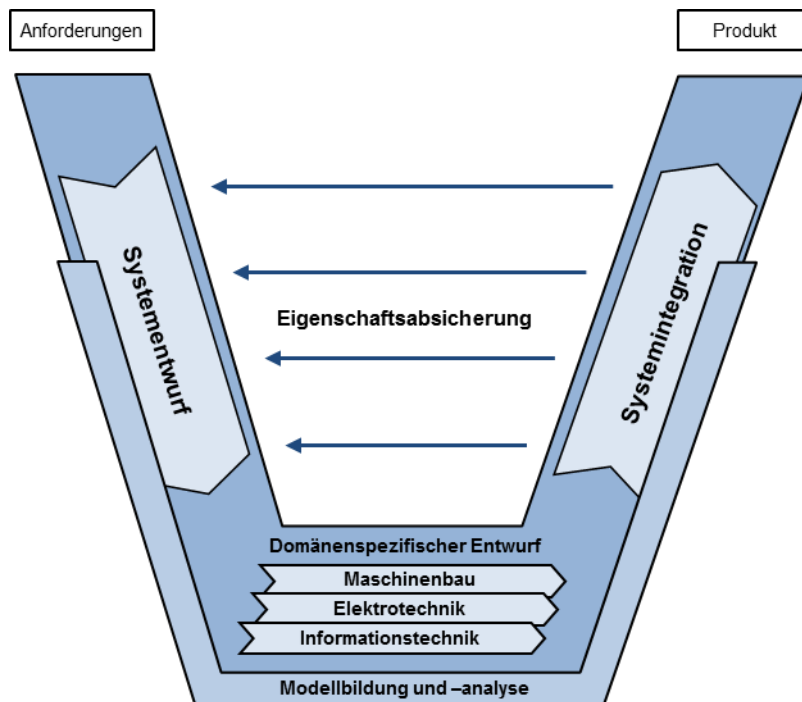


Abbildung 2: Das V-Modell der Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme²⁸⁸

Zu Beginn eines Entwicklungsprojekts werden nach der VDI-Richtlinie 2206 **Anforderungen** definiert, die aus dem Entwicklungsauftrag abzuleiten seien. Fortschrittlich ist die Vorgabe der Richtlinie, bereits zu diesem frühen Zeitpunkt

²⁸³ vgl. Albers et al. 2011b

²⁸⁴ s. VDI 2206 2004

²⁸⁵ ebda. S. 16

²⁸⁶ vgl. Bröhle und Dröschl 1993

²⁸⁷ VDI 2206 2004, S. 29

²⁸⁸ ebda.

Testfälle – also die Randbedingungen für eine spätere Validierung – zu definieren. Im sogenannten „**Systementwurf**“ sei dann die Gesamtfunktion in Teilfunktionen zu untergliedern, denen geeignete physikalische Wirkprinzipien zuzuordnen seien. Dieses Vorgehen findet sich in ähnlicher Form auch im zuvor bereits beschriebenen „Axiomatic Design“ wieder und unterliegt denselben Vorbehalten.

Im anschließenden „**domänenspezifischen Entwurf**“ werde eine weitere Konkretisierung des Lösungskonzepts getrennt nach den Fachrichtungen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik verfolgt. Durch diese disziplinäre Trennung soll den Erfordernissen mechatronischer Produktentwicklungsprojekte Rechnung getragen werden. Neben der VDI-Richtlinie 2206 existieren andere Arbeiten, die im Gegensatz dazu eine Disziplinen-integrierende Vorgehensweise fordern.²⁸⁹

In der dritten Phase, der „**Systemintegration**“, würden die Ergebnisse der domänenspezifischen Entwurfsphase zum Gesamtsystem synthetisiert werden. Dabei finde mit zunehmender Produktreife wiederholt eine Eigenschaftsabsicherung anhand der zuvor definierten Anforderungen statt. Bis zum Endprodukt könne der Makrozyklus auch mehrfach durchlaufen werden. In dieser Weise würden die Anforderungen bei jedem Durchlauf genauer spezifiziert werden, der Reifegrad des Produkts nehme durch die wiederkehrende Eigenschaftsabsicherung zu.

2.4.3.7 Integrierte Prozess- und Produktmodelle

Die Produktevaluation spielt eine zentrale Rolle im Entwicklungsprozess und beeinflusst dessen Verlauf maßgeblich.²⁹⁰ Demzufolge wurde in einigen Modellierungsansätzen eine integrierte Betrachtung von **prozess- und produktrelevanten Informationen** fokussiert. So entwickelten bspw. WESTPHAL und WARTZAK einen integrierten Ansatz, um Produktinformationen für die Evaluation von Produkteigenschaften zur richtigen Zeit zur Verfügung zu stellen. Die Prozessmodellierung basiere dabei auf dem zuvor beschriebenen V-Modell nach VDI-Richtlinie 2206. Sie könne dynamisch und generisch mit Produktinformationen verknüpft werden. Hierzu erfolge ein „Mapping“ von Produktrepräsentationen auf Objekte des Prozessmodells innerhalb eines semantischen Netzes. Diese Art der Verknüpfung sei in der Lage, Produktvalidierungsprozesse während des Entwicklungsprozesses abhängig von ihren Eingangsinformationen (d.h. der Informationsgrundlage für die Validierung) chronologisch anzuordnen.²⁹¹

²⁸⁹ vgl. Hellenbrand 2013

²⁹⁰ vgl. Albers 2010

²⁹¹ vgl. Westphal und Wartzack 2011 zitiert nach Salomon 2013, S. 17

Die Nutzung semantischer Technologien findet sich auch in den bereits in Abschnitt 2.1.2 vorgestellten Arbeiten zum Umgang mit Wissen in der Produktentstehung wieder. Dabei stellt das Beispiel der Eigenschaftsabsicherung nur eine Möglichkeit der Unterstützung durch die Bereitstellung von Informationen im Kontext konkreter Entwicklungsaufgaben dar. So werden am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik der Universität Erlangen außerdem z.B. Softwaremodule zur Berechnung von Herstellkosten oder Bauteilbelastungen mit Modulen zur (wissensbasierten) Unterstützung fertigungs- oder recyclinggerechten Konstruierens innerhalb eines „Konstruktionssystems“ kombiniert und zusammen mit weiteren „**Assistenzsystemen** für die Produktentwicklung“ bereitgestellt.²⁹²

2.4.3.8 General Design Theory und Universal Design Theory

Über den Fokus der Produktentwicklung hinaus wurden weiterhin auch Unterstützungssysteme für die gesamte Produktentstehung beschrieben, also einschließlich der Herstellung der entworfenen Produkte. So wurde bspw. am Lehrstuhl für „Rechneranwendung in Planung und Konstruktion (RPK)“ der ehemaligen Universität Karlsruhe (TH) das Ziel einer rechnerunterstützten Produktentwicklung und -herstellung auf Basis eines integrierten Produkt- und Produktionsmodells verfolgt. Diese Arbeiten haben ihren Ursprung an der RWTH Aachen, wo die erste deutschsprachige Veröffentlichung zum **rechnergestützten Konstruieren** im Jahr 1971 entstand.²⁹³ GRABOWSKI verfolgte das Ziel einer rechnerunterstützten, wissensbasierten Produktentwicklung mit dem Ansatz einer „Universal Design Theory (UDT)“.²⁹⁴ Dieser Begriff erweitert die „General Design Theory (GDT)“, die generisches, disziplinunabhängiges Wissen fokussiert, indem auch disziplinspezifisches Wissen adressiert werden soll.²⁹⁵ Nach LOSSAK und GRABOWSKI habe die UDT den Anspruch, Domänen wie den Maschinenbau, die Materialwissenschaften, die Informationstechnik, die Chemie und das Chemieingenieurwesen oder auch die Pharmazie zu integrieren, um die Entstehung beliebiger Produkte zu beschreiben. UDT gehe dabei davon aus, dass Wissen über Artefakte und Wissen über deren Entwicklung gemeinsam repräsentiert werden müsse. Dies könne durch sogenannte „Objekt-“, „Prozess-“, und „Lösungsmuster“ erreicht werden. Diese **Muster** sollen durch ein Abstraktionsmodell des Entwicklungsprozesses strukturiert bereitgestellt werden können. Das Abstraktionsmodell umfasst ähnlich wie die zuvor beschriebe-

²⁹² vgl. Meerkamm 2013

²⁹³ vgl. Opitz et al. 1971

²⁹⁴ vgl. Grabowski et al. 1998 und Grabowski und Leutsch 2003

²⁹⁵ vgl. Tomiyama et al. 2009

nen phasenorientierten Ansätze die Ebenen der „Spezifikation“, „funktionaler“ und „physikalischer“ Zusammenhänge sowie der „Gestaltung“.²⁹⁶

Die Strukturierung und Bereitstellung der Lösungsmuster ist im Gegensatz zu jüngeren – z.B. ontologiebasierten – Ansätzen sehr generisch.²⁹⁷ Vor allem aber wird kritisiert, dass die (teil-)automatische Bereitstellung von Mustern an der „umfangsbezogenen Komplexität der (Erfassung) von Entwicklungsprozessen“²⁹⁸ scheitern müsse. TOMIYAMA ET AL. schildern generelle Probleme, die Theorien bzw. Methodologien mit einem so umfassenden Anspruch wie die UDT mit sich trügen. So erfordere ein Entwicklungsprozess verschiedenste Fertigkeiten und Kompetenzen. Entwicklungsteams seien aus Individuen mit unterschiedlichsten Ausbildungshintergründen zusammengestellt. Um ein kooperatives Arbeiten zu ermöglichen, könne der Anspruch der Universalität nur durch ein übergreifendes Rahmenwerk in Form eines gemeingültigen Entwicklungsprozessmodells erfüllt werden – nach Meinung der Autoren existiere ein solches Metamodell derzeit noch nicht.²⁹⁹ Darüber hinaus sei eine praktische Anwendbarkeit nur durch eine werkzeugtechnische Umsetzung zu erreichen, die das Auswählen und Zuordnen technischer Lösungen zu einzelnen Produktanforderungen erlaube. Der Prozess des Zuordnens selbst müsse damit in Form sogenannter „constructive statements“ beschreibbar sein und zwar in einer expliziten und vollständigen Art und Weise.³⁰⁰

2.4.3.9 Zwischenfazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass zahlreiche Modellierungsansätze für Entwicklung und Konstruktion existieren. Einige der Arbeiten gehen dabei über die Repräsentation der Produktentwicklung hinaus und adressieren bspw. auch die Herstellung von Produkten. Außerdem werden neben maschinenbaulichen Produkten teilweise auch verwandte Disziplinen wie mechatronische oder verfahrenstechnische Produkte betrachtet. Ebenso wurden etliche Anstrengungen unternommen, die Konstruktion rechnergestützt zu erleichtern bzw. teilweise zu automatisieren. ALBERS ET AL. stellen fest, dass solche Ansätze, die über enzyklopädische oder algorithmische Analyse hinausgehen, keine Synthese im eigentlichen Sinn der Systemkonstruktion leisteten. Stattdessen erzeugten Sie lediglich eine Vielzahl von Lösungsalternativen. Eine heuristisch bestimmte Analyse von Systemzusammenhängen werde nicht explizit verfolgt. Daher sei auch eine Unterstützung bei der Entscheidungsfindung nicht ausreichend gegeben. Die

²⁹⁶ Lossak und Grabowski 2000

²⁹⁷ vgl. Albers et al. 2011e und Albers et al. 2012e

²⁹⁸ Pulm 2004, S. 85

²⁹⁹ s.a. O'Donovan et al. 2005

³⁰⁰ vgl. Tomiyama et al. 2009

Autoren merken an, dass dies insbesondere für unerfahrene oder nur marginal betroffene Prozessbeteiligte ein besonderes Problem darstellen kann.³⁰¹

PULM kommt in seiner Analyse des Forschungsstands zu dem Schluss, dass in der klassischen Konstruktionslehre eine Berücksichtigung systemtheoretischer, soziologischer Aspekte fehle. So würden z.B. keine Einflüsse auf das Individuum von außen betrachtet. Ebenso mangle es an Arbeiten, die auf ein gemeinsames Verständnis – etwa in Kleingruppen – abzielten.³⁰²

In Konsequenz dessen fand die Entwicklungsmethodik bis heute keine Verbreitung in der Unternehmenspraxis.³⁰³ Lediglich Insellösungen und Methoden mit sehr begrenztem Fokus oder für spezialisierte Probleme werden verbreitet angewendet.³⁰⁴ Eine durchgängige und integrierte Unterstützung der Produktentwicklung ist nicht gegeben; bestehende Arbeiten an einzelnen Lehrstühlen haben prototypischen Charakter. Abseits von werkzeugtechnischen Unterstützungssystemen ist die Entwicklungsmethodik zum heutigen Stand nur in Form von Lehrbüchern verbreitet. Diese beschreiben grundsätzliche Vorgehensschritte der Produktentwicklung mit Erklärungsmodellen, die zu abstrakt sind, um unmittelbar auf praktische Problemstellungen angewendet werden zu können. Daher dienen sie vornehmlich als Methodensammlungen.

Als generelles Problem wird erkannt, dass die vorhandenen Ansätze Großteils sequenziell aufgebaut sind. Somit sind Iterationen nicht bzw. nur implizit abbildbar. Außerdem widerspricht die Trennung von Funktion und Gestalt in vielen phasenorientierten Vorgehensmodellen der Konstruktionspraxis – ein Systemkonstrukteur „denkt“ immer in einem untrennbaren Zusammenhang von Funktion und Gestalt.³⁰⁵ Wo jedoch keine unmittelbare Unterstützung der Entwicklungstätigkeit, sondern v.a. deren Planung und Überwachung im Vordergrund steht, stellt die phasenorientierte Betrachtung der Produktentstehung in Projekten die Basis zahlreicher managementorientierter Ansätze dar. Diese sind Betrachtungsgegenstand des folgenden Abschnitts.

2.4.4 Ansätze mit Fokus auf das Management

Produktentstehungsprozesse können als **Projekte** betrachtet werden. In der DIN 69901-5 wird der Projektbegriff wie folgt definiert: Ein Projekt sei ein „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit

³⁰¹ s. Albers et al. 2011a, S. 2

³⁰² s. Pulm 2004, S. 85

³⁰³ vgl. Eder 1998, Meboldt 2008 und Jänsch et al. 2006

³⁰⁴ vgl. Tomiyama et al. 2009

³⁰⁵ vgl. Albers et al. 2011b

gekennzeichnet ist.“ Beispiele für solche Bedingungen seien Zielvorgaben, zeitliche, finanzielle, personelle oder andere Begrenzungen, sowie die projektspezifische Organisation.³⁰⁶ Gleichwohl bereits diese Definition die Einmaligkeit von Projekten hervorhebt, wurde aus der Perspektive des Projektmanagements versucht, generische Ansätze und Techniken zu entwickeln. Mit ihnen sollen eine erfolgreiche Planung und Durchführung beliebiger Projekte, beziehungsweise die Lösung bestimmter Teilprobleme des Projektmanagements ermöglicht werden.

Das **Projektmanagement** seinerseits wird in DIN 69901-5 als „Gesamtheit von Führungsaufgaben, Führungsorganisation, Führungstechniken und Führungsmitteln für die Abwicklung eines Projektes“ definiert.³⁰⁷ Analog sehen HABERFELLNER ET AL. in ihm die Summe aller organisatorischen und dispositiven Aufgaben zur Planung, Führung, Überwachung und Steuerung eines Projektes in inhaltlicher, zeitlicher sowie kostenmäßiger Hinsicht.³⁰⁸ Das angelsächsische PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE definiert es als „application of knowledge, skills, tools, and techniques to project activities to meet the project requirements“ und bringt damit auch die Perspektive der Beteiligten Personen und ihrer Kompetenz mit ein.³⁰⁹ Nach BURGHARDT umfasse das Projektmanagement vier Hauptabschnitte: Projektdefinition, Projektplanung, Projektkontrolle und Projektabschluss.³¹⁰ Darin seien jeweils spezifische Aufgaben zu bearbeiten. Um dies zu unterstützen, wurden aus Sicht des Projektmanagements ebenso wie aus Sicht der Konstruktion und Entwicklung zahlreiche Ansätze zur Modellierung von Produktentstehungsprozessen beschrieben. Im Gegensatz zur Entwicklungsmethodik sind Sequenzmodelle bzw. Phasenpläne mit Meilensteinen und Arbeitsabschnitten für die grobe Gliederung und Überwachung von Prozessen jedoch in der Produktentstehungspraxis etabliert. Sie gehen auf einfache **Phasen- oder Wasserfallmodelle** zurück, die in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zur Entwicklung großer Computerprogramme eingesetzt wurden.³¹¹

2.4.4.1 Stage-Gate-Prozesse

Stage-Gate-Prozesse sind Phasenmodelle, also eine Repräsentation von Aktivitäten auf einem Zeitstrahl. Darin sind einzelne Phasen durch Meilensteine voneinander getrennt, zu denen jeweils Projektreviews stattfinden. COOPER unterscheidet drei

³⁰⁶ vgl. DIN 2009

³⁰⁷ ebda.

³⁰⁸ Habermellner et al. 2012, S. 165

³⁰⁹ vgl. PMI 2008

³¹⁰ Burghardt 2008, S. 15ff.

³¹¹ vgl. Bennington 1956 und Royce 1970

Generationen von Stage-Gate-Prozessen³¹². Als erste Generation fasst er die PPP-Prozesse der NASA auf³¹³. Dabei handele es sich um streng in **Phasen** gegliederte Entwicklungsprozesse. COOPER kritisiert die alleinige Konzentration auf die technischen Aspekte der Entwicklungstätigkeit innerhalb einer Phase. Hinzu komme der zeitliche Aufwand, der sich durch Phasenreviews und das Warten auf das vollständige Erreichen der Phasenziele einzelner Prozessbeteiligter ergeben könne.

Eine Verbesserung stelle die zweite Generation von Entwicklungsprozessen dar. Sie basiere ebenfalls auf separaten Phasen, denen Reviews folgten. Allerdings würden dabei auch nicht-technische Erfolgsfaktoren identifiziert und in den Phasenreviews berücksichtigt werden. Marketing und Fertigung seien integraler Bestandteil von Entwicklungsprozessen und auch die Sicht des Kunden werde durch eine dem Konstruktionsprozess vorgelagerte Vorentwicklungsphase abgebildet. In dieser zweiten Generation von Stage-Gate-Prozessen könnten Phasen **simultan** durchgeführt werden, um die Entwicklungszeit zu reduzieren.

Die dritte Generation sei durch sich überlappende „**Fuzzy-Gates**“ und die folgenden Forderungen gekennzeichnet³¹⁴: Der Prozess solle fließend und anpassbar sein und Phasen könnten sich zum Vorteil einer höheren Ablaufgeschwindigkeit überlappen („Fluidity“). Die Reviews zwischen den Phasen müssten folglich ebenfalls flexibel und unscharf definiert sein, um auf die jeweilige Situation angepasst werden zu können (keine absoluten Vorgaben – „Fuzzy-Gates“). Der Prozess solle sich an einem Projektportfolio ausrichten, nicht an einem einzelnen Projekt. Dadurch solle sichergestellt werden, dass die Ressourcen entsprechend den Projektchancen verteilt seien („Focused“). Schließlich solle der Prozess hinsichtlich seiner Phasenabfolge flexibel sein („Flexible“). Dies trägt der Annahme Rechnung, dass jedes Projekt einzigartig sei. Als weiteren Faktor führt COOPER einen Aspekt ein, der das mit einem solch freien Entwicklungsprozess verbundene Risiko verdeutlicht: die „Fallibility“. Diesen Begriff der Fehlbarkeit leitet er aus der Abhängigkeit des Prozesses von einem erfahrenen Management ab; er betrachtet den Prozess als empfindlich und anspruchsvoll in der Durchführung. Ein weiteres Beispiel einer flexiblen Auffassung von Projektphasen beschreiben TAKEGUCHI und NONAKA, die darin ebenfalls eine Möglichkeit sehen, dem Risiko komplexer Entwicklungsprozesse zu begegnen.³¹⁵

³¹² vgl. Cooper 1994

³¹³ PPP – Phased Project Planning, NASA - National Aeronautics and Space Administration.

³¹⁴ Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit) nach Cooper 1994, S. 9

³¹⁵ vgl. Takeguchi und Nonaka 1986

2.4.4.2 Projektmanagement auf Basis von Kenngrößen

Die Planung und Durchführung von Projekten in Phasen basiert auf der Definition von Zielgrößen, die zum Ende jeder Phase in Reviews evaluiert werden. Zur besseren Berücksichtigung der dynamischen Komplexität schlägt MURR ergänzend zu flexiblen Phasenübergängen eine adaptive Planung und Steuerung vor. Sie soll eine situationsgerechte Planung, Steuerung und Überwachung von Produktentwicklungsprozessen ermöglichen.³¹⁶ Für das sogenannte **Projektcontrolling** müsse fortlaufend der aktuelle Zustand eines Projekts bestimmt werden. Dieser könne mit Sollvorgaben verglichen werden, die den geplanten Stand vorschrieben. Aus der Differenz beider Projektstände ließen sich Maßnahmen ableiten, um ggf. einzugreifen, wenn Zielgrößen absehbar verfehlt werden würden. Anwendung finde diese Praxis bspw. in der zeitlichen Terminkontrolle, der Aufwands- und Kostenkontrolle sowie der Sachfortschrittskontrolle.³¹⁷

Während die notwendigen Informationen für die erstgenannten Methoden relativ einfach zugänglich sind, stelle die Sachfortschrittskontrolle eine größere Herausforderung dar.³¹⁸ In der Produktentwicklung orientiert sich diese am sogenannten **Produktreifegrad**. Dieser kann als „Zustand eines Produkts hinsichtlich definierter Indikatoren zu einem beliebigen Zeitpunkt“³¹⁹ oder als „Grad der Erfüllung der Forderungen an ein Produkt“³²⁰ definiert werden. Seine Bestimmung ist nicht-trivial und von individuellen Projektanforderungen abhängig zu machen. Grundsätzlich bieten Reifegrade in den Wirtschaftswissenschaften jedoch die Möglichkeit, Informationen bezüglich der Leistungsfähigkeit eines Untersuchungsgegenstandes verdichtet darzustellen.³²¹

BURGHARDT beschreibt eine Methode zur Bestimmung von Reifegraden auf Basis erfüllter Projektanforderungen („Produktfortschritt“³²²), oder auf Basis abgeschlossener Arbeitspakete („Projektfortschritt“³²³). Hingegen legt MÜLLER die Anzahl erfüllter Produkteigenschaften zugrunde, um ein Projekt zu bewerten.³²⁴ In Abschnitt 2.4.3.2 wurde dargestellt, dass Produkteigenschaften jedoch nur mittelbar zugänglich sind. Daher erscheint der Ansatz von PFEIFER-SILBERBACH für die Produktentwicklung pragmatischer. Er schlägt vor, den Reifegrad von der Anzahl erfüllter Meilensteine

³¹⁶ vgl. Murr 1999

³¹⁷ Burghardt 2008, S. 19

³¹⁸ ebda.

³¹⁹ Pfeifer-Silberbach 2005, S. 2

³²⁰ Weinzierl 2006, S. 26

³²¹ Christiansen 2009, S. 138

³²² Burghardt 2008, S. 395

³²³ Burghardt 2008, S. 397

³²⁴ Müller 2007, S. 89

oder freigegebener Dokumente abhängig zu machen.³²⁵ Damit wird jedoch wiederum kein objektives Entscheidungsmerkmal, sondern die subjektive Bewertung zu Projektmeilensteinen herangezogen. Bedenklich ist, dass die Entscheidungsträger in Meilensteinreviews meist hierarchisch höhergestellte Personen sind, die selbst oft nicht direkt am Entwicklungsgeschehen beteiligt sind. MÜLLER weist z.B. darauf hin, dass Reifegrade nur in Kombination mit Absicherungsaktivitäten sinnvoll betrachtet werden können.³²⁶ Überdies seien Reifegrade grundsätzlich zeitdiskret, also nur punktuell gültig. Daher sei für einen Soll-Ist-Vergleich immer der jeweils aktuelle Stand von Zielen und tatsächlichen Kenngrößen heranzuziehen.

In einem systemischen Ansatz sind derartige Zielgrößen dem Zielsystem zuzuordnen. Ein Beispiel auf Basis des ZOPH-Modells beschreibt LÉVÁRDY. Es handelt sich dabei um ein hierarchisches Kennzahlensystem, das alle Aspekte und Subsysteme des ZOPH-Modells beinhaltet. Es besteht aus gewichteten produktorientierten Kennzahlen, wie z.B. Technical Performance Measure (TPM), Measure of Performance (MOP) oder Key Performance Parameter (KPP).³²⁷ Als Maße können prinzipiell jede Funktion oder physikalische Charakteristik, jedes Entwicklungsziel oder alle Projektparameter herangezogen werden, die sich in den Anforderungen eines Projekts finden. Damit lehnt sich LÉVÁRDY an die Grundlagen des amerikanischen „Systems Engineering“ an, die u.a. nachfolgend betrachtet werden.³²⁸ Der Repräsentation von Kennzahlen kommt dabei eine besondere Rolle zu. Im Rahmen der Unterstützung des „Lean Development“ haben REIK ET AL. Vorteile einer Visualisierung von Abhängigkeiten – bspw. in Form von Matrizen – gegenüber einer rein textbasierten Angabe von Kennzahlen beobachtet.³²⁹

2.4.4.3 CMMI (Capability Maturity Model Integration) und Prozessmuster

Eine Möglichkeit, Prozesse nicht nur zu planen, sondern sie kontinuierlich zu verbessern, wird mit Capability Maturity Modellen (engl.: „Fähigkeit Reifegrad Modelle“) angestrebt. Deren Integration zu Referenzmodellen, die sogenannte CMMI, stellt Informationen in Form von **Mustern** bereit. Sie fassen bewährte Praktiken zusammen. Damit stellen sie im Gegensatz zu einem konkreten Vorgehensmodell keine Planung konkreter Schritte dar. Stattdessen definiert ein CMMI-Modell grundsätzliche Praktiken und Parameter, um deren Fortschritt zu bestimmen. „A CMM is a model of a process’s capability and maturity, not a model of

³²⁵ Pfeifer-Silberbach 2005, S. 69ff.

³²⁶ Müller 2007, S. 84f.

³²⁷ vgl. Lévardy 2006

³²⁸ vgl. DoD 2001a und DoD 2001b

³²⁹ vgl. Reik et al. 2011

the process itself.“³³⁰ Die CMMI wurde vom Software Engineering Institute (SEI) an der Carnegie Mellon University in Pittsburgh entwickelt. Die erste Veröffentlichung datiert von 1991 mit der CMMI Version 1.0. Der aktuelle Forschungsstand wird durch das CMMI Institute online bereitgestellt.³³¹ Es wurden verschiedene CMMI-Modelle für die Produktentwicklung, den Produkteinkauf und die Serviceerbringung aufgestellt.³³² Sie liefern nicht nur einen Überblick über bewährte Praktiken (z.B. bei der Projektplanung), sondern werden auch angewendet, um Verbesserungsmaßnahmen zu bestimmen und in eine chronologische Reihenfolge zu bringen. Ferner werden CMMI-Modelle genutzt, um die Stärken und Schwächen einer Organisation objektiv zu analysieren. Hierfür dient die Bestimmung von **Reifegraden**, weshalb auch vom „Reifegradmodell“ gesprochen wird. In der CMMI wird der Grad der Reife, also der Fortschritt der kontinuierlichen Verbesserung, im Gegensatz zu den vorangehend genannten Ansätzen durch so genannte „maturity levels“ beschrieben. Diese sind:

(1) Initial

(Diesen Reifegrad hat jede Organisation automatisch.)

(2) Managed

Es werden Projekte geführt; ähnliche Projekte können erfolgreich wiederholt werden.

(3) Defined

Projekte werden nach einem angepassten Standardprozess durchgeführt und es gibt eine organisationsweite kontinuierliche Prozessverbesserung.

(4) Quantitatively Managed

Eine statistische Prozesskontrolle wird durchgeführt.

(5) Optimizing

Es wurde eine statistische Prozesskontrolle eingerichtet.

CMMI-Modelle sind aus sogenannten Prozessgebieten, Zielen und Praktiken aufgebaut. Prozessgebiete werden in drei Kategorien eingeteilt: Projektmanagement (Project Management) bzw. im CMMI for Services auch Arbeitsmanagement (Work Management), Unterstützung (Support) und Prozessmanagement (Process Management). Ziele und Praktiken werden aufgeführt, um konkrete Aspekte der Produktentwicklung, des Produkteinkaufs oder der Serviceerbringung zu unterstützen. Jede Praktik wird durch einen Erklärungstext, durch typische Arbeitsergebnisse und durch typische Arbeitsschritte weiter erläutert. Somit ist dieser

³³⁰ Bronwning et al. 2006, S. 106

³³¹ s. CMMI 2013a

³³² vgl. Chrissis et al. 2009, Forrester et al. 2009 und Gallagher et al. 2009

Ansatz verwandt mit der Bereitstellung von Lösungsmustern – eine Systematik, die auf den Architekturtheoretiker ALEXANDER zurückgeht.³³³ Im Kontext des Maschinenbaus werden zumeist Lösungsmuster für Produkte bereitgestellt. Prozessmuster und Erfahrungswissen werden u.a. von SUHM und in jüngeren Arbeiten von ALBERS ET AL. und DUMITRESCU ET AL. beschrieben.³³⁴

Die CMMI konnte sich teilweise etablieren, wie die Liste offiziell bewerteter Organisationen zeigt.³³⁵ Dennoch belegen Studien, dass erst eine richtige Anwendung zu einem erfolgreichen Einsatz führt – eine CMMI sei immer mit dem Ziel einer konkreten Verbesserung durchzuführen. Ist dies nicht der Fall und eine CMMI erfolge nach dem Zufallsprinzip, sei es wahrscheinlich, dass Praktiken unnötig durchgeführt, oder übererfüllt würden. Daraus resultiere vermehrt der Vorwurf, die CMMI sei zu bürokratisch und zeitintensiv – insbesondere für kleine Unternehmen.³³⁶

2.4.4.4 Scrum

Scrum (engl.: „Gedränge“) ist ein Ansatz für die Entwicklung komplexer Systeme und findet insbesondere in der Softwareentwicklung Anwendung. Die Grundidee dabei ist, erst gar keine detaillierte Planung zu Beginn eines Projektes vorzunehmen. Stattdessen wird der weitere Projektverlauf im gegenseitigen Einvernehmen der Beteiligten regelmäßig und in kurzen Abständen von den bis dahin erreichten Ergebnissen abhängig gemacht. Scrum basiert hierfür auf folgenden drei Prinzipien:

(1) Transparenz

Der Projektfortschritt und eventuelle Hindernisse werden täglich für alle Beteiligten sichtbar festgehalten.

(2) Überprüfung

Die Produkteigenschaften werden in regelmäßigen Abständen überprüft.

(3) Anpassung

Anforderungen an ein Produkt werden in regelmäßigen Abständen neu bewertet und gegebenenfalls angepasst.³³⁷

Dies erfolgt in festgelegten Treffen – den sogenannten „Meetings“ oder „Zeremonien“. Je nach Zielsetzung werden „Sprint Planning“, „Sprint Review“ und „Daily Scrum“ unterschieden. Sprints sind die Entwicklungsphasen in Scrum. Sie dauern i.d.R. 30 Tage. Zu Beginn jedes Sprints werden überprüfbare Ziele vereinbart. Die Planung beinhaltet „was“ und „wie“ entwickelt wird. Die Reviews dienen der

³³³ vgl. Alexander et al. 1977

³³⁴ vgl. Suhm 1993, Dumitrescu et al. 2010 und Albers et al. 2010c

³³⁵ s. CMMI 2013b

³³⁶ vgl. Staples et al. 2007

³³⁷ vgl. Schwaber und Sutherland 2011

Ergebnispräsentation am Ende eines Sprints. Der sogenannte „Product Owner“ entscheidet über die Annahme der Ergebnisse. Dabei ist die Beteiligung des Kunden („User“) sinnvoll. Das „Daily Scrum“ ist eine tägliche, 15-minütige Besprechung zu Beginn jeden Arbeitstags. Sie hat zum Ziel, einen Informationsaustausch zwischen den Beteiligten und damit einen Überblick über den aktuellen Stand der Arbeiten sicherzustellen.³³⁸

In den Scrum-Meetings nehmen die Beteiligten drei unterschiedliche Rollen ein. Der „Product Owner“ ist für die strategische Produktentwicklung sowie die zugrundeliegende Vision und das abstrakte Produktkonzept zuständig. Er priorisiert und beurteilt den Fortschritt der Produkteigenschaften. Das Entwicklungsteam ist verantwortlich für die konkreten Produkteigenschaften und deren Qualität nach Vorgaben des „Product Owners“. Der „ScrumMaster“ definiert und überwacht die Scrum-Regeln. Er moderiert die Meetings und hält alle Hindernisse im Projekt fest.³³⁹ In Scrum werden v.a. drei Dokumente (sogenannte „Artefakte“) mit verschiedenem Inhalt gepflegt. Das „Product Backlog“ ist eine priorisierte Liste, die alles enthält, was im zu entwickelnden Produkt enthalten sein soll (z.B. „User Stories“ aus Kundensicht). Seine kontinuierliche Pflege obliegt dem „Product Owner“. Das „Sprint Backlog“ ist eine Übersicht der zu erledigenden Aufgaben für einen Sprint. Für Transparenz sorgt hierbei ein sogenanntes „Taskboard“. Dieses wird in „Daily Scrum Meetings“ durchgesprochen. Die Visualisierung bereits geleisteter und noch verbleibender Arbeit erfolgt im „Burndown Chart“ auf einem Zeitstrahl. Dieses dient der Abschätzung der Erreichbarkeit der Sprint-Ziele.³⁴⁰

Die Vorteile von Scrum liegen in der flexiblen Planung, die durch transparente Ziele, regelmäßige Entwicklungsabschnitte und Reviews, die Sichtbarkeit von Hindernissen und die regelmäßige Anpassung der ursprünglichen Planung möglich wird. Nachteilig sind die ausgeprägten Hierarchien im Scrum Team. Außerdem erfordert Scrum ein konsequent teamorientiertes Arbeiten, was besondere Herausforderungen an die Teammitglieder stellt. Daneben können Effizienzverluste durch Prozess-Overhead (d.h. Meetings, Analyse, Dokumentation etc.) entstehen. Insbesondere sind jedoch die Fragen nach der richtigen Größe der Entwicklungssinkremente und den Bewertungsmechanismen der Ergebnisse zu stellen. Diese Entscheidungen müssen letztlich auf Erfahrung basieren. Damit wird wiederum die Wichtigkeit persönlicher und organisationaler Kompetenzen betont – v.a. in komplexen Projekten.

³³⁸ s. Gloger 2011, S. 164ff.

³³⁹ ebda. S. 14ff.

³⁴⁰ s. Pichler 2009, S. 46f.

2.4.4.5 Zwischenfazit

Während im voranstehenden Abschnitt gezeigt wurde, dass Ansätze der Prozessmodellierung aus Sicht der Konstruktion und der Entwicklung oft nicht zu einer breiten Praxisanwendung finden, bilden Ansätze aus Sicht des Managements die Basis vieler Projekte in der Industrie. Es handelt sich dabei meist um Projektpläne, die das Entwicklungsgeschehen aus einer abstrakten, überblickenden Perspektive beschreiben. Darin sind hauptsächlich zeitliche Abhängigkeiten und die Beziehung zu Kooperationspartnern erfasst. Die Wiederholbarkeit von Geschäftsprozessen³⁴¹ erlaubt außerdem die Definition generischer Muster, die bspw. durch die CMMI bereitgestellt werden. Außerdem dient die Definition messbarer Zielkriterien der Überwachung und Steuerung von Prozessen. Für diesen Zweck sind phasenorientierte Prozessmodelle, die einzelne Sequenzen mit den darin zu erreichenden Zielvorgaben festlegen, weit verbreitet. ALBERS, MEBOLDT und MATTHIESEN argumentieren aus eigener langjähriger Praxiserfahrung, dass in der Diskrepanz von starren managementorientierten Vorgaben und der iterativ erfolgenden und von Kreativität bestimmten Konstruktorsarbeit ein großes Hemmnis der Produktentstehung begründet liege. Insbesondere lieferten abstrakte Modellierungsansätze aus Sicht des Managements keine Unterstützung für die operative Entwicklungsarbeit.³⁴²

Ansätze, die in Teilen über die bemängelten starren Vorgaben hinausgehen, sind z.B. die „Fuzzy-Stage-Gate-Prozesse“ nach Cooper, das adaptive Projektcontrolling, oder aber der Ansatz Scrum, in dem nahezu ganz auf eine durchgängige Vorausplanung verzichtet wird. Ein anderes Ziel mancher Ansätze mit Fokus auf das Management ist die kontinuierliche Verbesserung. Damit wird ebenfalls keine unmittelbare Unterstützung für die Entwicklung an sich erzielt.

Als eine Hauptschwierigkeit ist festzuhalten, dass alle Ansätze zur Überwachung und Steuerung von Entwicklungsprozessen auf der Bestimmung von Kenngrößen beruhen. Diese sind zum einen zunächst kompetent zu definieren (Soll). Zum anderen müssen sie aber auch zuverlässig gemessen werden können (Ist), um Aussagen über einen Projektstand im Vergleich zu seinem geplanten Stand treffen zu können. Bei der Abbildung von Zielen handelt es sich wie auch bei der Erfassung eines Ist-Prozesses um Modelle. Wie eingangs erwähnt, sind diese nicht notwendigerweise identisch mit der Realität. Wird eine Vorgehensweise jedoch unreflektiert an solchen Modellen ausgerichtet, besteht die Gefahr eines

³⁴¹ vgl. z.B. Browning et al. 2006, S. 105

³⁴² vgl. Albers 2010, Meboldt 2008 und Meboldt et al. 2012

Zirkelschlusses – einer sogenannten „self-fulfilling prophecy“.³⁴³ Dies kann zur Folge haben, dass Ziele zwar faktisch erreicht werden; dennoch kann ein Projekt aber gänzlich an den realen Erfordernissen vorbei geführt werden. Als fatale Folge kann ein Unternehmen ein Produkt augenscheinlich „komplett richtig“ entwickeln – und dennoch am Markt scheitern (, wenn „das falsche“ Produkt entwickelt wurde).³⁴⁴ Eine weitere interessante Einschätzung zu dieser Problematik stellen ECKERT ET AL. am Beispiel der Konstruktionswissenschaft im Allgemeinen zur Diskussion. Demnach trage jede numerische Messung zur Bestimmung von Bewertungskriterien ein inhärentes Risiko, da a priori festgelegte Zielwerte grundsätzlich unsicherheitsbehaftet seien. Die Autoren befürworten nach Studien verschiedener Entwicklungsprozesse daher ein Vorgehen, bei dem Zielgrößen erst im Verlauf eines Projekts – mit zunehmendem Wissen – festgelegt werden sollten.³⁴⁵ Die evolutionäre Entwicklung eines Zielsystems bildet einen Kerngedanken der „Karlsruher Schule“, die nachfolgend vorgestellt wird. Zunächst werden jedoch integrierende Ansätze betrachtet, die über die jeweils individuelle Sicht von Management oder Entwicklung hinausgehen.

2.4.5 Alternative Ansätze mit integrierender bzw. übergreifender Ausrichtung

In diesem Abschnitt werden drei Hauptgruppen von Ansätzen vorgestellt, die einen alternativen Entwurf zu den bislang diskutierten einseitig entwicklungs- oder managementfokussierten Modellierungsphilosophien darstellen. Zunächst werden zyklusorientierte Ansätze betrachtet, die einen Gegensatz zu phasenorientierten Modellen bilden. Die „Integrierte Produktentwicklung“ dient weiterhin als Beispiel für menschenzentrierte Methodologien. Anhand des breiten Felds des „Systems Engineering“ wird schließlich eine Philosophie der Produktentstehung erläutert, die von einem übergreifenden Fokus ausgeht. Darin werden ausgehend von einzelnen Menschen alle relevanten Bereiche bis hin zur Gesellschaft als Gesamtsystem betrachtet.

2.4.5.1 Das 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung

Zyklusorientierte Ansätze stellen eine Alternative zu der Grundannahme, dass sich die Produktentstehung in sequenziellen Abfolgen beschreiben lasse, dar. Sie betonen stattdessen die iterative Natur von Produktentstehungsprozessen. Im 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung geht GAUSEMEIER von der in Abschnitt 1.1.1 dargestellten Unterscheidung von Produktentwicklung und Produktentstehung aus. Demnach sei die *Produktentwicklung* eine Teilmenge der Produktentstehung. Ihr

³⁴³ vgl. Eckert und Stacey 2010

³⁴⁴ vgl. u.a. Strebel 2003, S. 327

³⁴⁵ vgl. Eckert et al. 2004

gehe die *Strategische Produkt- und Technologieplanung* voraus; die *Entwicklung eines Produktionssystems* schlieÙe sich ihr an. Damit werde in diesen drei Hauptaufgabenbereichen der gesamte Prozess von der Produkt- bzw. Geschäftsidee bis zum Serienanlauf beschrieben.³⁴⁶ Die iterative Natur dieses Prozesses werde dadurch in den Mittelpunkt gerückt, dass die drei Bereiche als Zyklen und nicht als stringente Folge von Phasen und Meilensteinen aufgefasst werden. Abbildung 3 zeigt die drei Zyklen des Modellierungsansatzes. Darin ist hervorzuheben, dass die Zyklen der Produkt- und der Produktionssystementwicklung parallel erfolgen.

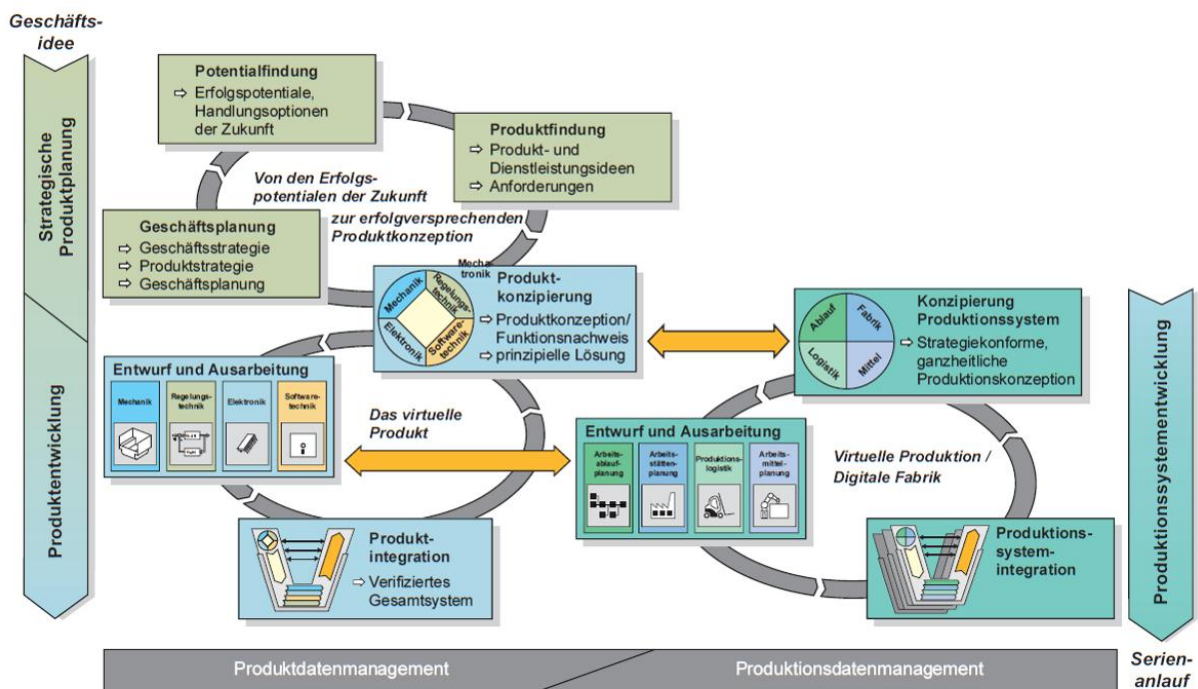


Abbildung 3: Das 3-Zyklus-Modell der Produktentstehung.³⁴⁷

Der erste Zyklus der **Strategischen Produkt- und Technologieplanung** diene der Bestimmung zukünftiger Erfolgspotentiale. Hierfür gelte es, ein erfolgversprechendes Geschäftsmodell bis zur Produkt- und Produktionssystemkonzeption (d.h. valide Prinziplösungen des betrachteten Gesamtsystems) zu erarbeiten. Dieser Zyklus umfasse die Aufgabenbereiche Potentialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung sowie Produkt- und Produktionssystemkonzipierung. Die Durchführung der jeweiligen Aufgaben sei durch geeignete Methoden zu unterstützen. So könne die Bestimmung zukünftiger Erfolgspotentiale etwa unter Zuhilfenahme von Methoden der Vorausschau wie z.B. Szenariotechnik, Trendanalyse oder Delphi-Methode erfolgen.

³⁴⁶ vgl. Gausemeier et al. 2009a

³⁴⁷ Gausemeier et al. 2012, S. 16

Die Produktfindung könne bspw. durch die Anwendung Lateralen Denkens, von TRIZ oder von Technology Roadmaps vorangetrieben werden. Letzteres ist u.a. Gegenstand des folgenden Abschnitts.

Der zweite Zyklus der **Produktentwicklung** schlieÙe sich an die Produktkonzeption an und umfasse fachdisziplinspezifische Produktentwürfe und deren Elaboration. Weiterhin würden in diesem Hauptaufgabenbereich die Ergebnisse der einzelnen Fachdisziplinen zu einer Gesamtlösung integriert werden. Durch die Ausarbeitung unter Zuhilfenahme fachdisziplinspezifischer Methoden und Vorgehensweisen soll der Multidisziplinarität moderner Produkte Rechnung getragen werden. Damit adressiert GAUSEMEIER insbesondere die Produktentstehung mechatronischer Produkte – bspw. sogenannter „Cyber-Physical-Systems“³⁴⁸. In der Produktentwicklung fänden vornehmlich Rechnermodelle zur Analyse und Synthese des zukünftigen Produkts in Form virtueller Prototypen Anwendung.

Der dritte Zyklus, die sogenannte **Produktionssystementwicklung**, ziele schließlich auf die Konzeption eines Produktionssystems für das parallel zu konzipierende Produkt ab. Auch hierfür sei in rechnerinternen Modellen ein virtueller Prototyp zu erstellen (die sogenannte „digitale Fabrik“). Dabei seien die vier Aufgaben Arbeitsablaufplanung, Arbeitsmittelplanung, Arbeitsstättenplanung und Produktionslogistik, insbesondere Materialflussplanung, integrativ zu betrachten und im Verlauf des Zyklus zu konkretisieren. Der Produkt- und der Produktionssystemzyklus seien eng aufeinander abgestimmt voranzutreiben, um sicherzugehen, dass auch alle Möglichkeiten der Gestaltung eines leistungsfähigen und kostengünstigen Erzeugnisses ausgeschöpft werden würden.³⁴⁹

Innerhalb der Zyklen sei durch Vorgehensmodelle festzulegen, welche Aktivitäten zur Realisierung von Strategischer Produktplanung, Produkt- und Produktionssystementwicklung durchzuführen seien. Dabei seien auch die Koordination und die Synchronisation dieser Aktivitäten aus Sicht des Projektmanagements zu planen und zu überwachen. Für die Produktkonzipierung bestehe das Vorgehensmodell aus den drei Hauptphasen der Planung, der Aufgabenklärung sowie der konzeptionellen Entwicklung auf System- und Modulebene. Planung und Aufgabenklärung führten zu einer Anforderungsliste, die die technischen Erfordernisse und Kundenwünsche umfasse. Die konzeptionelle Entwicklung beinhalte u.a. eine Konsistenzanalyse zur

³⁴⁸ „Cyber-Physical Systems“ sind Produkte, die mechanische und elektronische Komponenten mit informationstechnischen und softwaretechnischen Modulen kombinieren. Diese kommunizieren über eine vernetzte Dateninfrastruktur, wie z.B. das Internet (vgl. Geisberger und Broy 2012).

³⁴⁹ s.a. Gausemeier et al. 2012

Bestimmung möglicher Lösungskombinationen und eine Modularisierung der Prinziplösung.

Für die Konzipierung des Produktionssystems bestehe das Vorgehensmodell neben Planung und Aufgabenklärung aus den Hauptphasen der konzeptionellen Entwicklung auf Prozessebene, der Systemintegration sowie der konzeptionellen Entwicklung auf Ressourcenebene. Dabei seien u.a. Entscheidungen über Zukauf oder Eigenfertigung zu treffen, Montagereihenfolgen festzulegen und eine technisch-wirtschaftliche Bewertung vorzunehmen.³⁵⁰ Die genannten Aktivitäten seien nicht als sequenzielle Vorgabe für die jeweiligen Zyklen zu verstehen, sondern von zahlreichen Iterationen gekennzeichnet. Darüber hinaus seien v.a. die Wechselwirkungen des zu konzipierenden Produktionssystems und der fortschreitenden Produktkonzeption integrativ zu beachten. Diese starke Wechselwirkung findet Ausdruck in der bereits zuvor herausgestellten parallelen Darstellung des zweiten und dritten Zyklus' im 3-Zyklen-Modell.³⁵¹

2.4.5.2 Zyklenmanagement im Kontext der Produktentstehung

Weitere Ansätze, die sich mit einer parallelen Planung von Produkt und Produktionsprozess bzw. Produktionssystem beschäftigen, wurden z.B. im EU-Projekt TIPSS („Tools for Innovative Product-Service-Systems for Global Tool and Die Networks“)³⁵² und im Sonderforschungsbereich SFB 768 „Zyklenmanagement von Innovationsprozessen“ erarbeitet.³⁵³ Das letztgenannte Projekt betont ebenso wie das 3-Zyklen-Modell den iterativen Charakter von Produktentstehungsprozessen. Die Projektausrichtung am Zentralthema ‚Zyklenmanagement‘ begründet sich dabei in den besonderen Herausforderungen der Entwicklung sogenannter hybrider Leistungsbündel. In einem solchen „product-service system“ (PSS) werden technische Produkte in Kombination mit Dienstleistungen betrachtet. Dies erfordere eine erweiterte Betrachtung des zugehörigen Entwicklungsprozesses. Interne und externe Einflussfaktoren seien in besonderem Maße dynamisch veränderlich woraus eine hohe Unsicherheit resultiere. Ein Großteil dieser Einflussfaktoren habe dabei einen temporalen (und oft repetitiven) Charakter. Beispiele dafür seien Lebenszyklen und technologische Zyklen, d.h. durch die Verfügbarkeit neuer Technologien induzierte Produktwechsel.³⁵⁴

Demzufolge wird im Rahmen des SFB 768 eine zyklengerechte Übergabe von Informationen aus der strategischen Planung an die Produktentwicklung angestrebt.

³⁵⁰ vgl. Gausemeier et al. 2011

³⁵¹ ebda. S. 775

³⁵² vgl. TIPSS 2013

³⁵³ vgl. SFB768 2013

³⁵⁴ vgl. Langer et al. 2009

Als Basis hierfür wurde u.a. ein **Integriertes Lebenszyklusmodell** für PSS entwickelt.³⁵⁵ Weiter wurden für die strategische Produkt- bzw. Produktionssystemplanung sogenannte **Technologieketten-** und **Produktionsstrukturkalender** entwickelt. Diese sollen neue Produktionstechnologien und Verfahrensketten sowie deren abgeschätzte Verfügbarkeit zugänglich machen.³⁵⁶ Insbesondere sollen sie es erlauben, frühzeitig strategische Entscheidungen hinsichtlich zukünftiger Rekonfigurationen von Produktionsstrukturen zu treffen.³⁵⁷ In diesem Teilprojekt liegt der Fokus nicht auf der eigentlichen Produktentwicklung, sondern auf der zeitlichen Gegenüberstellung von Produktgenerationen und potenziell dafür einsetzbarer Technologieketten. Diese soll z.B. Make-or-buy-Entscheidungen unterstützen. Die Ansätze ermöglichen ferner zwar eine integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionssystem. Allerdings adressieren sie deren gegenseitige Beeinflussung in der frühen Phase nicht explizit. In der Regel liegen stattdessen bspw. bereits detaillierte Produktmodelle vor. Eine Systematik für die integrative Produktionssystemkonzipierung ist nicht vorgesehen.³⁵⁸

Ein anderer Aspekt ist die integrative Betrachtung sogenannter dynamischer Domänen. Hierbei handelt es sich speziell um **wiederkehrende Verlaufsmuster** in Innovationsprozessen. Im Rahmen des SFB 768 wird bspw. die Vernetzung von Aktivitäten und Ressourcen betrachtet, wobei eine Ausrichtung am Markt (Kunde) betont wird.³⁵⁹ So beschäftigen sich LINDEMANN und MAURER auf Basis der bereits in Abschnitt 1.2 erläuterten Methoden zum „Komplexitätsmanagement“ mit der strukturbasierten Modellierung und Bewertung disziplinübergreifender Entwicklungszusammenhänge.³⁶⁰ Mit Hilfe sogenannter Multiple-Domain-Matrizen soll damit die Handhabung iterativer Prozesse insbesondere im Hinblick auf die Wechselwirkungen von Anforderungen und Funktionen verbessert werden können.³⁶¹ DSM-Techniken werden mitunter auch im sogenannten Multi-Projektmanagement eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen managementorientierten Ansatz zur Beherrschung paralleler Projekte mit geteilten Ressourcen. Hier beschränken sich die Arbeiten jedoch zumeist auf die Analyse der systemischen Zusammenhänge.³⁶² Hierfür ist insbesondere die Entwicklung einer projektübergreifenden Ablaufsimulation

³⁵⁵ s. Hepperle et al. 2010

³⁵⁶ vgl. Reinhart et al. 2009 und Zäh et al. 2010

³⁵⁷ vgl. Reinhart und Pohl 2011

³⁵⁸ vgl. Abele und Reinhart 2011

³⁵⁹ vgl. Zäh et al. 2010

³⁶⁰ s. Lindemann et al. 2006

³⁶¹ vgl. Kortler et al. 2010

³⁶² s. Danilovic und Sandkull 2005

notwendig, für welche u.a. die Arbeiten von BROWNING und EPPINGER sowie CHO und EPPINGER eine solide wissenschaftliche Basis darstellen.³⁶³

2.4.5.3 Münchener Produktkonkretisierungsmodell und Vorgehensmodell

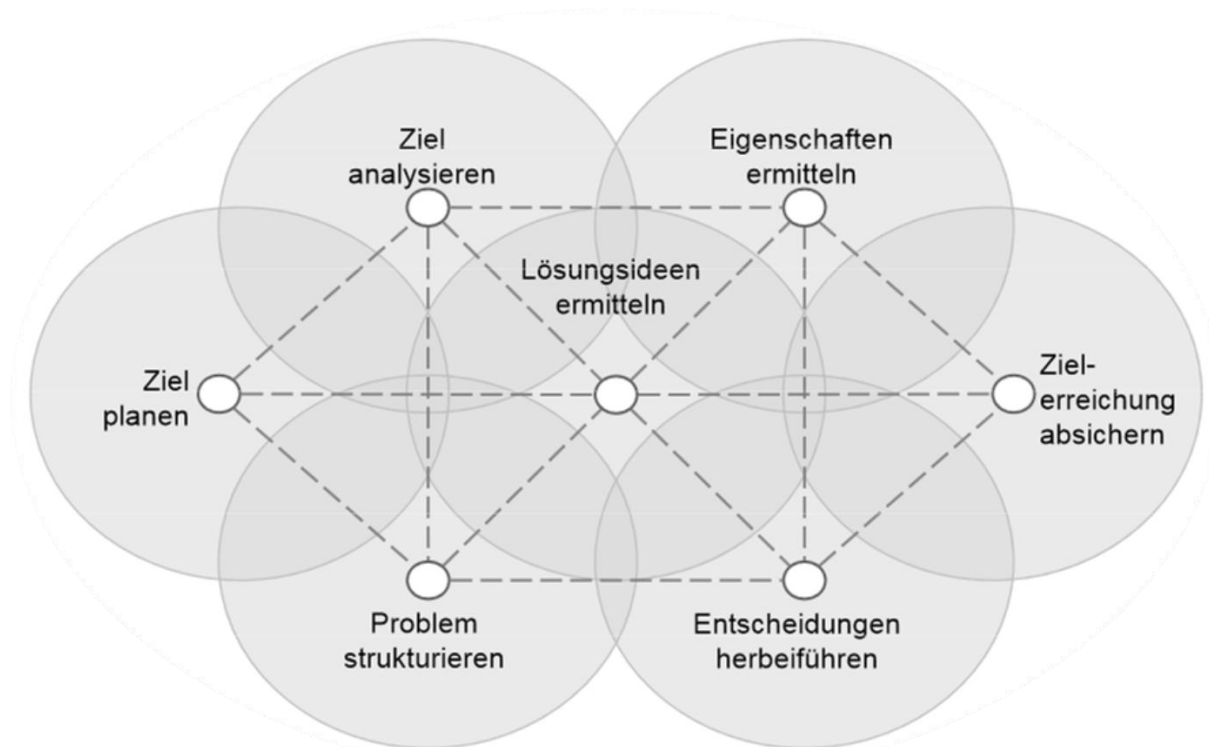
Die bislang vorgestellten zyklusorientierten Ansätze betrachten die Produktentstehung aus einer überschauenden Perspektive. Darin werden diverse Aspekte der Produktentstehung integriert und dabei bspw. auf eine Parallelisierung von Abläufen oder eine synergetische Nutzung von Ressourcen geachtet. Beispielsweise beschreibt LINDEMANN mit dem **Münchener Produktkonkretisierungsmodell (MKM)** ebenfalls einen Ansatz, der das Geschehen der Produktentwicklung abstrakt überschaubar macht. Darin wird das Vorgehen im Entwicklungsprozess als nichtlineare „Interaktion zwischen Anforderungs- und Lösungsraum sowie als Konkretisierung von Produktmodellen auf Funktions-, Wirk- und Bauebene“ dargestellt. Davon ausgehend kann der Umgang mit unterschiedlichen Hauptzielsetzungen im Sinne eines „Design for X“ veranschaulicht, um bspw. die Themen Sicherheit und Zuverlässigkeit, Gewicht, Montagegerechtigkeit, Variantenvielfalt und Nachhaltigkeit zu adressieren.³⁶⁴ Der Betrachtungswinkel wird von einer abstrakten Übersicht auf eine methodische Unterstützung konkreter Vorgehensweisen eingegrenzt.

Eine modellbasierte Unterstützung auf dieser Betrachtungsebene erfordert Modellierungsansätze, die das operative Handeln von Entwicklern fokussieren. Ein Beispiel stellt das **Münchener Vorgehensmodell (MVM)** dar. Darin werden drei Ziele verfolgt. Zum einen soll die Planung von Produktentwicklungsprozessen unterstützt werden. Zum anderen soll insbesondere in kritischen Situationen eine Orientierung in der Problemlösung bereitgestellt werden. Nicht zuletzt soll das MVM überdies eine Analyse und Reflektion der gewählten Vorgehensweise ermöglichen.

Für eine strukturierte Problemlösung soll das MVM drei wesentliche Schritte unterstützen: die Klärung von Zielsetzung und Problemstellung, die Generierung möglicher Lösungen, sowie die Entscheidungsfindung. Dazu ist es, wie in Abbildung 4 illustriert, aus sieben Elementen aufgebaut. Diese lassen sich nicht streng voneinander abgrenzen, weshalb sie überlappend dargestellt werden. Sie stehen in einem Netzwerk miteinander in Beziehung. Dies unterstreicht die iterative, nichtlineare Vorgehensweise bei der Problemlösung – der Entwickler soll entsprechend der vorliegenden Situation vorgehen und nicht einer starren Sequenz folgen müssen.

³⁶³ s. Browning und Eppinger 2002 und Cho und Eppinger 2005

³⁶⁴ s. Lindemann 2009

Abbildung 4: Das Münchener Vorgehensmodell (MVM)³⁶⁵

Nachfolgend werden die Elemente des MVM nach LINDEMANN beschrieben.³⁶⁶ Die **Zielplanung** umfasse demnach die Analyse der vorliegenden Situation und die Ableitung konkreter Handlungen. In der Situationsanalyse könnten darüber hinaus auch zukünftige Situationen abgeschätzt werden. Abhängig vom zugrundeliegenden Ziel würden dabei unterschiedliche Faktoren betrachtet werden. Faktoren wie Markt, Kunde, Wettbewerb, Politik, Produkt oder Organisation betreffen strategische Ziele. Hingegen gelten Zeitplanung, Teambesprechungen etc. operativen Zielen. Die **Zielanalyse** diene der Klärung und Beschreibung eines anvisierten Zielzustands. Darin seien insbesondere die Beziehungen einzelner Ziele zueinander zu bestimmen und zu dokumentieren. Die **Problemstrukturierung** habe zum Ziel, einen Ansatz zur Erreichung der definierten Ziele zu formulieren. Dabei könne das vorliegende System abstrahiert repräsentiert werden oder auch in Teilsysteme zergliedert werden, um seine Komplexität zu reduzieren.³⁶⁷ Ausgehend von diesem Element erfolge die Generierung von Lösungen. Bei der **Lösungsfindung** sei das Aufdecken möglicher Alternativen von Bedeutung, um einen großen Lösungsraum beizubehalten. Die Ermittlung von **Eigenschaften** diene der Informationssammlung, um z.B. eine

³⁶⁵ Lindemann 2009, S. 51

³⁶⁶ s. Lindemann 2009

³⁶⁷ Eine Reduzierung der Komplexität wird hierbei relativ zum Gesamtproblem wahrgenommen. Aufgrund der notwendigen Schnittstellenbeschreibungen kann die Gesamtkomplexität bei dieser Vorgehensweise sogar zunehmen. [Anm. d. Verf.]

Anforderungserfüllung durch das betrachtete System abschätzen zu können. Hierzu gelte es, die relevanten Systemeigenschaften zu identifizieren. Auf dieser Basis könnten **Entscheidungen** getroffen werden. Beispielsweise könnten Lösungsideen evaluiert werden oder ein Favorit aus alternativen, anforderungsgerechten Lösungen bestimmt werden. Die **Absicherung der Zielerreichung** schließlich diene der Minimierung von Risiken, die mit einer Implementierung der gewählten Lösung einhergehen können. Hierfür liege das Hauptaugenmerk auf einer frühen, präventiven Absicherung.

Im generischen MVM könne ein gesamter Entwicklungsprozess oder aber nur ein Ausschnitt desselben abgebildet werden. Darüber hinaus sei es möglich, parallele Prozesse zu repräsentieren, rekursiv aufeinanderfolgende Vorgehensmodelle zu illustrieren oder auch Teilprozesse eines umfangreichen Vorhabens auf verschiedenen Ebenen abzubilden. Hierzu würden Makro- und Sub-Prozesse unterschieden werden.³⁶⁸ Neben Vorgehensmodellen lassen sich für die einzelnen Teilschritte auch durch die Zuweisung geeigneter Methoden unterstützen. Eine Unterstützung der operativen Arbeit der beteiligten Personen wird auch im Ansatz der „Integrierten Produktentwicklung“ verfolgt, der im folgenden Abschnitt betrachtet wird.

2.4.5.4 Integrierte Produktentwicklung

„Bei der integrierten Produkterstellung arbeiten, im Gegensatz zu der konventionellen Produkterstellung, alle am Erstellungsprozess beteiligten Abteilungen und die betroffenen Spezialisten eng und unmittelbar zusammen. Hierbei wird versucht, durch eine gemeinsame Zielrichtung Qualität, Zeiten und Kosten der Produkterstellung und des Produkts positiv zu beeinflussen. Zur Zeiteinsparung wird zusätzlich eine Parallelisierung von früher sequentiell bearbeiteten Tätigkeiten angestrebt, insbesondere die Parallelisierung von Produkt-, Produktions- und Vertriebsentwicklung.“³⁶⁹

Die Integration der am Produktentstehungsprozess Beteiligten umfasse laut EHRENSPIEL Methoden für die persönliche, informatorische und organisatorische Integration.³⁷⁰ Unter der persönlichen Integration verstehe er geteilte Mentalmodelle bspw. durch die Erarbeitung gemeinsamer Ziele. Dies gelte in besonderem Maße für die Produktentwicklung. Spezialisten sollten demnach mit dem Verständnis von Generalisten ausgestattet sein. Die informatorische Integration bestehe in der Vernetzung vormals getrennter Bereiche und der Teamarbeit mit Hilfe von integrierten Daten und Methoden. Mit der organisatorischen Integration würden

³⁶⁸ vgl. Lindemann 2009, S. 54

³⁶⁹ Ehrlenspiel 2007, S. 188

³⁷⁰ ebda.

schließlich eine abgestimmte Organisationsstruktur des Unternehmens und eine Abstimmung von dessen Abläufen angestrebt werden.

Eine der zahlreichen Methoden zur Erreichung der Integration ist das **Core-Team-Management**.³⁷¹ Dabei wird angestrebt, eine flexible, problemadäquate Zuweisung von Verantwortlichkeiten für einen Entwicklungsgegenstand vorzunehmen. Neben der eindeutigen Aufgabenteilung zwischen Kernteammitgliedern und erweiterten Teammitgliedern, wird insbesondere ein zeitabhängiger Wechsel von Entscheidungsbefugnissen angestrebt. Dadurch soll sichergestellt werden, dass zu jedem Zeitpunkt die erforderliche Kompetenz zugrunde gelegt werden kann; gleichzeitig sollen alle Beteiligten durchgängig von Anfang bis Ende eines Projekts einbezogen werden.³⁷² Der Methodeneinsatz ist im Ansatz der „Integrierten Produktentwicklung“ in Ergänzung zu technischen Faktoren damit v.a. durch nicht-technische, soziologische bzw. psychologische Aspekte bestimmt.

EHRENSPIEL geht von einem generischen Entwicklungsverlauf aus, der vergleichbar mit dem Vorgehen nach PAHL und BEITZ ist (s. Abschnitt 2.4.3.4). Auch er unterscheidet die Klärung der Aufgabenstellung vom Konzipieren, Entwerfen und Ausgestalten. Die Berücksichtigung menschlichen Denkens findet Ausdruck im „Vorgehenszyklus für die Systemsynthese“. Darin wird in Anlehnung an den Problemlösungszyklus der Systemtechnik³⁷³ ein „atmender Prozess“ beschrieben. Dieser ist davon gekennzeichnet, dass zunächst eine Informationsvielfalt erzeugt wird, bevor durch Bewertung und Auswahl wieder eine Einschränkung in Frage kommender Lösungen vorgenommen wird. In Abbildung 5 wird dies durch die spiegelbildliche Trapezform veranschaulicht.

³⁷¹ vgl. Albers 1994

³⁷² vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 209f.

³⁷³ vgl. Daenzer und Huber 1976

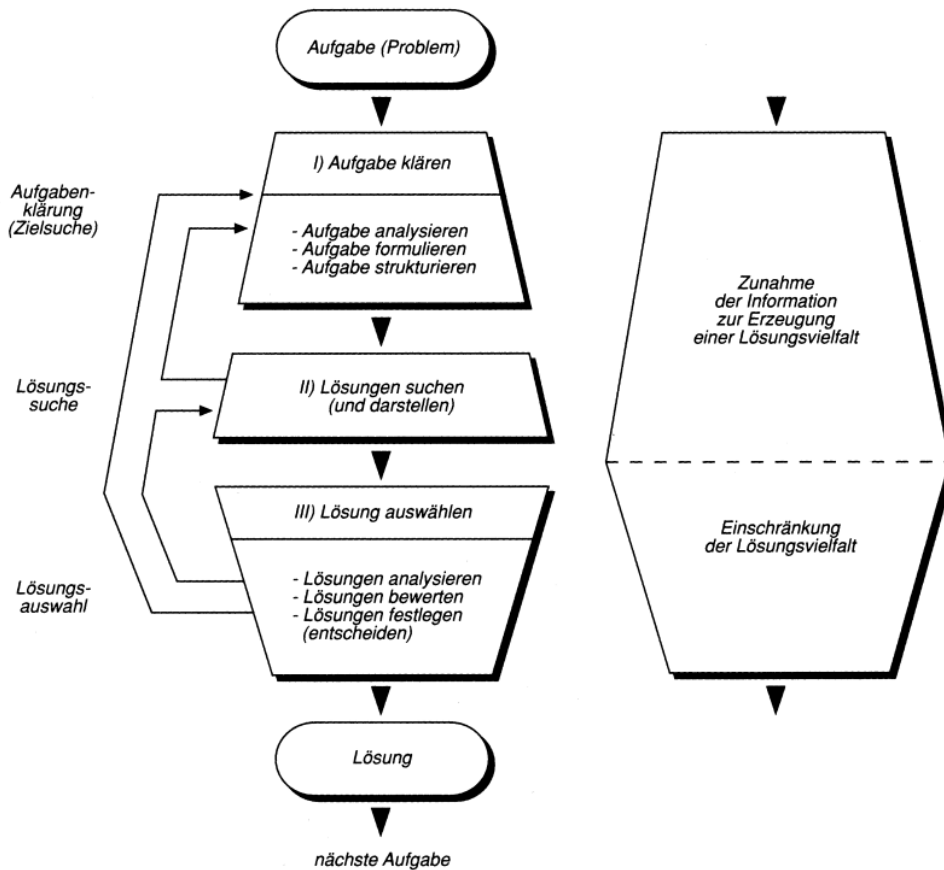


Abbildung 5: Der Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel³⁷⁴

Beispiele für Methoden, die insbesondere auf eine Verkürzung der Entwicklungszeit abzielen, sind das Concurrent Engineering und Simultaneous Engineering. Sie vereinen Aspekte der Projektplanung mit werkzeugtechnischen Mitteln und nehmen damit wiederum eine vermehrt managementorientierte Perspektive ein. So dient zum einen die Parallelisierung von Arbeitsschritten einer Zeitverkürzung. **Simultaneous Engineering** bedeutet dabei die zeitgleiche Bearbeitung von ursprünglich sequenziellen Aktivitäten (z.B. Parallelisierung von Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung im vorangehend erläuterten 3-Zyken-Modell). Unter **Concurrent Engineering** wird die parallele Bearbeitung sich ergänzender Teilaufgaben in prinzipiell gleichen Prozessschritten verstanden.³⁷⁵ Hierfür muss eine Zerlegung der Entwicklungsaufgabe erfolgen, für die eine geeignete Schnittstellendefinition unerlässlich ist. Dies kann zu einem erheblichen Anteil durch rechnerbasierte Methoden und Werkzeuge unterstützt werden. So beschreiben GAUSEMEIER ET AL.

³⁷⁴ s. Ehrlenspiel 2007, S. 84ff.

³⁷⁵ vgl. Pfeifer-Silberbach 2005, S. 2

Möglichkeiten einer vernetzten Produktentwicklung unter Einsatz von CAX³⁷⁶, um die informatorische Integration voranzutreiben.³⁷⁷

Im Sonderforschungsbereich SFB 361 „Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung“ wurde das Zusammenwirken aller an der Produktentstehung beteiligten Bereiche untersucht. Dort wurde u.a. auch die frühzeitige Weitergabe unsicherer Informationen an nachgelagerte Bereiche, die ihrerseits eine frühe Rückkopplung in die vorgelagerten Bereiche sicherstellen, als eine entscheidende Voraussetzung für eine erfolgreiche Produktentstehung identifiziert.³⁷⁸ Gleichwohl geht mit unsicherheitsbehafteten Informationen auch ein hohes Entwicklungsrisiko einher (vgl. Abschnitt 1.2.2).

2.4.5.5 Systems Engineering

Bislang wurden unterschiedliche Ansätze betrachtet, die von konstruktions- oder managementorientierten Vorgehensweisen bis zu integrierten Arbeiten reichen, die darüber hinaus auch die Perspektive individueller Personen berücksichtigen. Der Betrachtungswinkel ist dabei z.T. sehr weit und eher abstrakt auf die gesamte Produktentwicklung fokussiert, oder aber in Teilen auch sehr eng auf die Anwendung individueller Methoden oder Technologien ausgerichtet. Eine Philosophie, die den Anspruch einer durchgängigen Betrachtung der Produktentstehung aus diversen Blickwinkeln zugleich hat, ist das „Systems Engineering“. Darin wird eine methodisch unterstützte Produktentstehung in einem systemischen Ansatz verfolgt. Jedoch liegen die Ursprünge nicht in der eingangs vorgestellten wissenschaftlichen Systemtheorie. Stattdessen liegt die Notwendigkeit einer umfassenden Systembetrachtung in der Komplexität der großen Raumfahrtprogramme zur Zeit des Kalten Krieges begründet. Insbesondere nach dem sogenannten „Sputnikschock“³⁷⁹ im Jahr 1957 wurden zahlreiche Bemühungen US-amerikanischer Organisationen zur Bewältigung und Effizienzsteigerung der immensen Herausforderungen der (bemannten) Raumfahrt unternommen.

Das erste Handbuch mit detaillierten Beschreibungen von Prozessen des „Systems Engineering“ stammt von der US Airforce.³⁸⁰ In den Folgejahren wurde es durch eine Reihe von Arbeiten für den militärischen Bereich standardisiert. Zunächst wurden formale Prozesse im MIL-STD-499 Systems Engineering Management beschrie-

³⁷⁶ CAX – Sammelbegriff für rechnerunterstützte Techniken wie Computer Aided Design (CAD) oder Finite Elemente Methode (FEM)

³⁷⁷ s. Gausemeier et al. 2006, S. 223

³⁷⁸ vgl. Eversheim und Schuh 2005

³⁷⁹ Am 4. Oktober 1957 startete die ehemalige Sowjetunion erstmals einen künstlichen Erdsatelliten. Bis dato sahen sich die USA und Westeuropa als führende Protagonisten der Raumfahrt, was sich dadurch als Fehleinschätzung herausstellte und für eine große Beunruhigung sorgte.

³⁸⁰ vgl. retrospektive Darstellung in Brill 1998

ben.³⁸¹ Parallel hierzu entstanden das Field Manual FM 770-78 der US-Armee³⁸² und der Systems Engineering Management Guide des Defense Systems Engineering Management Colleges.³⁸³ Die diversen Arbeiten unterscheiden sich im Kern nicht wesentlich. Daher wurden Ende der 1980er Jahre Konsolidierungsbemühungen unternommen. Dabei erarbeiteten Organisationen wie die Electronic Industries Association (EIA) und die inzwischen größte internationale Organisation INCOSE zunächst auf Basis zahlreicher nicht veröffentlichter Militärstandards den „Interim Standard 632“. Dessen Nachfolger ANSI/EIA-632 und die ISO-Standard ISO/IEC 15288 sind heute die verbreitetsten Standards.³⁸⁴ Mit dem Systems Engineering Handbook hat die NASA 2007 einen Versuch unternommen, vorhandene Praktiken des „Systems Engineerings“ zu überarbeiten, um den Anforderungen aktueller – auch ziviler – Systeme gerecht zu werden.³⁸⁵ Trotz der zahlreichen Arbeiten erkennen erfahrene Praktiker jedoch, dass das „Systems Engineering“ trotz seiner langen Tradition noch in den Kinderschuhen steckt und eine geringe Akzeptanz in Anwendungsbereichen jenseits von Luft- und Raumfahrt erfährt.³⁸⁶

Die vorgenannten **Standards** beschreiben Definitionen, Modellierungsansätze und Methodologien des „Systems Engineering“. Einen Überblick geben die Arbeiten von BLANCHARD³⁸⁷ oder KOSSIAKOFF und SWEET³⁸⁸; eine aktuelle Übersicht und den Versuch eines disziplinübergreifenden Standards beschreiben ELGEZABAL und SCHUMANN vom Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR).³⁸⁹ Arbeiten mit stärkerem Fokus auf eine systemtechnische Betrachtung der Produktentstehung beschreiben DAENZER und HUBER³⁹⁰, sowie HABERFELLNER ET AL.³⁹¹ Sie gehen zurück auf PATZAK, der die Systemtechnik als „ein Methodengebäude zur Behandlung von Problemen mit hoher Komplexität“ auffasst. Sie befasse sich „mit sämtlichen Lebensphasen von Systemen, d.h. mit der Planung, Realisierung einschließlich der Organisation der Nutzung derselben, welche die ihnen zugeordnete Funktion voll erfüllen, sich optimal in ihre Umwelt einfügen sowie deren Subsysteme reibungslos zusammenwirken.“³⁹² In diesem Verständnis – ergänzt um eine wirtschaftliche

³⁸¹ vgl. DoD 1969

³⁸² vgl. DA 1979

³⁸³ vgl. DSMC 1983

³⁸⁴ s. ANSI 2003 und ISO 2008

³⁸⁵ vgl. NASA 2007

³⁸⁶ s. Honour 2011 und Kasser 2010

³⁸⁷ s. Blanchard 2004

³⁸⁸ s. Kossiakoff und Sweet 2003

³⁸⁹ s. Elgezabal und Schumann 2012

³⁹⁰ s. Daenzer und Huber 1976

³⁹¹ s. Haberkellner et al. 2012

³⁹² Patzak 1982, S. 15

Betrachtung – lauten auch viele Definitionen der Systems Engineering-Literatur wie z.B.

*„Systems engineering [SE] is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on defining customer needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, and then proceeding with design synthesis and system validation while considering the complete problem [...]. SE considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs“*³⁹³

und

*„Systems engineering is the management technology that controls a total system life-cycle process, which involves and which results in the definition, development, and deployment of a system that is of high quality, trustworthy, and cost effective in meeting user needs.“*³⁹⁴

Demnach stellt das „Systems Engineering“ einen übergreifenden Ansatz dar, in dem soziale, ökonomische und technische Aspekte mit dem Hauptziel der Erfüllung dedizierter Kundenbedürfnisse verknüpft werden.³⁹⁵ Die Perspektiven des Managements auf der einen, und der Entwicklungsarbeit im Gesamtkontext einer Aufgabe auf der anderen Seite, verdeutlichen HABERFELLNER ET AL. Ihr Ansatz gliedert sich in eine übergeordnete Philosophie, einen Problemlösungsprozess sowie explizite Techniken der Entwicklung und des Projektmanagements.³⁹⁶

HITCHINS interpretiert die Theorien und Methoden des „Systems Engineering“ im Sinne einer angewandten Systemwissenschaft und beleuchtet insbesondere die Betrachtung verschieden weit gefasster Kontexte. In seinem **5-Ebenen-Modell** (s. Abbildung 6) zielt er darauf ab, die übergreifenden Zusammenhänge im „Systems Engineering“ zu erklären. Dabei sei jede Ebene integraler Teil der übergeordneten Ebene. Die erste Ebene betrifft direkt das zu entwickelnde (optimale) System („Produkt SE“). Oftmals ist die Auffassung des „Systems Engineering“ auf diese Ebene beschränkt. Es umfasst jedoch weiter auch die Ebene „Projekt SE“. Hierunter fallen Referenzmodelle und Vorgehensweisen zur Planung und Steuerung des Entwicklungsprozesses. Im „unternehmensbezogenen SE“ werden die unterschiedlichen Projekte eines Unternehmens betrachtet. Die zentrale Aufgabe auf dieser Ebene ist die Optimierung der Wertschöpfung in einem Unternehmen – z.B. durch

³⁹³ INCOSE 2010, S. 7

³⁹⁴ Rouse und Sage 2009, S. 3

³⁹⁵ s.a. Hall 1962

³⁹⁶ vgl. Haberfellner et al. 2012

eine effiziente Zuteilung von (gemeinsam benutzten) Ressourcen. Im „industrieebezogenen SE“ steht das Zusammenwirken der einzelnen Unternehmen in (globalen) Wertschöpfungsnetzen im Fokus und das „sozio-ökonomische SE“ macht schließlich das Verhältnis zu den Stakeholdern der Produktentstehung (Mitarbeiter, Kapitalgeber, Behörden etc.) zum Gegenstand der Betrachtung.

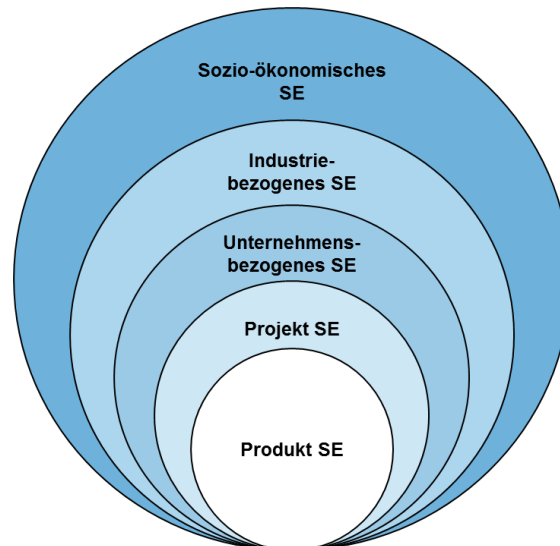


Abbildung 6: Das 5-Ebenen-Modell nach HITCHINS³⁹⁷

Erweiternd zur „Integrierten Produktentwicklung“, die maßgeblich von der Perspektive der beteiligten Entwickler ausgeht, betont das „Systems Engineering“ also eine lebenszyklusweite Betrachtung. So prägten bspw. BLANCHARD und FABRYCKY den Begriff „System-Life-Cycle-Engineering“.³⁹⁸

Ausgehend von seiner Verbreitung in den Industrien der Sicherheits- sowie Luft- und Raumfahrttechnik wurden die Ansätze des „Systems Engineering“ z.T. auf die Automobilindustrie übertragen. Dies wurde v.a. seit den 1990er Jahren erforderlich, als Anforderungen nach Robustheit im Sinne der Ausfallsicherheit zunahmten und vermehrte Serviceleistungen zu einer ansteigenden Komplexität führten. Es zeigt sich jedoch, dass aufgrund der Randbedingungen in dieser Branche eine Neuinterpretation des „Systems Engineering“ erforderlich ist. So sind insbesondere hinsichtlich Zeit- und Kostenvorgaben erhebliche Unterschiede zwischen Rüstungs- und Automobilindustrie zu beachten. MARK JOHNSON, IT Manager der Ford Motor Company in Detroit, sieht hierfür die Möglichkeiten modellbasierter Unterstützungssysteme als Schlüssel zum Erfolg: Das „Information Modelling“ biete die Chance, Menschen dazu zu bringen [effektiv und effizient] miteinander zu arbeiten. Die Kernfrage dabei sei, wie ein Umfeld gestaltet werden könne, um diesen Zweck zu

³⁹⁷ vgl. Hitchins 2007

³⁹⁸ vgl. Blanchard und Fabrycky 1981

unterstützen.³⁹⁹ ALBERS fordert die Umsetzung einer „Systems Engineering“-Methodologie, die neben Großprojekten in international agierenden Konzernen auch Projekte kleineren Umfangs z.B. in mittelständischen Unternehmen unterstützt. Die Herausforderungen der heutigen Produktentstehung seien nicht nur in Größenverhältnissen der herzustellenden Produkte bzw. der dafür aufzusetzenden Prozesse begründet, sondern folgten insbesondere aus den Komplexitätsfaktoren der Dynamik und der bislang unzureichend berücksichtigten Perspektive des Menschen im Zentrum der Produktentstehung.⁴⁰⁰

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, werden derzeit einige Anstrengungen unternommen, um die Charakteristika der bislang vorgestellten Ansätze in Teilen zu kombinieren. So sollen z.B. durch das „Advanced Systems Engineering“ Synergien aus einer ganzheitlichen Systembetrachtung und einer menschenzentrierten Herangehensweise an eine Unterstützung der Produktentstehung geschaffen werden.⁴⁰¹ LINDEMANN und GAUSEMEIER versuchen hierfür, Gedanken, Methoden und Ansätze des „Systems Engineering“ im Rahmen der (integrierten) Produktentwicklung nutzbar zu machen.⁴⁰² Diese Aktivitäten umfassten ganzheitliche Modelle und Methoden zur Unterstützung der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit, des Anforderungs- und Prozessmanagements, der Entwicklung funktionaler Baukästen sowie der Modellierung und Optimierung von Systemarchitekturen. EIGNER, ANDERL und STARK verfolgen mit dem „Smart Engineering“ eine vermehrt rechnerunterstützte Integration verschiedener Disziplinen.⁴⁰³

2.4.5.6 General Framework und Process Architecture Framework

Weniger auf einen konkreten Anwendungsbezug hin, sondern in der Tradition der wissenschaftlichen „Design Theories“ entwickelt BROWNING einen „generalisierten“ Ansatz. Er zielt auf die Entwicklung eines Rahmenwerks ab, in dem Produktentwicklungsprozesse auf Basis ihrer Aktivitäten und deren Beziehungen modelliert werden können. Dabei ist der anvisierte Einsatzbereich sehr umfangreich und soll u.a. von der Erstellung einzelner Modelle für konkrete Zielsetzungen (z.B. Zeit- und Kostenplanung, Ressourcen- oder Risikomanagement) bis zu unternehmensweiten Wissensmanagement- und Lernprozessen Geltung haben.⁴⁰⁴ Die Weiterentwicklung des „General Frameworks“ zu einem „Process Architecture Framework“ soll überdies der Repräsentation aller relevanter Daten dienen, um einen Produktentwicklungspro-

³⁹⁹ Mark Johnson in einer Keynote-Rede anlässlich der CIRP Design Konferenz in Bochum 2013. [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

⁴⁰⁰ vgl. Albers und Lohmeyer 2012

⁴⁰¹ vgl. Albers et al. 2012f

⁴⁰² vgl. Lindemann et al. 2010 und Gausemeier und Lindemann 2012

⁴⁰³ vgl. Eigner et al. 2012a

⁴⁰⁴ vgl. Browning et al 2006

zess ganzheitlich zu erfassen. Neben Ein- und Ausgangsinformationen oder bspw. zeitlichen Attributen von Prozessschritten, seien dies auch Werkzeuge, Organisationseinheiten und weitere – beliebige – Informationen. Das Rahmenwerk diene zur Ableitung unterschiedlicher Sichten und individueller, zweckfokussierter Prozessmodelle. Es könne ferner zur Synchronisation einzelner Modelle genutzt werden, da Änderungen in einem Modell direkt auf andere Modelle übertragen und sichtbar gemacht werden könnten.⁴⁰⁵

2.4.5.7 Transdisziplinäre Prozessplanung und -synchronisation

Während BROWNING sein Rahmenwerk aus einer managementorientierten Perspektive heraus entwickelt, verfolgt HELLENBRAND einen Ansatz, der sich an der „Integrierten Produktentwicklung“ und der funktionsorientierten Entwicklungsphilosophie des „Systems Engineering“ oder der Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme orientiere.⁴⁰⁶ Seine Methodik solle sowohl strukturelle Abhängigkeiten innerhalb des betrachteten Prozesses (Prozessmodell) sowie innerhalb des zu entwickelnden Produktes (Produktmodell, Architektur) berücksichtigen „und so zu einer optimalen Verknüpfung der disziplinspezifischen Entwicklungsprozesse“ beitragen. Um das Systemverständnis zu erhöhen und Transparenz zu schaffen, seien relevante Informationen in einem integrierten Ansatz zu modellieren. Dadurch sollten die Prozessbeteiligten in die Lage versetzt werden, disziplinübergreifende Änderungsabhängigkeiten in Produkten und Prozessen zu identifizieren und zu verstehen. Auf diese Weise könnten sie erkennen, welche Arbeitsergebnisse zu welchem Meilenstein vorliegen müssten und welche Entwicklungsschritte dazu auch in anderen Disziplinen erforderlich seien.⁴⁰⁷

Der Ansatz adressiere „eher späte Phasen“ eines Entwicklungsprozesses. HELLENBRAND benennt in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2006 die Phasen des domänenspezifischen Entwurfs sowie die folgende Systemintegration, mit dem Ziel einer Unterstützung der Serienentwicklung.⁴⁰⁸ Somit setzt er das Lösungsprinzip bzw. die Architektur des Produktes (dessen Funktionen und Komponenten sowie deren Verknüpfung) im Wesentlichen als bekannt voraus. Zwar seien „in gewissen Rahmen noch Änderungen der Architektur zugelassen“, jedoch sollte deren Grundstruktur erhalten bleiben. Auch die Schritte des Entwicklungsprozesses setzt er als bekannt voraus.

⁴⁰⁵ vgl. Browning 2009

⁴⁰⁶ vgl. Hellenbrand 2013

⁴⁰⁷ ebda. S. 26f.

⁴⁰⁸ ebda.

Diese Informationen seien in einer Matrix abzubilden, in der sie einzelnen Domänen zuzuordnen seien. Es handele sich dabei um die Domänen: Funktion, Komponente, Prozessergebnis, Prozessschritt, Person und Meilenstein. Innerhalb dieser Domänen könnten Abhängigkeiten innerhalb der jeweiligen Aspekte repräsentiert werden; zwischen den Domänen seien Relationen zwischen jenen abzubilden.⁴⁰⁹ Für die Erfassung und Nutzung der notwendigen Informationen entwickelt HELLENBRAND ein Vorgehensmodell. Es gehe von der Modellierung der Produktarchitektur und des Prozessmodells aus; nach deren Verknüpfung seien Meilensteine und Prozessergebnisse sowie die Prozessreihenfolge und Verantwortlichkeiten zu definieren. Das entstehende Modell sei auf Plausibilität zu überprüfen. Weitere Analysen ermöglichen die Bestimmung disziplinübergreifender Änderungsauswirkungen und Wirkketten, die Identifikation von Abstimmungsinhalten und Synchronisationszeitpunkten sowie die Ableitung von Team- und Kommunikationsstrukturen. Eine strukturelle und zeitliche Fortschrittskontrolle erlaube schließlich eine Überwachung dieses Implementierungsplans.⁴¹⁰

2.4.5.8 Zwischenfazit

Während zuvor Ansätze vorgestellt wurden, die entweder die Perspektive der Konstruktion und Entwicklung oder die Perspektive des Managements einnahmen, behandelt dieser Abschnitt integrierende Ansätze. Darin werden streng sequenzielle Vorgehensmodelle z.T. überwunden und bspw. durch ein zyklisches Denken ersetzt. Das 3-Zyklen-Modell stellt dabei zunächst ein Erklärungsmodell der Produktentstehung dar, das die Zusammenhänge aus einer abstrakten Perspektive überschaubar macht. Es wurde gezeigt, wie sich in einem solchen Rahmen konkrete Methoden bereitstellen lassen. Ein anderes Rahmenwerk zur Bereitstellung von Entwicklungsmethoden und für die Planung und Überwachung des Entwicklungsgeschehens stellt das Münchener Vorgehensmodell dar. Dessen netzwerkartige Struktur trägt der Nichtlinearität des Entwicklungsgeschehens Rechnung. Weiterhin wurden die Ansätze der „Integrierten Produktentwicklung“ und des „Systems Engineerings“ betrachtet. Darin wird die Produktentstehung auf verschiedenen Betrachtungsebenen erfasst – von elementaren Problemlösungszyklen über konkrete Methoden der Entwicklung und des Managements bis hin zu politischen oder gesellschaftlichen Zusammenhängen. Der Anspruch ist dabei nicht nur, diese Aspekte ganzheitlich abzubilden; insbesondere sollen Wirkketten zwischen den einzelnen Betrachtungsfeldern und -ebenen nachvollziehbar gemacht werden. Eine besondere Stellung nimmt der Umgang mit Informationen in diesen integrierten bzw. übergreifenden

⁴⁰⁹ ebda. S. 122

⁴¹⁰ ebda. S. 241

Ansätzen ein. So sind insbesondere informatorische Schnittstellen zwischen den diversen Verantwortlichkeiten so zu gestalten, dass ein kooperatives Arbeiten möglich wird. Aktuelle Arbeiten befassen sich hierfür mit integrierten Modellierungsansätzen oder Möglichkeiten der Rechnerunterstützung – insbesondere im Umgang mit unsicherheitsbehafteten Informationen.

Im folgenden Abschnitt werden unterschiedliche Modellierungsansätze im Rahmen der sogenannten „Karlsruher Schule“ vorgestellt. Es handelt sich dabei um zunächst unabhängige Modellierungsansätze, die sich jedoch in dem ganzheitlichen und durchgängigen Verständnis vieler der bis hierhin betrachteten Ansätze zu einem Rahmenwerk ergänzen. Dieses hat insgesamt zum Ziel, zahlreiche Aspekte der Produktentstehung zu unterstützen. Dabei gehen Konzepte wie die Auffassung des Zusammenhangs von Funktion und Gestalt oder von der Rolle der Validierung in der Produktentstehung in Teilen deutlich über den Stand der Forschung hinaus.

2.4.6 Ansätze der "Karlsruher Schule"

Motiviert aus den eingangs beschriebenen Herausforderungen und eigenen Erfahrungen aus zahlreichen Entwicklungsprojekten in Industrie und Forschung⁴¹¹ wurden am IPEK – Institut für Produktentwicklung – unter ALBERS eigene Ansätze zur Modellierung der Produktentstehung entwickelt. Teilweise beruhen diese Arbeiten auf den Grundlagen der Modell- und Systemtheorie und führen einige Aspekte der integrierenden bzw. übergreifenden Ansätze des vorigen Abschnitts fort; teilweise stellen sie jedoch einen alternativen Entwurf zum Stand der Forschung dar. Dieser beruht auf **zentralen Hypothesen**⁴¹², die in Teilen eine Neuinterpretation der Zusammenhänge der Produktentstehung widerspiegeln.

So geht ALBERS in der ersten Hypothese davon aus, dass jeder Produktentstehungsprozess **einzigartig** sei.⁴¹³ Zwar könnten aus einer abstrakten Perspektive Gemeinsamkeiten unterschiedlicher Projekte beobachtet werden, um bspw. Referenzmodelle zu bestimmen. Die Komplexität der Produktentstehung erfordere jedoch einen flexiblen Ansatz, wenn darauf abgezielt werde, konkrete Entwicklungsaufgaben situationsgerecht zu handhaben. Hierfür könne sich ein systemischer Ansatz auf Basis des **ZHO-Modells** eignen (vgl. zweite Hypothese). Insbesondere durch die Möglichkeit, hierarchische und strukturelle Abhängigkeiten mit einer funktionalen Betrachtung kombinieren zu können, sei es damit möglich, einen generischen Ansatz zu beschreiben.⁴¹⁴ In Unterabschnitt 2.4.6.5 wird erläutert, wie

⁴¹¹ vgl. Albers und Braun 2011, S. 7

⁴¹² s. Albers 2010, S. 346ff.

⁴¹³ A. Albers et al. 2010a

⁴¹⁴ s.a. Albers et al. 2010a

sich damit die Forderung nach „Simplexität“⁴¹⁵ erfüllen lässt – indem ein erfolgreicher Umgang mit komplexen Sachverhalten auf Basis eines einfachen Grundmodells erfolgt. Die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Eigenschaftsabsicherung des zu entwickelnden Produkts wurde in einigen der zuvor diskutierten Ansätze betont. Sie findet Ausdruck in der dritten Hypothese, die die **Validierung als zentrale Aktivität** von Produktentstehungsprozessen herausstellt.⁴¹⁶ Ein Rahmenwerk zur durchgängigen Validierung wird in Unterabschnitt 2.4.6.2 beschrieben. Es gründet auf einer **zielorientierten** Beschreibung von Produktmerkmalen für die **Problemlösung** (*hier*: technische Produktsynthese). Gemäß der vierten Hypothese sei dafür der Zusammenhang von Funktion und Gestalt ausschließlich in deren Wechselwirkungen zu erfassen.⁴¹⁷ Damit werde insbesondere die zuvor beschriebene Gefahr einer „self-fulfilling prophecy“ bei der funktionsorientierten Entwicklung überwunden. Die Eigenschaftsabsicherung erfolge dann nicht als „Verifizierung“ zuvor definierter Funktionsparameter, sondern als tatsächliche „Validierung“ anhand messbarer Verhaltenscharakteristika eines realen Systems im virtuellen oder realen Versuch – unter klar definierten Randbedingungen. Die hierfür notwendige Repräsentation produktrelevanter Aspekte mit dem **Contact and Channel Ansatz** wird in der fünften Hypothese beschrieben⁴¹⁸ und ist Gegenstand des folgenden Unterabschnitts.

2.4.6.1 Der Contact and Channel Approach

*"The architecture of a product is the scheme by which the functional elements of the product are arranged into physical chunks and by which the chunks interact"*⁴¹⁹

Ein Ansatz zur Erklärung, wie diese Interaktion physischer Einheiten tatsächlich „funktioniert“ ist der Contact and Channel Ansatz (C&C²-A).⁴²⁰ Darin wird davon ausgegangen, dass jedwede Funktionsausübung eines technischen Systems auf Wechselwirkungen von dessen Teilsystemen sowie mit dessen Umwelt basiere – eine einzelne Komponente könne nach dieser Definition keine Funktion erfüllen. Demnach griffen bisher diskutierte Ansätze zu kurz, die ein Herunterbrechen von Funktionsstrukturen und eine Zuweisung sogenannter „Elementarfunktionen“⁴²¹ zu einzelnen Komponenten vorsehen. Stattdessen stünde ein System dem C&C²-A zufolge über „Wirkflächenpaare“ mit seiner Umwelt in Kontakt. Die funktionsrelevan-

⁴¹⁵ Neologismus aus Simplizität und Komplexität; vgl. Meboldt 2008, S. 152f.

⁴¹⁶ vgl. Albers 2010, S. 350

⁴¹⁷ ebda.

⁴¹⁸ ebda. S. 351

⁴¹⁹ Ulrich und Eppinger 1995, S. 132

⁴²⁰ vgl. Albers und Sadowski 2013, aufbauend u.a. auf Matthiesen 2002

⁴²¹ vgl. z.B. Koller und Kastrup 1998

ten Umwelteinwirkungen würden durch „Connectoren“⁴²² in einem C&C²-Modell repräsentiert. In einer systemtechnischen Betrachtung sei eine Funktion dabei durch eingehende und in ggf. transformierter Form ausgehende Flussgrößen von Materie, Energie oder Information gekennzeichnet.⁴²³ Hier charakterisiere insbesondere die Art der Speicherung bzw. Transformation⁴²⁴ wie z.B. Verstärkung, Minderung oder Wandlung die Funktion, die sich innerhalb eines sogenannten „Wirknetzes“ vollziehe. Ein „Wirknetz“ sei für eine jeweils betrachtete Funktion durch mindestens zwei „Connectoren“⁴²⁵, zwei „Wirkflächenpaare“ sowie eine oder mehrere „Leitstützstrukturen“, die die „Wirkflächenpaare“ innerhalb eines technischen Systems verbinden, realisiert. Es kann also explizit auch aus mehreren Komponenten konfiguriert sein.⁴²⁶ Es umfasst

- Leitstützstrukturen – permanent oder vorübergehend interagierende physikalische Strukturen. Sie können stofflich, flüssig, gasförmig oder auch in Form von Feldern vorliegen.
- Wirkflächenpaare repräsentieren Schnittstellen zwischen diesen physikalischen Strukturen
- Connectoren sind Modellelemente, die Wirkung und Zustandseigenschaften der funktionsrelevanten Systemumwelt repräsentieren.⁴²⁷

Die sogenannte „Wirkstruktur“ ist die Summe aller potentiellen „Wirkflächenpaare“ und „Leitstützstrukturen“ eines technischen Systems. „Wirkflächenpaare“ und „Leitstützstrukturen“ stellen nach ALBERS den Gestaltungsraum eines Entwicklers dar.⁴²⁸ Es seien nur die gestaltprägenden Merkmale von „Wirkflächen“ (z.B. Oberflächeneigenschaften) oder „Leitstützstrukturen“ (z.B. Werkstoffauswahl, Dimensionierung) aktiv beeinflussbar. Ferner habe der Entwickler gestaltenden Einfluss auf die sogenannte „Reststruktur“ und „Begrenzungsflächen“, die nicht funktionsrelevant seien und z.B. durch Fertigungsrestriktionen bestimmt seien. Aus diesen Merkmalen ergäben sich im Sinne WEBERS⁴²⁹ die (statischen) Produkteigen-

⁴²² Vor Einführung der Connectoren in der C&C²-Modellierung wurde das Akronym C&C-A für Contact and Channel Ansatz verwendet; die aktuelle Schreibweise C&C²-A betont die Bedeutung der Anbindung zur Systemumwelt (vgl. Alink 2010).

⁴²³ vgl. Albers und Sadowski 2013 u.a. i.S.v. Ehrlenspiel 2007, S. 20ff. Eine pragmatische Modellierung erfordert darüber hinaus auch eine Berücksichtigung davon abgeleiteter physikalischer Größen wie z.B. Kraft oder Moment.

⁴²⁴ Neben Transformationen können auch unverändernde Operationen wie z.B. das Leiten oder Speichern von Flussgrößen funktionsbestimmend sein (vgl. Hirtz et al. 2002).

⁴²⁵ vgl. Alink 2010, S. 46 in Ergänzung zu Matthiesen 2002

⁴²⁶ ebda.

⁴²⁷ vgl. Albers und Sadowski 2013

⁴²⁸ vgl. zudem Albers 2010 und Albers und Sadowski 2013

⁴²⁹ vgl. Weber et al. 2004

schaften wie bspw. die Eigenkreisfrequenz einer schwingfähigen Struktur. Erst im Einsatz unter Randbedingungen eines realen Anwendungsfalls erwiese sich das (dynamische) Verhalten eines technischen Systems. Erst dieses könne messtechnisch bestimmt werden. Daher könne eine Eigenschaftsabsicherung nur durch virtuelle oder physische Tests eines bereits zumindest in Teilen ausgestalteten Systems erfolgen. Eine Produktvalidierung „auf konzeptioneller Ebene“ schließe sich demnach aus – ein Hauptkritikpunkt an vielen phasenorientierten Ansätzen. Um möglichst frühzeitig im Entwicklungsverlauf Aussagen über das Systemverhalten treffen zu können, wurde ein Validierungsframework entwickelt, das im nächsten Unterabschnitt vorgestellt wird.

Die Modellierung mit dem C&C²-A ist fraktal. Das bedeutet, dass die Modellelemente selbstähnlich auf verschiedenen Abstraktionsebenen miteinander verknüpft werden können.⁴³⁰ Abbildung 7 zeigt beispielhaft das Contact and Channel Modell eines CVT-Getriebes⁴³¹. Die Modellelemente werden direkt in Bezug zur Produktgestalt dargestellt. Die Interaktion des technischen Systems mit seiner Umwelt wird durch die „Connectoren“ C1 und C2 repräsentiert. Die Produktfunktion im betrachteten Ausschnitt wird benannt und den Orten der Funktionserfüllung zugeordnet. Durch C&C²-A kann ein Gesamtsystem schrittweise in Teilsysteme gegliedert werden. Dabei wird z.B. eine „Leitstützstruktur“ in weitere „Wirkflächenpaare“ und „Leitstützstrukturen“ aufgeteilt. Damit wird ein „Zoomen“ bis auf eine problemadäquate Abstraktionsstufe ermöglicht, um bspw. funktionsrelevante Merkmale zu untersuchen oder zu variieren. Alle Informationen, die außerhalb des „System-of-Interest“ (vgl. Abschnitt 1.2.1) liegen, können somit „ausgeblendet“ werden, denn ihre Systemeinflüsse würden ggf. durch „Connectoren“ abgebildet werden. ALBERS und BRAUN verdeutlichen dies am Beispiel einer Fahrzeugentwicklung⁴³²; ENKLER zeigt am Beispiel von Kornstrukturen auf, dass dies bis auf eine mikroskopische Ebene möglich ist.⁴³³

⁴³⁰ vgl. Albers und Sadowski 2013

⁴³¹ CVT – Continuously Variable Transmission: Die Energieübertragung erfolgt durch translatorisch verstellbare Kegelscheiben, zwischen denen Stifte einer Kette Moment und Drehzahl übertragen.

⁴³² vgl. Albers und Braun 2010

⁴³³ vgl. Enkler 2010

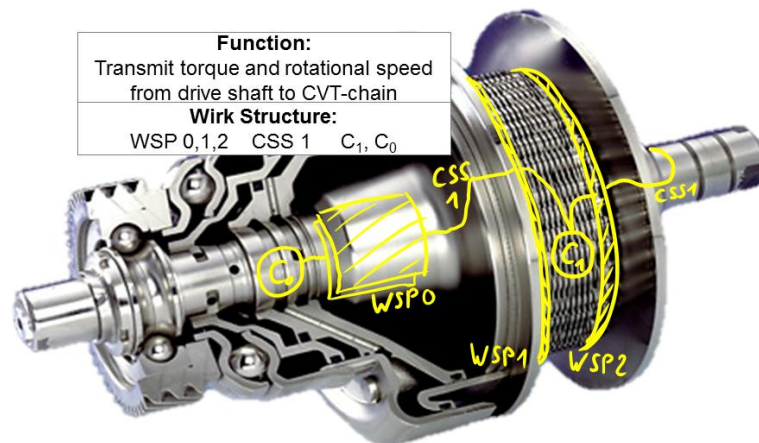


Abbildung 7: Contact and Channel Modell eines CVT-Getriebes⁴³⁴

Die Modellierung mit dem C&C²-A diene nach ALBERS und SADOWSKI drei Zielsetzungen. Zum einen stelle die Terminologie des Ansatzes eine disziplinübergreifende Fachsprache für die **Kommunikation** von Entwicklern dar. Zum anderen dienen die Modellelemente als Symbole in Produktmodellen, um relevante Gestaltcharakteristika hervorzuheben und mit Funktionsbeschreibungen in Beziehung zu setzen.⁴³⁵ Dabei könne C&C²-A sowohl Aktivitäten der **Analyse** als auch der **Synthese** unterstützen. Beispielsweise könne eine systematische Bestimmung von Orten der Funktionserfüllung entlang einzelner „Wirknetze“ erfolgen, um etwa ein ungewolltes Systemverhalten zu ergründen. In der Synthese könne C&C²-A helfen, den Betrachtungsfokus systematisch auf einzelne Systemausschnitte zu lenken. Ferner könne eine diskursive Strategie verfolgt werden, indem C&C²-Elemente gezielt hinzugefügt bzw. entfernt werden oder deren Eigenschaften variiert werden würden.⁴³⁶ Schließlich diene die explizite C&C²-Modellierung der **Dokumentation** von Produktwissen. Dieses sei mittels C&C²-A im Kontext produktrelevanter Aspekte abbildbar und könne problemorientiert wiederaufgefunden werden. Hierzu könnten C&C²-Informationen z.B. in bereits verfügbare Produktmodelle (bspw. in CAD) eingetragen werden.⁴³⁷ Der fraktale Charakter von C&C²-A könne den Informationszugriff bei komplexen Produkten dabei vereinfachen, indem gezielt in relevanten Systemausschnitten gesucht werden kann.

⁴³⁴ Albers und Sadowski 2013, S. 10

⁴³⁵ vgl. Albers und Sadowski 2013, S. 10

⁴³⁶ s.a. Ohmer 2008

⁴³⁷ vgl. Albers und Sadowski 2013, S. 8

Im nächsten Unterabschnitt wird der fraktale Charakter der Produktrepräsentation im Sinne der "Karlsruher Schule" für die durchgängige Eigenschaftsabsicherung genutzt.

2.4.6.2 Das Validierungsframework X-in-the-Loop

Motiviert durch die Entwicklung im Fahrzeugbau mit einer enormen Zunahme an Antriebskonzepten mit komplexen Steuerungs- und Regelungsfunktionen wurde das durchgängige Validierungsframework X-in-the-Loop (XiL) entwickelt. Dabei handelt es sich um einen neuen Ansatz des sogenannten „test-based development“ (engl.: „testbasierte Entwicklung“). Es dient der Analyse und Synthese technischer Systeme, deren Teilsysteme aufgrund der hohen Gesamtkomplexität nicht mehr ohne intensive Berücksichtigung deren technischer und nicht-technischer Umsysteme entwickelt werden können. Vielfach erweist sich das volle Potential eines Teilsystems erst durch die wiederholte Eigenschaftsabsicherung bei variierenden Systemparametern. Eine Validierung ist erst dann gegeben, wenn ein technisches System in Bezug zu dessen (v.a. anbieter- und kundenrelevanten) Zielen und Randbedingungen im Zielsystem das beabsichtigte Verhalten aufweist. Dabei ermöglicht XiL die Kopplung und Unterstützung von Simulation und realer Erprobung auf allen Betrachtungsebenen vom „Wirkflächenpaar“ bis zum Gesamtfahrzeug. Dies erfolgt mit Hilfe der fraktalen Produktmodellierung, indem der Betrachtungsfokus wie gerade beschrieben auf ein relevantes „System-of-Interest“ eingegrenzt wird. Dabei wird das zu entwickelnde Teilsystem („system under development“) bspw. in einem Versuchsaufbau als reales oder virtuelles Modell für bestimmte Manöver und Testfälle analysiert. Die Systemumgebung („Connectoren“) wird hierbei durch die Modelle „Restfahrzeugmodell“, „Fahrer“ oder „Umwelt“ in einer durchgängigen und reproduzierbaren Art und Weise integriert.⁴³⁸ Diesem Ansatz komme gemäß DÜSER besonders zu frühen Entwicklungszeitpunkten eine besondere Bedeutung zu. Er könne helfen, bereits sehr früh im Prozess gesicherte Informationen über Produkteigenschaften zu erhalten. Durch das virtuelle Hinzusimulieren von Teilsystemen, die noch nicht real verfügbar seien, könne die Lernkurve eines Produktentstehungsprozesses wettbewerbsentscheidend vorgezogen werden (vgl. Abschnitt 1.1.3).⁴³⁹ Abbildung 8 veranschaulicht die Kopplung virtueller und physischer Systemmodelle. Überdies kann XiL auf diese Weise eine dezentral verteilte Produktentwicklung erlauben, indem mehrere Testumgebungen internetbasiert zusammengeschaltet werden.

⁴³⁸ Je nach Untersuchungsfall können auch „Fahrer“ oder „Umwelt“ „system under development“ sein.

⁴³⁹ vgl. Düser 2010

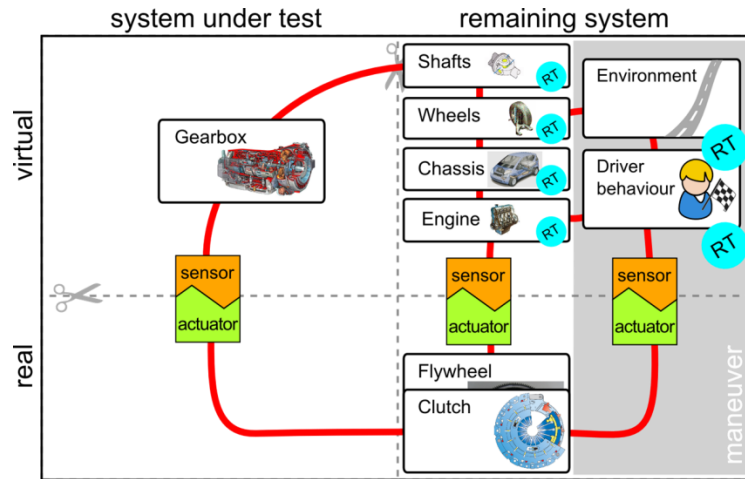


Abbildung 8: Kopplung virtueller und physischer Systemmodelle in XiL⁴⁴⁰

2.4.6.3 Das erweiterte ZHO-Modell

Das Systemtripel ZHO wurde bereits in Abschnitt 2.3.2 vorgestellt. ALBERS ET AL. erweitern diesen Ansatz, indem sie die elementaren Entwicklungstätigkeiten der Analyse und Synthese miteinbeziehen.⁴⁴¹ Sie fassen den Begriff des Handlungssystems dabei erstmals auch insbesondere aus Sicht individueller Personen auf. Diese besäßen eine Wissensbasis sowie einen Lösungsraum – eine Auffassung, die an die denk- und lernpsychologischen Arbeiten der zuvor beschriebenen Unterabschnitte anknüpft. Eine **Wissensbasis** bezeichne die Menge an Domänenwissen und fallspezifischem Wissen für einen bestimmten Produktentstehungsprozess. Sie könne durch Erkenntnisgewinn oder aber durch die Integration zusätzlicher Personen (z.B. Kunden oder Fachspezialisten) in das Handlungssystem, zielgerichtet erweitert werden. Darüber hinaus umfasse sie die Daten und Informationsbestände, auf welchen das individuelle und organisationale Wissen aufbaue.⁴⁴² Ein **Lösungsraum** sei die mentale, multidimensionale Repräsentation der Schnittmenge aller Freiheitsgrade einer Problemsituation auf Basis von gesetzten Zielen und erkannten Randbedingungen. Der Lösungsraum beschreibe die Menge aller zulässigen Lösungen zu einem Problem und richte so die mentale, virtuelle und physische Modellierung von Objekten aus.⁴⁴³

⁴⁴⁰ Geier et al. 2012

⁴⁴¹ vgl. Albers et al. 2012a, S. 274

⁴⁴² s. Lohmeyer 2013, S. 91

⁴⁴³ ebda. S. 99

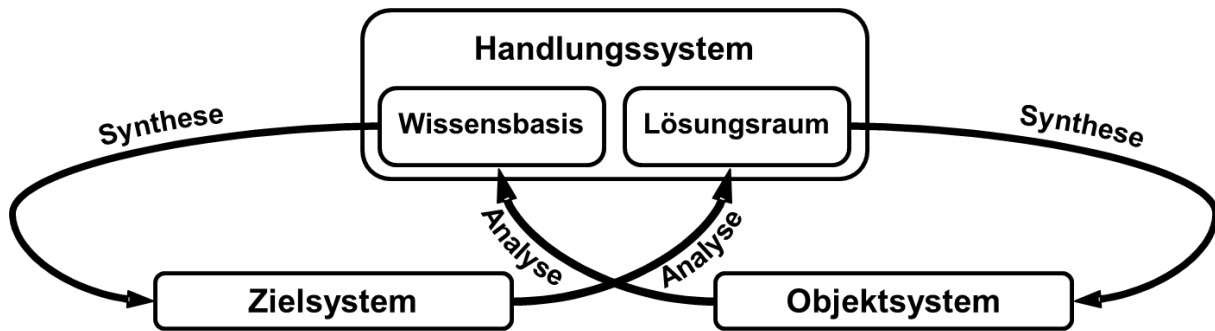
Abbildung 9: Das erweiterte ZHO-Modell⁴⁴⁴

Abbildung 9 zeigt das erweiterte ZHO-Modell mit Wissensbasis und Lösungsraum nach ALBERS ET AL. Darin wird ersichtlich, wie sich der evolutionäre Verlauf einer menschenzentrierten Produktentwicklung vollzieht. Auf der Basis bestehenden Wissens, können Ziele formuliert werden, um das Zielsystem auf- und weiter auszubauen. Die Analyse des Zielsystems führt zu einer Konkretisierung des Lösungsraums. Dieser stellt wiederum die Grundlage dar, um Objekte zu generieren. Diese Objekte stellen explizite Informationsträger dar, die in weiteren Analyseschritten zu neuem Wissen führen – bspw. indem eine Berechnung interpretiert wird. Aus dem Wissen, dass etwa eine Welle zu gering dimensioniert ist, können neue Ziele wie z.B. die Anpassung des Wellendurchmessers oder aber die Suche nach alternativen Werkstoffen resultieren. Durch ein iteratives Durchlaufen dieser Schritte wachsen Wissensbasis, Ziel- und Objektsystem kontinuierlich an; der Lösungsraum wird fortwährend eingegrenzt bzw. konkretisiert.

Im folgenden Unterabschnitt wird ein Ansatz vorgestellt, in dem Ziel- und Objektsystem nicht nur ausgehend von einer einzelnen Person, sondern im übergeordneten Kontext der gesamten Produktentstehung betrachtet werden.

2.4.6.4 Ausrichtung von Produktentwicklung und Validierung am Kunden

Im Kontext der Produktentstehung gibt es verschiedene „Kunden“. So können Endverbraucher oder Geschäftskunden außerhalb eines Unternehmens Waren und Dienstleistungen beziehen. Es gibt jedoch auch innerhalb eines Unternehmens Beziehungen zwischen den Verantwortlichen einzelner Entwicklungsergebnisse oder technischer Teilsysteme und deren Abnehmern in nachgelagerten Prozessschritten. In einer fraktalen Interpretation des ZHO-Modells können diese Beziehungen in einem Ansatz nach ALBERS und GEIER repräsentiert werden.⁴⁴⁵ Demnach komme dem „Kunden“ eine wichtige Rolle in der Produktentstehung zu. Er bestimme zum einen durch seine (geäußerten oder nicht geäußerten) Erwartungen maßgeblich das

⁴⁴⁴ nach Albers et al. 2012a

⁴⁴⁵ vgl. Albers et al. 2011c

Zielsystem. Dabei stellten auch marktwirtschaftliche oder gesellschaftliche Randbedingungen wichtige Einflussgrößen dar. Zum anderen stellten Kunde, bzw. Markt und/oder Gesellschaft die Instanzen dar, die letztlich über die Qualität des Objektsystems bzw. über die Kaufattraktivität des Produkts entschieden. Je nach Situation könne dies durch Nutzung und Wahrnehmung eines fertigen Produktes erfolgen oder indem Teile des Objektsystems von weiteren Beteiligten eines Produktentwicklungsprozesses verwendet werden würden. In diesem Fall müssten Zwischenergebnisse der Entwicklung bspw. unternehmensinternen Richtlinien hinsichtlich der Dokumentation oder Bereitstellungsform genügen und v.a. von ausreichend hoher inhaltlicher Qualität sein.

Dem Ansatz zufolge sind zwei Sichtweisen zu unterscheiden (vgl. Abbildung 10). Zum einen lässt sich ein **Entstehungszyklus** beschreiben. In diesem werden ausgehend von Kundenanforderungen Ziele generiert und durch ein Handlungssystem in Objekte transformiert. Diese werden dann dem Kunden angeboten, wodurch sich dieser Kreis schließt. Zum anderen lässt sich ein **Validierungszyklus** beschreiben. Dieser wirkt entgegengesetzt zu dem zuvor betrachteten Zyklus der Produktentstehung. In diesem ergeben sich aus der Nutzung und Wahrnehmung des Objektsystems bzw. von Teilen desselben durch den „Kunden“ die Möglichkeit einer Verifizierung derselben. Dadurch kann das Handlungssystem Wissen über das Objektsystem aufbauen, das – wie im voranstehenden Abschnitt beschrieben – zur Ableitung neuer Ziele dienen kann. Im Sinne der Validierung kann durch den „Kunden“ dabei schließlich eine Überwachung und Objektivierung des Zielsystems oder von Teilen desselben erfolgen.

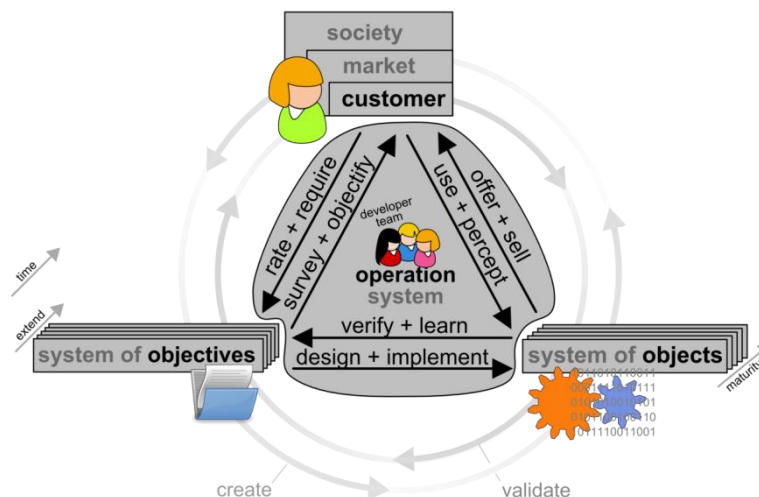


Abbildung 10: Produktentwicklung und Validierung im System der Produktentstehung⁴⁴⁶

⁴⁴⁶ ebda.

2.4.6.5 Das integrierte Produktentstehungsmodell

ALBERS und BRAUN beschreiben das integrierte Produktentstehungsmodell (iPeM) als ein generalisiertes Rahmenwerk zur Erfassung und Unterstützung von Produktentstehungsprozessen, in dem auch die bisher beschriebenen Ansätze der „Karlsruher Schule“ eingeordnet werden können.⁴⁴⁷ Hierfür wurde aus den Grundlagen der Systemtheorie und des Systems Engineering ein Metamodell hergeleitet, mit dem die Produktentstehung beschrieben und methodisch unterstützt werden kann. Mit Hilfe des generischen Metamodells kann die Überführung eines Zielsystems in ein Objektsystem mit Hilfe von Aktivitäten wie folgt strukturiert repräsentiert werden. Die Aktivitäten bilden zusammen mit dem System der Ressourcen ein Handlungssystem. Sie sind in Aktivitäten der Produktentstehung und Aktivitäten der Problemlösung untergliedert (vgl. Abbildung 11). Es lässt sich zeigen, dass diese wenigen Elemente aufgrund der generischen Natur des iPeM ausreichend sind, um die Produktentstehung ganzheitlich zu umfassen.⁴⁴⁸ Dies schließt abstrakte wie konkrete Betrachtungen sowie unterschiedliche Perspektiven wie die der Entwicklung oder die des Managements mit ein. In dieser ganzheitlichen Betrachtung sind auch die im vorherigen Unterabschnitt beschriebenen Einflüsse von Markt und Gesellschaft auf die Produktentstehung berücksichtigt – bspw. als Randbedingungen im Zielsystem.

Die Aktivitäten der Produktentstehung (auch: „Makroaktivitäten“⁴⁴⁹) orientieren sich am Produktlebenszyklus, seien aber nach ALBERS in ihrer zeitlichen Abfolge nicht daran gebunden. Stattdessen formierten sich einzelne Phasen eines konkreten Produktentstehungsprozesses durch teilweise parallele und/oder iterative Aktivitäten. Hierdurch würden sequenzielle Prozessmodelle überwunden werden können⁴⁵⁰. Eine Möglichkeit, Aktivitäten in ihrer Abfolge darzustellen, ist das Phasenmodell. Darin werden im iPeM drei Modelle unterschieden: Referenz-, Implementierungs- und Anwendungsmodell. Ein Referenzmodell stellt nach retrospektiver Aufbereitung ein Muster für ähnliche Projekte unter vergleichbaren Randbedingungen dar. Inhaltlich beschreibt es verallgemeinerte Abläufe und Zeitintervalle, die sich innerhalb eines bestimmten Umfelds oder Technologiebereiches als sinnvoll erwiesen haben. Ein Implementierungsmodell ist die spezifische Planung von Aktivitäten und Ressourcen für ein bestimmtes Projekt. Es kann von Referenzmodellen abgeleitet werden und ist in seiner Ausprägung immer nur für ein individuelles Projekt gültig. Ein Anwendungsmodell stellt die Erfassung des tatsächlichen Verlaufs eines konkreten Projekts dar. Der Abgleich zwischen Anwendungs- und Implementierungsmodell ermöglicht

⁴⁴⁷ s. Albers und Braun 2011, aufbauend u.a. auf Meboldt 2008

⁴⁴⁸ vgl. Albers und Braun 2012

⁴⁴⁹ vgl. Meboldt 2008, S. 161ff.

⁴⁵⁰ vgl. Albers et al. 2011b

eine fortlaufende Kontrolle des Projektfortschritts. Eine wiederholte Modellierung von Planungs- und tatsächlichem Umsetzungszustand ähnlicher Projekte erlaubt die Generierung neuer, oder die Aktualisierung bestehender Referenzmodelle.

Die Aktivitäten der Produktentstehung sind als Cluster zu verstehen, in die unterschiedlichste Tätigkeiten mit ähnlichem Inhalt eingeordnet werden können. Eine kurze Beschreibung der Aktivitäten gibt Tabelle 2 wieder.

Tabelle 2: Aktivitäten der Produktentstehung⁴⁵¹

Aktivität der Produktentstehung	Beschreibung
Projektierung	Summe der Tätigkeiten zu Beginn eines Produktentstehungsprozesses (Planung des initialen Ziel- und Handlungssystems) sowie deren kontinuierliche Steuerung bzw. Regelung (Redefinition von Ziel- und Handlungssystem auf Basis der Validierung – s.u.)
Profilfindung	strategische Produktdefinition; Identifikation von Kunden- und Anbieternutzen sowie lösungsneutrale Charakterisierung der Eigenschaften eines zukünftigen Produkts beziehungsweise Problemidentifikation bei einem bestehenden Produkt
Ideenfindung	ganzheitliche Lösungssuche für die im Produktprofil beschriebenen (Teil-)Probleme; Ausgehend von einem möglichst großen Lösungsraum werden gestalterische Ideen auf vergleichsweise hohem Abstraktionsniveau erarbeitet
Modellierung von Prinzip und Gestalt	detaillierte Ausarbeitung der Produktidee(n) unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Randbedingungen; detaillierte Erarbeitung des physikalischen Zusammenhangs von Funktion und Gestalt (z.B. mit CAX-Werkzeugen)
Validierung	zentrale Aktivität zur Gewinnung von Erkenntnis und Wissen; es werden sowohl eine fortlaufende Eigenschaftsabsicherung mit steigendem Reifegrad des Produkts, als auch ein kontinuierlicher Soll-Ist-Vergleich von Prozessgrößen vorgenommen
Produktionssystementwicklung	Vorbereitung der Produktion des Produkts; umfasst z.B. die Definition/Beschaffung der Produktionsinfrastruktur (z.B. Maschinen und Anlagen) und die Definition der Zuliefererkette (ERP ⁴⁵²); es handelt sich um einen eigenen Produktentstehungsprozess bzgl. des Produktionssystems

⁴⁵¹ vgl. Albers und Braun 2011, S. 14

⁴⁵² ERP – Enterprise Resource Planning bzw. Unternehmensressourcenplanung (für einen effizienten Einsatz von Kapital, Betriebsmitteln und/oder Personal)

Produktion	Fertigungsprozesse zur Realisierung des Produkts; umfasst Herstellung bzw. Wareneingang einzelner Produktkomponenten sowie deren Montage; Qualitätssicherung ist Validierung in der Produktion (von der Eingangskontrolle bis zur Endabnahme)
Einführung	prozessparallele Aktivitäten, die zur Vermarktung des Produkts dienen; umfasst sowohl die Implementierung eines Vertriebsnetzwerks, als auch die Definition einer Vermarktungsstrategie inklusive Erarbeitung einer geeigneten Produktpräsentation
Nutzung bzw. Nutzungsanalyse	kann a priori während der Produktentwicklung durchgeführt werden, um das zukünftige Nutzerverhalten zu antizipieren (vgl. XiL in Abschnitt 2.4.6.2), oder a posteriori in der Produktgenerationsentwicklung zur Identifikation von Verbesserungspotentialen bei bestehenden Produkten; umfasst auch Produktservice
Abbau bzw. Abbauanalyse	Antizipation der Möglichkeiten von Stilllegung oder Recycling nach Ende der Produktlebensdauer; dies schließt auch Möglichkeiten der Wiederaufbereitung mit ein; insbesondere parallel zur Modellierung von Prizip- und Gestalt durchzuführen

Die Produktentstehung wird von ALBERS UND BRAUN als ein Problemlösungsprozess aufgefasst. Im Stand der Forschung werden elementare Problemlösungsprozesse wie das sogenannte TOTE-Schema (Test-Operate-Test-Exit)⁴⁵³ oder LAMDA (Look, Ask, Model, Discuss, Act) beschrieben. Letzteres ging aus dem PDCA (plan-do-check-act) hervor.⁴⁵⁴ Für den Kontext der Produktentwicklung umfasst die VDI-Richtlinie 2221 einen Problemlösungsprozess (vgl. Unterabschnitt 2.4.3.5); ebenso dienen die bereits vorgestellten Zyklen nach LINDEMANN oder EHRENSPIEL zur strukturierten Problemlösung im Sinne einer denkpsychologischen Methodik (vgl. Unterabschnitte 2.4.5.3 und 2.4.5.4). Sie zielen auf eine nichtlineare Vorgehensweise ab, in der Informationen zunächst gesammelt und schließlich wieder verdichtet werden. Diese Vorgehensweise ist auch charakteristisch für den „Vorgehensplan zur Lösung von Erfindungsaufgaben“ ARIZ.⁴⁵⁵ Darin sind Informationsbeschaffung, Problemdefinition, Problemlösung und -bewertung, sowie eine Analyse des Problemlösungsprozesses vorgesehen. Diese Aspekte sind auch Teil des Problemlösungsprozesses nach dem Akronym SPALTEN⁴⁵⁶. Im Metamodell des iPeM ist diese Problemlösungssystematik für alle Teilaktivitäten der Produktentste-

⁴⁵³ vgl. Miller et al. 1960

⁴⁵⁴ vgl. Shewart 1939

⁴⁵⁵ vgl. Altshuller 1986

⁴⁵⁶ Die Anfangsbuchstaben des Akronyms stehen für die Teilschritte des Problemlösungsprozesses – vgl. Albers et al. 2005

hung vorgesehen, um eine systematische Zielerreichung sicherzustellen. Ihre Teilschritte (auch: „Mikroaktivitäten“⁴⁵⁷) werden in Tabelle 3 erläutert.

Tabelle 3: Aktivitäten der Problemlösung

Aktivität der Problemlösung	Beschreibung
Situationsanalyse	vorbereitende Informationserfassung über Soll- und Ist-Zustand sowie verknüpfte Randbedingungen
Problemeingrenzung	Untersuchung der gesammelten Information zur Eingrenzung des Kerns der weiteren Betrachtung; Definition von Entscheidungskriterien
Suche nach alternativen Lösungen	kreative, diskursive und/oder recherchierende Lösungsfindung für die Überwindung des Delta zwischen Soll- und Ist-Zustand; eine Auswahl findet zunächst nicht statt
Lösungsauswahl	Auswahl einer umzusetzenden Lösung nach zuvor definierten Kriterien
Tragweitenanalyse	systematische Untersuchung von Chancen und Risiken, die mit der getroffenen Auswahl verbunden sind; gegebenenfalls Definition von Maßnahmenplänen
Entscheiden und Umsetzen	verantwortlicher Beschluss zur Lösungsumsetzung und Implementierung der Lösung (gegebenenfalls durch weitere zu bestimmende Aktivitäten)
Nachbereiten und Lernen	Reflektion des Problemlösungsprozesses und gegebenenfalls Festhalten von Erkenntnissen für zukünftige Prozesse, Ableiten von best practices

Vor jedem SPALTEN-Schritt werde nach ALBERS ET AL. überprüft, ob das Problemlösungsteam für die gegebene Situation geeignet sei. Gegebenenfalls seien Personen auszutauschen. Zwischen jedem SPALTEN-Schritt finde weiterhin ein Informationscheck statt, in dem überprüft werde, ob die Informationen für die Folgeschritte in Quantität und Qualität ausreichend vorhanden seien.

Durch orthogonale Anordnung der Aktivitäten der Problemlösung über die Aktivitäten der Produktentstehung entsteht im iPeM eine klare Struktur – die charakteristische Aktivitätenmatrix (vgl. Abbildung 11). Diese ist generisch, also projektunabhängig und somit ohne Zeitbezug; sie bezeichnet daher den „statischen Teil des iPeM“. In ihr können übergeordnetes Erfahrungswissen, wie z.B. generell geeignete Methoden für einzelne Aktivitäten abgespeichert werden. Die Abbildung einzelner Aktivitäten auf einem Zeitstrahl im Phasenmodell – dem „dynamischen Teil des iPeM“ – dient der Repräsentation individueller Projekte.⁴⁵⁸ Die übergeordnete Gliederung des iPeM

⁴⁵⁷ vgl. Meboldt 2008, S. 169ff.

⁴⁵⁸ vgl. Albers und Braun 2011

in das Systemtripler aus Ziel-, Handlungs- und Objektsystem sowie die Beschreibung des Handlungssystems als Ressourcensystem, statische Aktivitätenmatrix und dynamisches Phasenmodell mit Zeitbezug stellt Abbildung 11 dar.

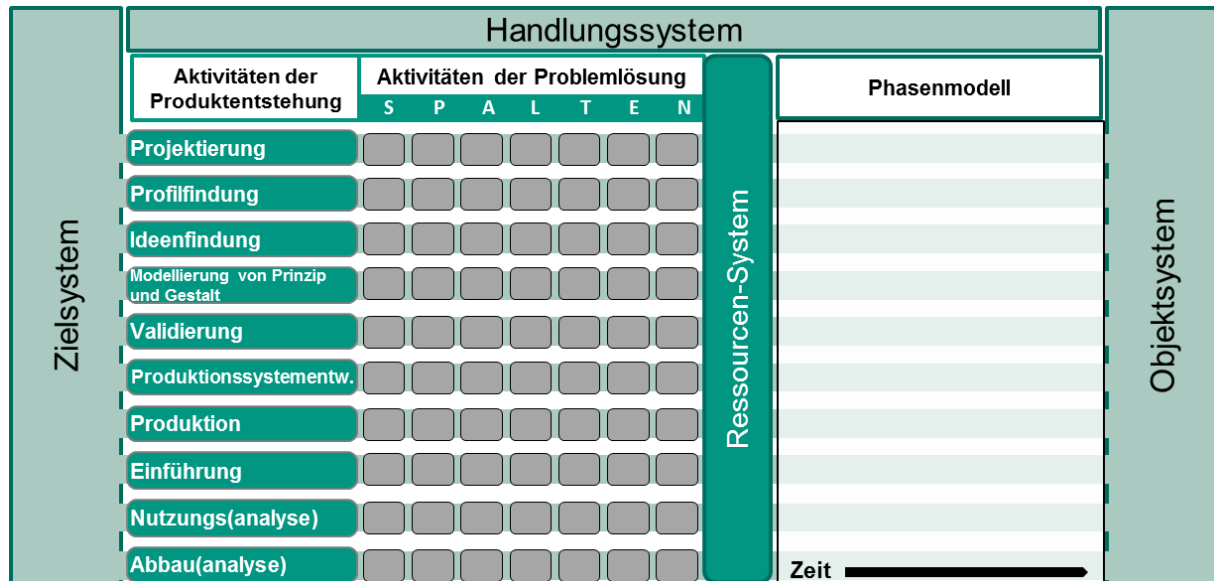


Abbildung 11: Schematische Darstellung des integrierten Produktentstehungsmodells⁴⁵⁹

2.4.6.6 Zwischenfazit

Im Rahmen der „Karlsruher Schule“ werden zahlreiche Aspekte der im Stand der Forschung beschriebenen Ansätze zusammengeführt. Sie basiert auf den Grundlagen der Modell- und Systemtheorie und kann sich daher für eine formalisierte, explizite Repräsentation von Informationen eignen. Weiterhin zielt sie auf eine ganzheitliche Erfassung des Systems der Produktentstehung ab. Im Sinne des „Systems Engineering“ werden dabei auch übergeordnete Aspekte, wie Politik, Gesellschaft oder Marktwirtschaft mit einbezogen – bspw. bei der Entwicklung von Zielsystemen.⁴⁶⁰ Gleichzeitig wird ein Fokussieren auf individuelle Personen und deren kognitionspsychologisch zu erklärenden Bedürfnisse und Vorgehensweisen ermöglicht – etwa bei der Handhabung konkreter technischer Problemstellungen. Die „Karlsruher Schule“ greift hierfür Arbeiten auf, die so genannte „atmende“ Problemlösungsprozesse beschreiben. Damit wird der zu betrachtende Informationsausschnitt systematisch aufgeweitet oder eingegrenzt, damit das Arbeitsgedächtnis der beteiligten Personen optimal genutzt werden kann.⁴⁶¹ Die Produktmodellierung mit dem C&C²-A dient hierbei einer integrierten Betrachtung von Funktion und

⁴⁵⁹ In der generischen Darstellung als Metamodell sind im Phasenmodell keine Aktivitäten eingetragen.

⁴⁶⁰ vgl. Muschik 2011

⁴⁶¹ vgl. Dörner 1979

Gestalt. Damit sollen sowohl Analyse als auch Synthese unterstützt werden, die im iterativen Wechsel zu einer evolutionären, validen Fortentwicklung von Ziel- und Objektsystem dienen – und damit nicht zuletzt eine Möglichkeit darstellen, systematisch Unsicherheiten in der Produktentwicklung abzubauen. Sequenzielle Prozessmodelle, die Funktions- und Gestaltmodellierung unterscheiden, werden dadurch überwunden. Eine zielorientierte Eigenschaftsabsicherung kann somit bereits zu frühen Entwicklungszeitpunkten erfolgen und wird durch das durchgängige Validierungsframework XiL adressiert. Hierfür werden physische und virtuelle Teilsysteme in Versuchen miteinander gekoppelt. Die Produktentstehung kann im iPeM durch generische Referenzmuster für beliebige Projekte oder aber in konkreten Aktivitätenfolgen auf einer detaillierten, projektspezifischen Ebene repräsentiert werden. Aus Sicht des Projektmanagements soll die dynamische Modellierung des Entwicklungsgeschehens z.B. Soll-Ist-Vergleiche für eine kontinuierliche Zustands- und Verlaufsüberwachung der Produktentstehung erlauben. Aus Sicht von Konstruktion und Entwicklung sollen bspw. Methodensammlungen oder Erfahrungswissen in der statischen Aktivitätenmatrix abgebildet werden können. Derartige Muster gehen weit über Lösungskataloge der frühen Konstruktionsmethodik hinaus und sind darauf ausgerichtet, die Kreativität der Beteiligten situationspezifisch zu fördern.⁴⁶²

Um dieses Potential auszuschöpfen, müssen die Ansätze anwendbar gemacht werden. Ein Überblick der Möglichkeiten werkzeugtechnischer Umsetzungen für den Zweck der Anwendung von Modellen in der Praxis wird im folgenden Abschnitt aufgezeigt.

2.5 Technische Umsetzung von Modellierungsansätzen

Im voranstehenden Abschnitt wurde der umfangreiche Stand der Forschung theoretischer Ansätze zur Modellierung der Produktentstehung betrachtet. Davon ausgehend werden nun bestehende Möglichkeiten, diese einer Praxisanwendung zuzuführen, diskutiert. Beispielsweise sind Mind Maps eine verbreitete Form der strukturierten Repräsentation von Informationen bspw. über ein Produkt.⁴⁶³ Damit lassen sich v.a. hierarchische Zusammenhänge darstellen, was in der Dekomposition von Hard- oder Software Produkten eine breite Anwendung findet.⁴⁶⁴ Die Art und Weise, wie Informationen in Mind Maps oder Baumstrukturen anzuordnen sind, stellen dabei bereits einen gewissen Formalismus dar. Um aber v.a. eine effiziente Modellerstellung und -interpretation durch verschiedene Beteiligte zu erleichtern, wurden zahlreiche Techniken entwickelt, die erweiterte Möglichkeiten einer formalen

⁴⁶² vgl. Deigendesch 2009

⁴⁶³ vgl. Lindemann et al. 2009, S. 40

⁴⁶⁴ ebda. mit Bezug zu Pahl und Beitz 1966, S. 445 und Bruegge und Dutoit 2000, S. 166ff.

Repräsentation von Informationen bereitstellen. Die Ausführungen folgen dem Grundverständnis, dass eine fortgeschrittene Anwendung jedweder Modellierungsansätze zunächst einer **formalen Sprache** bedarf. Diese definiert im Allgemeinen Beschreibungsmittel in Form von Symbolen bzw. Zeichen und stellt ergänzend dazu die Semantik bereit, nach der diese zu interpretieren sind. Zunächst wird in diesem Abschnitt also der Stand der Forschung zu Sprachen und Modellierungstechniken betrachtet.

Neben einer formalisierten Repräsentationstechnik bedarf die Praxisanwendung von Modellierungsansätzen auch **werkzeugtechnische Mittel**. Im einfachsten Fall sind dies z.B. Papier und Bleistift; die Bandbreite reicht jedoch bis zu fortgeschrittenen Servertechnologien. Erst diese Mittel erlauben eine explizite Repräsentation von Informationen gemäß dem jeweils verwendeten Modellierungsansatz. Daher wird in einem weiteren Unterabschnitt der Stand der Technik heute verfügbarer Werkzeuge für die Prozessmodellierung beleuchtet. Da im begrenzten Rahmen dieser Dissertation keine erschöpfende Zusammenstellung aller verfügbaren Werkzeuge möglich ist, wird eine klassifizierende Übersicht aufgestellt. Darin werden unterschiedliche Werkzeugformen voneinander abgegrenzt. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf aktuellen Forschungsarbeiten und den dort verwendeten Werkzeugen.

2.5.1 Sprachen und Techniken der Modellierung

Die Suche nach Wegen und Möglichkeiten der Visualisierung komplexer Systemdaten ist Gegenstand zahlreicher Forschungsdisziplinen. Dazu gehören „Systems Engineering“, „Operations Research“, „Data Mining“ oder „Systems Dynamics“. Das generelle Ziel der jeweiligen Repräsentationsformen ist es, Nutzern einen globalen Systemüberblick sowie zweckgerichtete Ansichten bereitzustellen, um ein verbessertes Systemverständnis für die Lösung technischer Probleme zu erhalten.⁴⁶⁵

In den folgenden Unterabschnitten werden zunächst unspezifische Modellierungssprachen am Beispiel der UML und XML erläutert. Darauf aufbauend wurde zur objektorientierten **Repräsentation technischer Systeme** der Dialekt SysML entwickelt. Speziell für die Repräsentation mechatronischer Systeme wurde am Heinz Nixdorf Institut (HNI) in Paderborn eine integrative Spezifikationstechnik entwickelt, die als Beispiel jüngerer Forschungsarbeiten angeführt wird. Neben entwicklungsorientierten Techniken existieren auch Sprachen zur **Repräsentation von Geschäftsprozessen**. Davon basieren einige Dialekte ebenfalls auf der UML. Daneben sind blockförmige Notationen verbreitet, die ausgehend von ihren Ursprüngen in der Softwareentwicklung ebenfalls anhand aktueller Beispiele illustriert

⁴⁶⁵ vgl. Lindemann et al. 2009, S. 39

werden. Zahlreiche Modellierungssprachen beruhen auf den Grundlagen der Graphentheorie, auf die kurz eingegangen wird. Schließlich werden die Grundlagen semantischer Repräsentationen in Form von Ontologien vorgestellt.

2.5.1.1 UML und XML als Beispiele unspezifischer Modellierungssprachen

Die **Unified Modeling Language (UML)** ist die dominierende Sprache für die Softwaresystem-Modellierung.⁴⁶⁶ Sie basiert auf der Metadatenarchitektur Meta Object Facility (MOF). Diese stellt eine allgemeine Grundlage für Metamodelle dar. Entsprechend diesem Standard definiert die UML Bezeichner für die modellrelevanten Begriffe und legt mögliche Beziehungen zwischen diesen Begriffen fest. Durch die UML werden weiterhin graphische Notationen für diese Begriffe definiert, sowie für Modelle statischer Strukturen und dynamischer Abläufe, die man mit diesen Begriffen formulieren kann. Als objektorientierte Metasprache sieht die UML Strukturdiagramme und Verhaltensdiagramme vor. Damit können u.a. Klassen, Aktivitäten, Sequenzen oder Zustände beliebiger Entitäten formal beschrieben werden. Die UML ist sowohl von der Object Management Group (OMG), als auch von der International Organization for Standardization (ISO) standardisiert.⁴⁶⁷ Auf Basis dieses generischen Metamodells können spezifizierte Sprachen entwickelt werden, wie z.B. die Mechatronic UML.⁴⁶⁸

Die Auszeichnungssprache **Extensible Markup Language (XML)** bietet die Möglichkeit, Dokumente aus Auszeichnungselementen (engl.: „tags“) und Attributen aufzubauen. Dadurch werden die Dokumente auch durch Maschinen interpretierbar. Die XML ist nicht grafik-, sondern textbasiert. Wegen ihrer Flexibilität werden XML-basierte Dateiformate oftmals als systemunabhängiges und offenes Austauschformat verwendet. Im Bereich der Ingenieurwissenschaften sind bspw. die XML-basierten Dateiformate AutomationML oder CAEX bekannt.⁴⁶⁹

2.5.1.2 Mit SysML von spezialisierten Modellierungssprachen zu MBSE

Während UML und XML bewusst unspezifisch gehalten sind, zielen andere Sprachen auf die Repräsentation bestimmter Sachverhalte ab. Die **Systems Modeling Language (SysML)** wurde entwickelt, um speziell technische Systeme zu modellieren. Sie baut auf der UML auf und wird gemeinsam von der OMG (Object Management Group) und INCOSE entwickelt. Sie zielt auf eine formale Beschreibung von Struktur, Verhalten und Anforderungen eines Systems ab. Dabei werden

⁴⁶⁶ vgl. Kahlbrandt 2001

⁴⁶⁷ s. ISO 2012

⁴⁶⁸ vgl. Burmester et al. 2005

⁴⁶⁹ vgl. Garcia und Drath 2011 und Schleipen 2009 zitiert nach Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit)

insbesondere Beziehungen zwischen diesen Aspekten explizit gemacht.⁴⁷⁰ Weitere Beispiele spezialisierter Modellierungssprachen auf Basis der UML sind EAST-ADL (Electronics Architecture and Software Technology-Architecture Description Language)⁴⁷¹, AUTOSAR (Automotive Open System Architecture)⁴⁷², MARTE (Modeling and Analysis of Real-Time and Embedded Systems)⁴⁷³ sowie AADL (Architecture Analysis and Design Language)⁴⁷⁴.

In Ergänzung zu den Modellierungssprachen wurden überdies auch Vorgehensmodelle entwickelt, die beschreiben, wie bei der Modellierung vorgegangen werden kann. Beispiele hierfür sind die Object Oriented Systems Engineering Method (OOSEM) der INCOSE⁴⁷⁵ und der Systems Modeling Process (SYSMOD) von WEILKIENS⁴⁷⁶. Weitere Beispiele sind Harmony-SE, RUP/SE, ViTech, JPL State Analysis und SysCARS, die meist firmenspezifisch ausgerichtet sind.⁴⁷⁷

Die erstellten Modelle sind rechnerinterpretierbar und erlauben bspw. Simulationen und Analysen von Zuverlässigkeit und Sicherheit von E/E-Systemen⁴⁷⁸. Solche elektrischen und elektronischen Systeme eignen sich besonders für eine Abbildung bspw. in der SysML. Denn im Gegensatz zu mechanischen Systemen ist bei ihnen oft eine eins zu eins Zuweisung von Funktionen zu einzelnen (elektrischen) Komponenten zulässig. Daher kann ihre Modellierung auch weitgehend in Entsprechung zu den im vorigen Abschnitt beschriebenen Ansätzen erfolgen, die eine Trennung von „logischer Funktionsarchitektur“ und „Komponentenebene“ vorsehen. Ein Beispiel ist die „FAS-Methode“ (Funktionale Architekturen für Systeme). In ihr werden funktionale Abhängigkeiten eines technischen Systems in einem eigenen Blockdiagramm abgebildet.⁴⁷⁹ ALBERS und ZINGEL erweitern diese Modellierungstechnik um die Modellelemente des C&C²-A, um auch mechanische bzw. mechatronische Systeme repräsentieren zu können.⁴⁸⁰

Die Bestrebungen einer durchgängigen modellbasierten Abbildung von Systemen werden unter dem Begriff **Model-Based Systems Engineering (MBSE)** zusammengefasst. Nach der „Systems Engineering Vision 2020“ der INCOSE könne die moderne Produktentwicklung damit dokumentenzentrierte Produktentstehungs-

⁴⁷⁰ vgl. Alt 2012

⁴⁷¹ vgl. Cuenot et al. 2011

⁴⁷² vgl. Kindel und Friedlich 2009

⁴⁷³ vgl. Arpinen et al. 2011

⁴⁷⁴ vgl. Feiler et al. 2006

⁴⁷⁵ vgl. Friedenthal et al. 2011

⁴⁷⁶ vgl. Weilkiens 2008

⁴⁷⁷ vgl. Estefan 2007

⁴⁷⁸ E/E steht für Elektrik und Elektronik; die Abkürzung ist in der Automobilbranche geläufig.

⁴⁷⁹ vgl. Lamm und Weilkiens 2010

⁴⁸⁰ vgl. Zingel et al. 2012

prozesse überwinden. Hierfür werde eine formalisierte Anwendung der Modellierung zur Unterstützung und Integration von Anforderungsdefinition und -management, Design, Analyse, Verifikation und Validierung von Beginn an über alle Produktentstehungsphasen hinweg angestrebt.⁴⁸¹ Die Modellierung auf Basis der SysML ist jedoch stark durch die Softwaretechnik geprägt. Dies könne nach ZINGEL ET AL. zu Verständnisproblemen bei Ingenieuren anderer Fachdisziplinen führen und behindert insbesondere eine breite Akzeptanz heutiger Modellierungstechniken in domänenübergreifenden Entwicklungsprojekten.⁴⁸² Aber FRIEDRICH zur Folge sei die SysML alleine auch innerhalb der Informationstechnik selbst nicht zielführend für eine intuitive Systembeschreibung einsetzbar.⁴⁸³ Aufgrund derartiger Unzulänglichkeiten wurden alternative Modellierungstechniken entwickelt. Ein Beispiel hierfür wird im folgenden Unterabschnitt erläutert.

2.5.1.3 Spezifikationstechnik für die mechatronische Entwicklung

Am Heinz Nixdorf Institut (HNI) in Paderborn verfolgt GAUSEMEIER das Ziel einer ganzheitlichen integrativen Beschreibung einer Produktkonzeption (der sogenannten Prinziplösung) sowie des zugehörigen Produktionssystems. Diese Arbeiten gehen aufgrund der integrativen Betrachtung über bisher beschriebene domänenspezifische oder auch -übergreifende Spezifikationstechniken hinaus.⁴⁸⁴ Abbildung 12 veranschaulicht die verschiedenen Partialmodelle zur domänenübergreifenden Beschreibung der Prinziplösung mechatronischer Systeme und der Produktionssysteme.

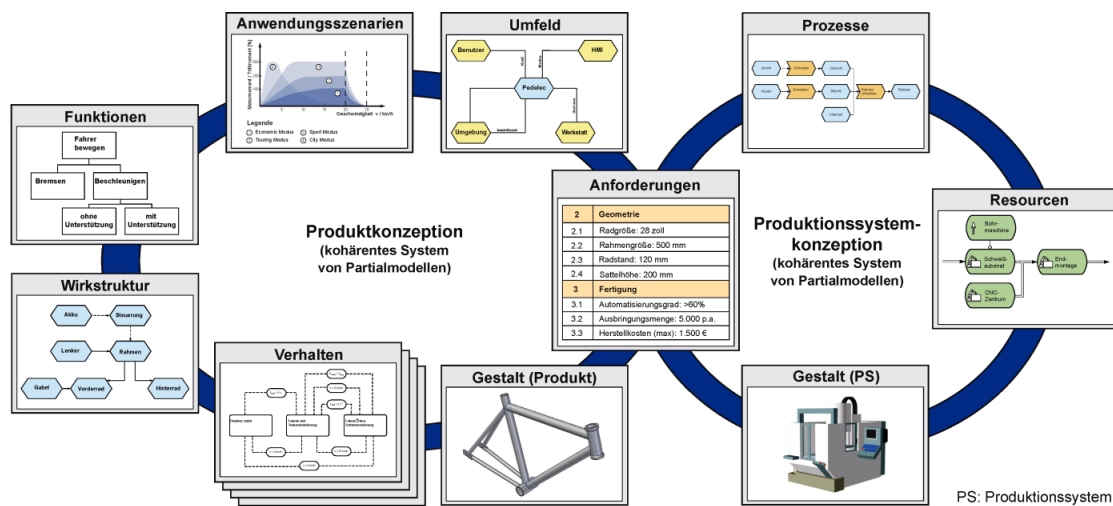


Abbildung 12: Partialmodelle zur domänenübergreifenden Beschreibung der Prinziplösung mechatronischer Systeme und der Produktionssysteme⁴⁸⁵

⁴⁸¹ vgl. Crisp 2007

⁴⁸² vgl. Zingel et al. 2012, S. 167

⁴⁸³ vgl. Friedrich 2011

⁴⁸⁴ vgl. Gausemeier et al. 2010

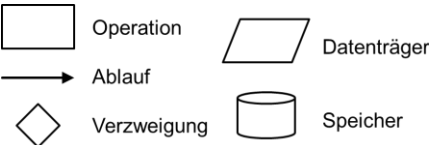
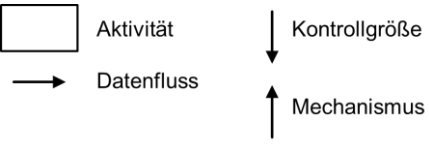
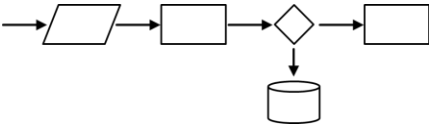
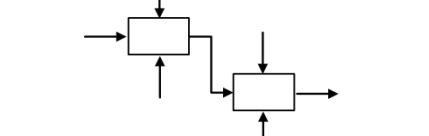
⁴⁸⁵ Gausemeier et al. 2012, S. 90

Unterschiedliche Sichten auf das zu entwickelnde System und ggf. des zugehörigen Produktionssystems sollen insbesondere deren Vernetzung aufzeigen und im Entwicklungsprozess zugänglich machen. Dies erfolgt mit Hilfe der Spezifikationstechnik CONSENS (Conceptual Design Specification Technique for the Engineering of Complex Systems), die im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 614 "Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus" entwickelt wurde.⁴⁸⁶ Jede Sicht wird dabei rechnerintern durch ein Partialmodell abgebildet, wobei die Arbeiten auf die Bereitstellung eines kohärenten Systems von Partialmodellen ausgerichtet sind.⁴⁸⁷ Damit soll die Lücke zwischen abstrakten Anforderungskatalogen (eine grobe Spezifikation des Gesamtsystems) und domänenspezifisch etablierten, z.T. sehr detaillierten Spezifikationstechniken geschlossen werden. Hierzu werden auch Ansätze zur Konsistenzerhaltung der Abhängigkeiten zwischen den Domänen mit einbezogen.⁴⁸⁸

2.5.1.4 Blockförmige Notationen zur Abbildung von Geschäftsprozessen

Die bisher genannten Beispiele sind Notationsformen bzw. Modellierungstechniken für technische Systeme. Für die Repräsentation von Geschäftsprozessen aus Sicht des Managements werden Zusammenhänge oft auf Basis blockförmiger Notationen dargestellt. Tabelle 4 veranschaulicht die in diesem Unterabschnitt besprochenen Notationsformen.

Tabelle 4: Symbolik und Beispiele blockförmiger Notationen

Darstellungsmethode	Ablaufdiagramm	SADT/IDEF
Elemente der Symbolik		
beispielhafte Darstellung		

Die am häufigsten angewendete Form der Prozessdarstellung ist das **Ablaufdiagramm**, das auch als Flussdiagramm, Flow Chart, oder Blockdiagramm bezeichnet wird.⁴⁸⁹ Seine Symbolik ist nach DIN 66001 genormt. Die unterschiedlichen Geometrien der Symbole bezeichnen bspw. Operationen (Tätigkeiten) und

⁴⁸⁶ vgl. Gausemeier et al. 2009c

⁴⁸⁷ vgl. Anacker et al. 2011

⁴⁸⁸ vgl. Gausemeier et al. 2009b

⁴⁸⁹ vgl. Krause 2001, S. 84 nach van Marwyk 1997, S. 57ff.

Unterprogramme, Ein- und Ausgaben oder Verzweigungsstellen (Entscheidungen). Diese Elemente werden durch Pfeile miteinander verbunden, um Prozessabläufe zu konfigurieren.⁴⁹⁰

Um über Abläufe hinaus auch Informationen bezüglich Datenflüssen oder Funktionen abbilden zu können, entstand im Bereich der Softwareentwicklung in den 1970er Jahren die **Structured Analysis and Design Technique (SADT)**. Ihr Basiselement ist ein Rechteck, das eine abstrakte Funktion repräsentiert. In Pfeilen, die Ein- oder Ausgänge der verschiedenen Seiten des Rechtecks sind, drückt sich die Semantik der SADT aus. Eingangsgrößen (engl.: „Input“) sind Pfeile von links. Sie werden durch die Funktion in Ausgangsgrößen (engl.: „Output“) transformiert – dargestellt als ausgehende Pfeile nach rechts. Für die Ausführung der Funktion werden sogenannte Mechanismen (engl.: „Mechanisms“) benötigt, z.B. Ressourcen. Sie werden als Pfeile von unten eingetragen, während weitere Einflüsse oder Störgrößen (engl.: „Control“) als Pfeile von oben dargestellt werden.⁴⁹¹

SADT bildet die Basis für die Funktionsmodellierung mit IDEF0⁴⁹². **IDEF** steht für „**Integrated Definition**“ und bezeichnet eine Familie von Modellierungsmethoden für unterschiedliche Zwecke, die Anfang der 1980er Jahre von einer Initiative zur Standardisierung bei der computerintegrierten Produktion („Integrated Computer-Aided Manufacturing“ ICAM) der US-amerikanischen Luftwaffe veröffentlicht wurden. Die Prozessmodellierung ist in IDEF3 beschrieben.⁴⁹³ Dabei handelt es sich um eine Methode zur Prozessflussbeschreibung auf der Basis von Szenarien. In diesen werden prozessrelevante Aspekte entweder aus Sicht des Gesamtprozesses oder aber aus Sicht einzelner Objekte betrachtet. Letztere erlaubt die Beschreibung konkreter Zustände. IDEF3 zielt damit darauf ab, Wissen über die Funktionsweise eines bestimmten Systems explizit festzuhalten.⁴⁹⁴ KUSIAK ET AL. beschrieben bspw. auf Basis von IDEF Entwicklungsaktivitäten in Reengineering Prozessen unter Einbeziehung prozessrelevanter Informationen und Ressourcen.⁴⁹⁵

2.5.1.5 OMEGA als anwendungsorientiertes Modellierungsbeispiel

In den 1990er Jahren wurden am Heinz Nixdorf Institut (HNI) in Paderborn Business Process Reengineering Projekte durchgeführt. Dort wurde die Erfahrung gemacht, dass komplexe Prozesse mit Techniken wie SADT nicht zufriedenstellend repräsentiert werden können. Es falle den Betroffenen oft schwer, „den dokumentier-

⁴⁹⁰ s. DIN 1983

⁴⁹¹ vgl. Ross 1977

⁴⁹² s. NIST 1993

⁴⁹³ s. Mayer et al. 1995

⁴⁹⁴ vgl. Griffith Friel und Blinn 1989

⁴⁹⁵ vgl. Kusiak et al. 1994

ten Prozess rasch zu erfassen, Schwachstellen zu erkennen und Vorschläge für Verbesserungen zu erarbeiten.“⁴⁹⁶ Daher wurde die **Prozessmodellierungsmethode OMEGA** (Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse) entwickelt.⁴⁹⁷ Sie zielt auf eine vollständige Modellierung von Ablauforganisationen ab. Insbesondere durch eine einfache und prägnante Visualisierung soll sie die Analyse und Planung von Leistungserstellungsprozessen unterstützen.⁴⁹⁸

In OMEGA werden Prozessschritte in einem logischen und zeitlichen Zusammenhang modelliert. Dafür umfasst die Modellierungsmethode folgende Elemente: Eine **Organisationseinheit** repräsentiert eine prozessdurchführende bzw. verantwortliche Stelle, respektive Abteilung. Ein **Geschäftsprozess** ist eine Folge logisch zusammenhängender Aktivitäten zur Erbringung eines Ergebnisses oder Veränderung eines Objekts (Transformation). Er besitzt einen definierten Anfang (Auslöser bzw. Input) und führt zu einem definierten Ende (Ergebnis bzw. Output). Geschäftsprozesse werden durch ein Substantiv und ein Verb benannt (z.B. „Anforderungsliste erstellen“). **Externe Objekte** repräsentieren sämtliche Objekte der Systemumwelt, wie z.B. Personen oder Firmen. **Technische Ressourcen** unterstützen die Ausführung der ihnen zugeordneten Geschäftsprozesse. Es handelt sich dabei bspw. um Materialspeicher, IT-Systeme, Papierspeicher und Betriebsmittel. **Bearbeitungsobjekte** stellen Ein- und Ausgangsgrößen eines Geschäftsprozesses dar. Sie werden im Verlauf eines Hauptgeschäftsprozesses weiter transformiert und erhalten durchgehend einen wertsteigernden Charakter. OMEGA unterscheidet fünf Bearbeitungsobjekte: Papierdokumente, Materialobjekte, IT-Objekte, mündliche Informationen sowie Informationsgruppen als Kombination mehrerer verschiedenartiger Bearbeitungsobjekte. Eine **Methode** stellt eine in der Literatur beschriebene bzw. in der Praxis bewährte Abfolge von Arbeitsschritten dar und kann einen Geschäftsprozess in seiner Durchführung unterstützen. Mit **Kennzahlen** werden Faktoren zur Messung der Leistungsfähigkeit eines Prozesses oder seiner Ergebnisse bestimmt (bspw. der Entwicklungskostenanteil pro Zeiteinheit). **Fähigkeiten** kennzeichnen notwendige Voraussetzungen zur erfolgreichen Durchführung von Prozessen. **Potenziale** repräsentieren Chancen, die ggf. in einem Ablauf vorhanden sind.⁴⁹⁹

In OMEGA wird ein generisches Vorgehensmodell auf Basis der VDI-Richtlinie 2206 zugrunde gelegt. Die Abbildung der Abfolge von Geschäftsprozessen wird darin horizontal in Meilensteine unterteilt. Vertikal wird sie in einer „Swimlane“-Darstellung

⁴⁹⁶ Gausemeier et al. 2006, S. 230

⁴⁹⁷ vgl. Fahrwinkel 1995

⁴⁹⁸ vgl. Gausemeier et al. 2012, S. 75ff. nach Gausemeier et al. 2009a

⁴⁹⁹ ebda. nach Gausemeier und Feldmann 2006 und Michels 2006

strukturiert. Diese Darstellungsform wird auch in der nachfolgend vorgestellten BPML verwendet. Zunächst werden jedoch Modellierungstechniken erläutert, die einen besonderen Fokus auf das dynamische Verhalten von Prozessen legen.

2.5.1.6 Abbildung und Simulation dynamischen Systemverhaltens

Ein Fokus auf das dynamische Verhalten allgemeiner Systeme wird in sogenannten **Petri-Netzen** gelegt. Diese Modellierungstechnik geht auf CARL ADAM PETRI zurück⁵⁰⁰ Sie umfasst Ereignisse und Bedingungen als aktive bzw. passive Modellelemente. Diese bilden Knoten, die wiederum durch Pfeile verbunden werden (vgl. Abbildung 13). Das Systemverhalten wird mit Hilfe von Transitionsregeln modelliert, in denen die Bedingungen für das Eintreten von Ereignissen festgehalten werden.⁵⁰¹ Erfüllte Bedingungen werden zu einem bestimmten Zeitpunkt durch eine Marke (engl.: „token“) gekennzeichnet. Wenn alle Marken einer Bedingung vorliegen, wird die entsprechende Transition aktiviert. Dabei können die Informationen entweder in einem einzelnen Diagramm dargestellt, oder im Fall komplexer Systeme auch stufenweise verfeinert werden. Vielfach führe diese Vorgehensweise laut KRAUSE jedoch zu unübersichtlichen und schwer zu interpretierenden Darstellungen.⁵⁰²

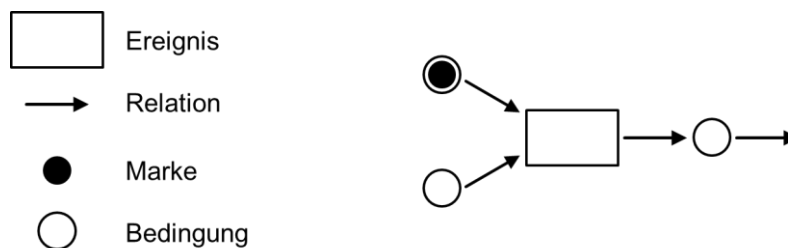


Abbildung 13: Symbolik und beispielhafte Darstellung für Petri-Netze

Eine parameterbasierte Modellierungstechnik, die die Übersichtlichkeit komplexer Systeme wahren soll, ist **Signposting**. Sie wurde am Engineering Design Centre (EDC) der University of Cambridge (UK) entwickelt. Darin wird davon ausgegangen, dass Prozesse aus Abfolgen einzelner Aktivitäten (engl.: „task“) bestehen. In diesen seien „key design and performance parameter“ als maßgebliche Eingangs- oder Ausgangsparameter zu identifizieren, zu bestimmen und iterativ zu verfeinern – so lange, bis diese in ausreichender Art und Weise vorlägen. Dabei bestimmt das sogenannte „confidence level“ dieser Parameter den Startzeitpunkt der jeweils als nächstes auszuführenden Aktivität. Für eine übersichtliche Handhabung umfasse ein Signposting-Modell vier getrennte Ebenen: die Parameterebene zur eigentlichen Systembeschreibung, die „task“-Ebene zur Definition der verfügbaren Aktivitäten, die

⁵⁰⁰ vgl. Petri und Reisig 2008

⁵⁰¹ vgl. Reisig 1991

⁵⁰² vgl. Krause 2001, S. 85

Prozessebene zur Organisation derselben und eine Schnittstelle, über die ein Modellnutzer Zugriff auf die Aktivitäten hat.⁵⁰³ Letztere kann durch eine geeignete Umsetzung in einem Software-Werkzeug eine intuitive Modellhandhabung ermöglichen. Das Programm „Cambridge Advanced Modeller (CAM)“ wird hierfür in den folgenden Ausführungen vorgestellt. Abbildung 14 zeigt ein generisches Anwendungsbeispiel von Signposting in CAM.

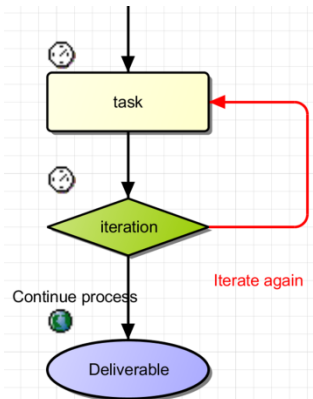


Abbildung 14: Anwendungsbeispiel von Signposting in CAM

Die parameterbasierte Modellierungstechnik ermögliche nach WYNN ET AL. die Vorgabe eines Zeitplans, der neben Zeitangaben (z.B. Dauer) auch Risiken und Unsicherheiten bezüglich Fertigstellung oder Inhalt der Ergebnisse von Aktivitäten umfasse. Auf Basis dessen ließen sich Simulationsalgorithmen anwenden, um bspw. die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Prozessplanung abzuschätzen. Durch Variation einzelner Parameter könne darüber hinaus eine Optimierung von Prozessverläufen erfolgen.⁵⁰⁴

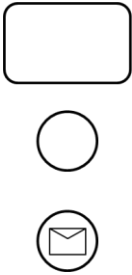
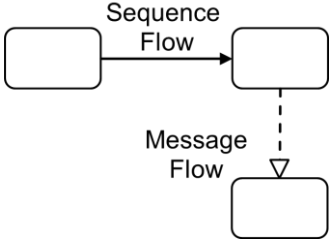
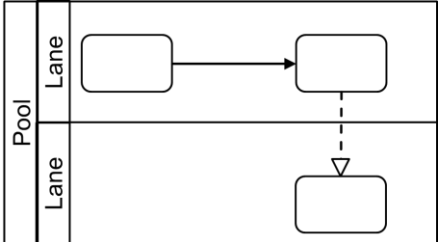
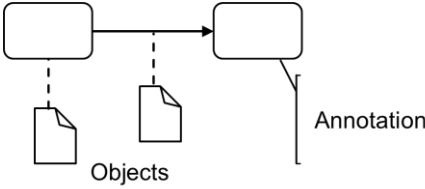
2.5.1.7 Implementierung von Geschäftsprozessen

Auf eine rechnerbasierte Optimierung von Geschäftsprozessen und insbesondere auf ein automatisiertes Workflow-Management sind auch Modellierungssprachen wie die **Business Process Modeling Language (BPML)** ausgerichtet. Die BPML baut auf der eingangs beschriebenen XML auf und stellt damit ein plattformunabhängiges Datenformat zur Prozessbeschreibung aus betriebswirtschaftlicher Sicht dar. Zur Darstellung von Geschäftsprozessen wird die grafische Notation der Business Process Modeling Notation (BPMN) genutzt. Diese gliedert sich in vier Arten grafischer Elemente, die in Tabelle 5 erläutert werden.

⁵⁰³ vgl. Clarkson und Hamilton 2000, S. 23f.

⁵⁰⁴ vgl. Wynn et al. 2006

Tabelle 5 Erläuterung der Symbolelemente der BPMN⁵⁰⁵

Elemente der Symbolik	Erläuterung
 <p>Task Start-Event Message-Event</p>	<p>„Flow Objects“ stellen die Knoten in BPMN-Diagrammen dar. Es kann sich dabei um Aktivitäten, Gateways (Entscheidungspunkte) oder Events (Ereignisse) handeln. Letztere stellen bspw. Start- und Endknoten dar, oder auch sogenannte Timer-, Message-, oder Exception-Knoten, die jeweils spezielle Funktionen haben.</p>
	<p>Bei „Connecting Objects“ handelt es sich entweder um Sequence Flows (Pfeile, die die „Flow Objects“ miteinander verknüpfen) oder um Message Flows. Letztere kennzeichnen eine temporäre Verbindung zwischen Elementen einzelner „Pools“ oder „Swimlanes“.</p>
	<p>Bei „Pools“ und „Swimlanes“ handelt es sich um grafische Elemente, die Aktivitäten einzelner Prozessbeteiligter zusammenfassen.</p>
	<p>„Artifacts“ sind Gruppierungen, Kommentare oder Symbole, die einzelne Objekte (z.B. Dokumente) repräsentieren.</p>

Speziell für die Anwendung in Webservices, also für die Geschäftsprozessgestaltung durch einen netzwerkbasierten Datenaustausch, wurde die Business Process Execution Language (BPEL) entwickelt. Sie basiert ebenfalls auf XML. Eine weitere XML-basierte Sprache, die im Gegensatz zu BPEL stärker graphenorientiert ist, nennt sich XML Process Definition Language (XPDL). Aufgrund der Konkurrenzsituation dieser Sprachen schloss sich die Business Process Management Initiative (BPMI) 2005 mit der OMG zusammen, um die BPMN weiterzuentwickeln. Dies führte zu dem Standard „OMG Model Driven Architecture (MDA)“. Die Entwickler haben damit den Anspruch, verschiedenste Einsatzgebiete wie ERP – Enterprise Resource Planning, Luftfahrtkontrolle oder auch Genforschung zu adressieren und

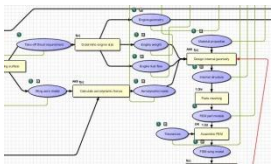
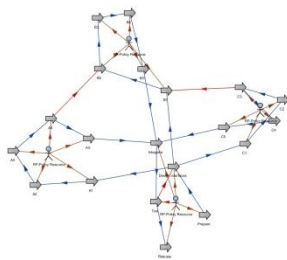
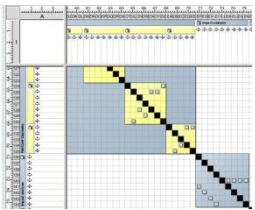
⁵⁰⁵ vgl. Großkopf et al. 2009

deren jeweilige Standards zu umfassen. MDA adressiere dabei den kompletten Lebenszyklus von Entwicklung, Einführung und Integration bis hin zum Management verschiedener Anwendungen mit seinem offenen Austauschformat.⁵⁰⁶

2.5.1.8 Graphentheorie, Netzplantechnik und Matrixdarstellungen

Am Beispiel der anspruchsvollen Initiative MDA zeigen sich die z.T. hohen Erwartungen, die mit der Prozessmodellierung einhergehen. Deren Realisierung muss jedoch auf Basis fundamentaler Grundlagen erfolgen. Während sich einige der bisher betrachteten Arbeiten mit informationstechnischen Herausforderungen wie der plattformunabhängigen Bereitstellung von Daten befasst haben, werden im Folgenden die algorithmischen Grundlagen der Nutzung modellierter Daten besprochen. Viele der mathematischen Methoden hierfür haben ihren Ursprung in der Graphentheorie. Darin wird der Fokus auf die Elemente eines Modells (Knoten) und deren Beziehungen untereinander (Kanten) gelegt.⁵⁰⁷ Tabelle 6 zeigt Beispiele graphenbasierter Notationsformen.

Tabelle 6: Darstellungsformen graphenbasierter Notationen⁵⁰⁸

Form der Darstellung	Netzplandiagramm	kraftgerichteter Graph	Matrix (DSM)
Beispiel			

Mit den zuvor beschriebenen Modellierungstechniken werden einfache **Diagramme** erzeugt, in denen Blöcke durch Pfeile in einem uneingeschränkten Layout (also in freier Anordnung) verbunden werden. So genannte kraftgerichtete Layouts oder „force-directed graphs“ nutzen darüber hinaus Informationen der Kanten, um die Knoten anzuordnen. Eine Gewichtung der Kanten kann dabei bspw. proportional zu einer Kraft oder zu einer Informationsdichte sein und bestimmt die Distanz zwischen verbundenen Elementen. Eine solche Repräsentation kann sehr intuitiv von Nutzern interpretierbar sein – insbesondere bei stark untereinander vernetzten Strukturen.⁵⁰⁹

⁵⁰⁶ OMG 2013

⁵⁰⁷ vgl. Gross und Yellen 2006

⁵⁰⁸ EDC 2013

⁵⁰⁹ vgl. Di Battista et al. 1999

Eine weitere Anwendung von Graphen ist die sogenannte Critical Path Method (CPM). Sie findet bspw. Anwendung in der **Netzplantechnik**, in der die zeitliche Verkettung von Aktivitäten eines Projekts abgebildet wird.⁵¹⁰ Auf Basis der modellierten Dauer einzelner Vorgänge lassen sich durch eine „Vorwärtsterminierung“ ausgehend vom geplanten frühesten Startzeitpunkt eines Projekts nacheinander die frühesten Anfangs- und Endzeitpunkte aller Vorgänge bestimmen. Eine „Rückwärtsterminierung“ ergibt analog die spätesten Anfangs- und Endzeitpunkte der einzelnen Vorgänge. Beide Fälle unterliegen jedoch Vorbehalten durch Unsicherheiten, was durch die Berücksichtigung von Pufferzeiten abgemildert werden soll. Eine Abwandlung der CPM ist die Program Evaluation and Review Technique (PERT). Bei ihr wird statt der häufigsten Dauer die erwartete mittlere Dauer von Vorgängen als Basis für die Berechnung herangezogen – die sogenannte stochastische Vorgangsdauer. Da in PERT keine zyklischen Abhängigkeiten abgebildet werden können, eignet sie sich nicht für die Abbildung iterativer Prozesse.⁵¹¹ Die Graphical Evaluation and Review Technique (GERT) wiederum legt stochastische Ablaufstrukturen mit bedingten Ausführungswahrscheinlichkeiten für einzelne Projektvorgänge zugrunde. Sie erfasst auch Feedback-Zyklen. Durch sie können bspw. mit Hilfe von Monte Carlo Simulationen⁵¹² Aussagen über die Projektdauer getroffen werden.⁵¹³

Die Inhalte eines Graphen können ohne Informationsverlust auch in Form einer **Matrix** dargestellt werden.⁵¹⁴ SHARMANN und YASSINE beschreiben einen Vergleich beider Modellierungstechniken anhand verschiedener Einsatzfälle.⁵¹⁵ Die Darstellung von vernetzten Informationen in Matrizen geht auf die Arbeiten von STEWARD aus den 1960er Jahren zurück.⁵¹⁶ Grundsätzlich eignet sich diese Technik für die Repräsentation beliebiger Abhängigkeiten und wird für technische Systeme (z.B. zur Darstellung physikalischer Schnittstellen von Komponenten eines Produkts) oder aber auch bspw. für die Abbildung und Analyse von Kommunikations- und Entscheidungswegen in Unternehmensstrukturen eingesetzt.⁵¹⁷

Intra-Domain-Matrizen oder Design-Structure-Matrizen (DSM) zeigen Abhängigkeiten von Elementen eines gleichen Typs. Inter-Domain-Matrizen oder Domain-Mapping-

⁵¹⁰ vgl. Danilovic und Sandkull 2002

⁵¹¹ vgl. Wynn et al. 2006, S. 2

⁵¹² Monte Carlo Simulation – ein stochastisches Verfahren zur numerischen Lösung wahrscheinlichkeitstheoretischer Probleme auf Basis von sehr häufig durchgeführten Zufallsexperimenten.

⁵¹³ vgl. Zimmermann et al. 2006

⁵¹⁴ vgl. Maurer 2007, S. 52

⁵¹⁵ vgl. Sharman und Yassine 2004

⁵¹⁶ vgl. Steward 1962 und Steward 1981

⁵¹⁷ vgl. Lindemann et al. 2009

Matrizen (DMM) verbinden Elemente unterschiedlichen Typs miteinander. Eine Kombinierte Intra-Inter-Domain-Matrix kombiniert, wie der Name sagt, verschiedene Bereiche miteinander. Sowohl zwischen Elementen identischen Typs als auch zwischen Elementen verschiedener Domänen können Verbindungen modelliert werden. Ein Beispiel hierfür ist das sogenannte „House of Quality“ des Quality Function Deployment⁵¹⁸, das als „Dach“ eine Intra-Domain-Matrix in Form einer DSM bezüglich technischer Anforderungen ausbildet, während es weitere DMMs beinhaltet (z.B. Kundenanforderungen und technische Anforderungen). Multiple-Domain-Matrizen (MDMs) kombinieren schließlich mehrere DMMs oder DSMs zu einer gemeinsamen MDM, wobei die Abhängigkeiten der zugrunde liegenden Matrizen über Berechnungsvorschriften in die gemeinsame Matrix einfließen.⁵¹⁹

Graphentheoretische Netzwerke wie die oben genannten Matrizen erlauben umfassende Möglichkeiten der algorithmischen, also nach mathematischen Gesetzen automatisierbaren, Strukturanalyse.⁵²⁰ Dazu gehören unter anderem die Bestimmung von Aktiv- und Passivsumme, um Aussagen über Einflüsse einzelner Systemelemente zu treffen. Interessant für die vorliegende Arbeit sind weiterhin die Bestimmung von Pfadlängen und Nachbarschaftsbeziehungen in Netzwerken sowie insbesondere die Möglichkeiten zur Berechnung indirekter Abhängigkeiten durch Matrixmultiplikationen.

2.5.1.9 Ontologien und semantische Technologien

Für die Berechnung indirekter Abhängigkeiten wird in den gerade beschriebenen Algorithmen die jeweilige Matrix mit ihrer Inversen multipliziert. Mit Hilfe semantischer Technologien lassen sich deutlich fortgeschrittenere Analysen von Zusammenhängen bestimmen. Hierfür werden in einem Rechner Regeln definiert, die eine *Interpretation* von Informationen in einem bestimmten Kontext erlauben. Semantische Technologien finden z.B. in sogenannten **Ontologien** Anwendung. Der Begriff „Ontologie“ stammt aus dem Feld der Philosophie und beschreibt „die Theorie der Existenz als eine Ganzheit“.⁵²¹ USCHOLD und GRUNINGER beschreiben eine Ontologie als eine explizite Repräsentation eines geteilten Verständnisses innerhalb einer Domäne, das die Kommunikation zwischen Personen, Organisationen oder Softwaresystemen verbessern kann.⁵²² Hierzu umfasse eine Ontologie die im jeweiligen Kontext identifizierten und für relevant befundenen „Konzepte“ und

⁵¹⁸ vgl. Mizuno und Akao 1993

⁵¹⁹ Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit) nach Lindemann et al. 2009, S. 49ff.

⁵²⁰ Lindemann et al. 2009, S. 126ff.

⁵²¹ Albers et al 2012d, S. 2

⁵²² vgl. Uschold und Gruninger 1996

konzeptionelle Relationen zur Beschreibung eines abgegrenzten Sachverhalts auf Basis der Prädikatenlogik.⁵²³

Gängige Ontologiesprachen basieren auf dem Rahmenwerk RDF (engl.: „resource description framework“). Darin werden binäre Relationen zwischen sogenannten Ressourcen beschrieben. Die Sprache F-Logic (Frame Logic) für eine formale Repräsentation von Wissen umfasst bspw. folgende Ressourcen: **Konzepte** sind Klassen von Objekten mit gleichen Eigenschaften. Sie werden hierarchisch angeordnet. **Attribute** sind relevante Informationen für die weitere Spezifizierung einzelner Konzepte. **Relationen** beschreiben die Beziehung zwischen zwei Konzepten. **Instanzen** schließlich sind die eigentlichen Objekte, die durch Zuweisung konkreter Attributwerte und Beziehungen aus den Konzepten abgeleitet werden. Attribute und Beziehungen werden innerhalb einzelner Klassen vererbt. Abbildung 15 zeigt ein Beispiel der Elemente und deren Abhängigkeiten in einer Ontologie.

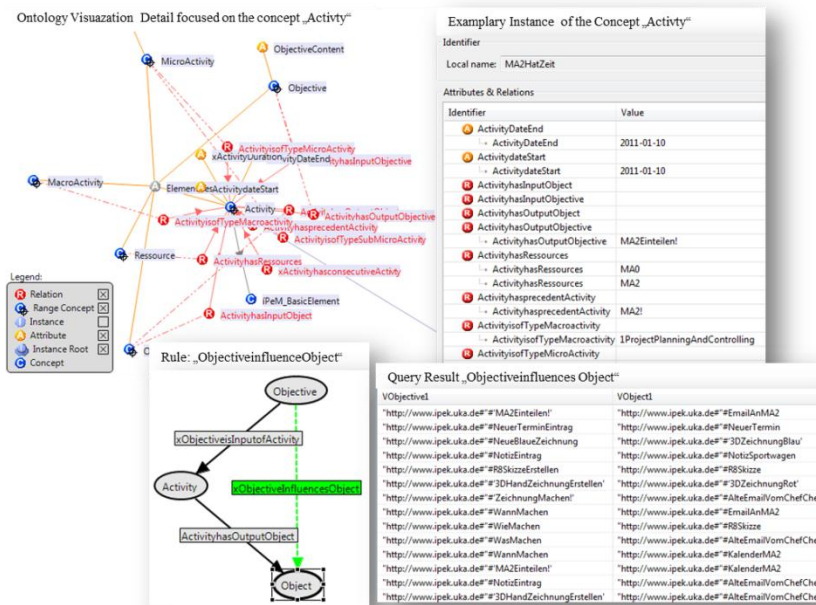


Abbildung 15: Beispiel einer Ontologie⁵²⁴

Sprachen wie F-Logic ermöglichen über die Darstellung einzelner Elemente und ihrer Beziehungen hinaus die Definition von semantischen Regeln über Zusammenhänge. So kann bspw. für das ZHO-Modell festgelegt werden, dass die Transformation eines Ziels in ein Objekt die Aussage erlaubt, dass das ausführende Element des

⁵²³ Ein „Prädikat“ bezeichnet in der modernen Logik eine atomare Aussage über eine Eigenschaft von einem Gegenstand.

⁵²⁴ vgl. Albers et al. 2012d – dargestellt ist eine Ontologie des iPeM mit Beispielen für eine Regel und ein query

Handlungssysteme zuständig für das betreffende Ziel ist. Dies erscheint für Beteiligte im Kontext der Produktentwicklung zunächst trivial; jedoch ergeben sich aus der Möglichkeit, dass diese Logik von Maschinen „verstanden“ werden kann, interessante Möglichkeiten des „Data Mining“. Dabei wird darauf abgezielt, große Datenmengen nach bestimmten Informationsinhalten mit Hilfe von Rechnern zu durchsuchen. Diese Analyse von Ontologiemodellen kann durch sogenannte „queries“ erfolgen. Auch für deren Definition stellt bspw. F-Logic Beschreibungsmittel bereit.⁵²⁵ Aufgrund dieser Vorteile wurden einige ontologiebasierte Ansätze in der Produktentstehung vorangetrieben. Eine umfangreiche Analyse und Zusammenstellung beschreibt KITAMURA. Diese umfasst bspw. eine Ontologie von Entwicklungsaktivitäten von SIM und DUFFY, die „ontology for functional knowledge“ von KITAMURA und MITZOGUCHI und die „Merged Ontology for Engineering Design“ von AHMED und ŠTORGA.⁵²⁶ Obgleich der theoretischen Vorteile, fanden Ontologien bis heute jedoch noch keinen breiten Einzug in die Produktentstehung.

2.5.2 Werkzeuge für die Modellierung

Die Umsetzung der Modellierungsansätze in der Praxis erfolgt durch Werkzeuge, mit Hilfe derer die zuvor beschriebenen Sprachen implementiert werden. Dadurch können entsprechend der Modellierungsregeln und (grafischen) Notationen die jeweiligen Aspekte der Produktentstehung repräsentiert werden. Aufgrund der Menge an kommerziell oder frei verfügbaren Werkzeugen wird im Folgenden ein Überblick in zwei Kategorien dargestellt. Zunächst werden **unspezifische Werkzeuge** betrachtet. Diese sind nicht für ein bestimmtes Anwendungsgebiet eingegrenzt und finden daher eine sehr große Verbreitung in der Produktentstehungspraxis.

In einer weiteren Betrachtung werden **spezifische Werkzeuge** zusammengestellt. Diese adressieren ausgewählte Aspekte der Produktentstehung und werden daher nur von Personengruppen verwendet, die vergleichbare Ziele bzw. Funktionen in einem Unternehmen erfüllen. Der Fokus im Rahmen der vorliegenden Dissertation liegt dabei auf einer Klassifizierung entsprechend der verschiedenen Einsatzgebiete. Anhand ausgewählter Beispiele werden typische Werkzeuge aufgeführt, deren Hintergründe bzw. technologische Grundlagen von Relevanz für die vorliegende Arbeit sind. Dabei wird einer Übersicht aktueller Forschungsarbeiten Vorzug vor einer erschöpfenden Katalogisierung gegeben, um dem begrenzten Umfang der Dissertation Rechnung zu tragen.

⁵²⁵ Albers et al 2012d, S. 2

⁵²⁶ vgl. Kitamura 2006, Sim und Duffy 2003, Kitamura und Mitzoguchi 2004 und Ahmed und Storga 2009

2.5.2.1 Unspezifische Werkzeuge

Die in diesem Unterabschnitt betrachteten unspezifischen Werkzeuge sind im Allgemeinen verbreitet in der Praxis der Produktentstehung verfügbar. Sie können in analoge und digitale Mittel unterschieden werden.

Analoge Mittel, die verbreitet in der Modellierung unterschiedlichster Aspekte der Produktentstehung verwendet werden, dienen i.d.R. dazu, Gedanken und Ideen mitzuteilen. Im jeweiligen Kontext der Repräsentation von Informationen wird dadurch Wissen verfügbar gemacht, bzw. gemeinsam diskutiert und erweitert. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um Stift und Papier, mit Hilfe derer Inhalte explizit festgehalten werden können. Dadurch kann das Arbeitsgedächtnis individueller Personen oder Kleingruppen von Prozessbeteiligten entlastet werden, um Freiräume für Kreativität, diskursive Lösungssuche etc. zu schaffen.⁵²⁷ Auf demselben Prinzip beruht die Anwendung von Flipcharts oder Brown Paper – auf Stellwände aufgezugene Papierbögen, die auch von größeren Gruppen eingesehen werden können. Verfeinerte Techniken der analogen Informationsrepräsentation sind bspw. Metaplankärtchen. Diese haben den Vorteil, dass notierte Informationseinheiten (sogenannte „chunks“⁵²⁸) im Verlauf einer Besprechung umarrangiert werden können. Selbiges gilt für abwischbare Wände – sogenannte Whiteboards – die z.B. im Rahmen der in Abschnitt 6.2.2 vorgestellten Studie verwendet wurden.

Einfache **digitale Mittel** finden ebenfalls eine breite Verwendung, um Informationen zu teilen bzw. mitzuteilen. Dabei handelt es sich bspw. um rechnerbasierte Texteditoren oder Softwareprogramme zur Erzeugung von Mind Maps, Ontologien oder anderen Repräsentationsformen. Sie bieten im Gegensatz zu analogen Mitteln erweiterte Möglichkeiten der Archivierung, was die Verfügbarkeit und Wiederauffindbarkeit der explizit gemachten Informationen erhöhen kann. Jedoch sind sie oft auch mit höheren Aufwendungen für die Pflege einer geeigneten Infrastruktur oder Lizenzgebühren verbunden. In Deutschland ist die Software Suite Microsoft (MS) Office mit einem Marktanteil von 72 % das am weitesten verbreitete Werkzeug für die digitale Datenverarbeitung.⁵²⁹ Dieses Softwarepaket umfasst u.a. die Produkte MS Word zur Erstellung von Textdokumenten und MS Excel für die Tabellenkalkulation. Sie finden z.T. in den Studien in Abschnitt 5.2 und Kapitel 6 Verwendung.

Der Austausch der mit solchen Werkzeugen erzeugten Dateien finde einer aktuellen Umfrage von KRASTEL zufolge zu 90 % in Form von E-Mails statt. Dabei seien in den meisten Fällen hierfür keine Regeln definiert oder bei den befragten Unternehmens-

⁵²⁷ vgl. Dörner 1979

⁵²⁸ ebda.

⁵²⁹ webmasterpro 2010

mitarbeitern bekannt, die besagen würden *was, wie und in welcher Form* auszutauschen sei.⁵³⁰ Technische Möglichkeiten zur Gestaltung der digitalen Zusammenarbeit bieten Ansätze des Computer Supported Cooperative Work (CSCW). Darin werden unterschiedliche informationstechnische Arbeitsmittel herangezogen, um kooperative Arbeits-, Kommunikations- und Lernprozesse wirkungsvoll zu unterstützen. Sie zielen insbesondere auf Prozesse des Teilens von Wissen, des kooperativen Generierens neuen Wissens und des organisationalen Lernens ab.⁵³¹ CSCW-Ansätze beruhen auf theoretischen Konzepten, wie kooperative Prozesse bzw. Teamarbeiten strukturiert sind, und welche Anforderungen diese an die beteiligten Personen stellen. Dabei werden teilweise auch arbeitspsychologische Konzepte und Theorien der Gruppenarbeit⁵³², Theorien der kollektiven Handlungsregulation⁵³³ oder der Distributed Cognition⁵³⁴ herangezogen. Unter dem Begriff „Enterprise 2.0“ wird die Nutzung von Social Software und „Web 2.0“-Anwendungen propagiert. Dabei handelt es sich um eine interaktive Nutzung von Webinhalten durch die Anwender, die dadurch z.B. die Möglichkeit haben, die Relevanz oder Nützlichkeit eines Informationsinhalts zu bewerten. SAUTER sieht in diesen Mitteln Chancen, Produktentstehungsprozesse zukünftig effektiv und effizient zu gestalten.⁵³⁵

MS SharePoint Server ist eine Weboberfläche, mit der Web 2.0-Funktionalitäten für das CSCW bereitgestellt werden können. Neben dem Dokumentenmanagement von MS Office-Produkten wie Word und Excel können dort auch sogenannte Wikis eingerichtet werden. Dabei handelt es sich um Webseiten, die von Nutzern einfach editiert werden können – bspw. um Informationen zentral abzulegen.⁵³⁶ Ferner bietet MS SharePoint die Möglichkeit, Workflows für Geschäftsprozesse zu definieren.⁵³⁷ Workflowmanagementsysteme (WFMS) dienen der automatischen Vorgangsbearbeitung und sorgen für die automatisierte Weiterleitung von Aufgaben etc. in Form elektronischer Vorgangsmappen.⁵³⁸ Dies erfordere nach LEHMANN eine exakte Beschreibung des Prozesses, weshalb sie nur für gut strukturierbare Geschäftsprozesse geeignet seien.⁵³⁹ In der Produktentwicklung liegen die Hauptaufgaben von Workflowmanagementsystemen im Bereich des Änderungs- (Engineering Change)

⁵³⁰ vgl. Krastel 2013

⁵³¹ vgl. Ehrhardt 2011

⁵³² vgl. Neale et al. 2004

⁵³³ vgl. Clases und Wehner 2002

⁵³⁴ vgl. Hutchins 1995

⁵³⁵ vgl. Sauter 2012

⁵³⁶ ebda. S. 67

⁵³⁷ Microsoft 2013

⁵³⁸ vgl. Allweyer 2005, S. 30f.

⁵³⁹ vgl. Lehmann 2008, S. 14f. und Roelofsen 2011, S. 56

und Freigabemanagements.⁵⁴⁰ Sie finden ihren Einsatz meist als Bestandteil von PDM bzw. PLM-Systemen.⁵⁴¹ Diese werden u.a. im folgenden Unterabschnitt betrachtet.

2.5.2.2 Spezifische Werkzeuge

In diesem Unterabschnitt werden Werkzeuge betrachtet, die jeweils spezifisch für die Modellierung von Informationen bestimmter Aspekte der Produktentstehung entworfen wurden. Der Logik des ZHO-Modells folgend, werden zunächst exemplarische Werkzeuge vorgestellt, die Produktentstehungsprozesse aus Sicht der Ziele bzw. Anforderungen auffassen. Daraufhin werden Werkzeuge zur Planung und Überwachung des Handlungssystems betrachtet. Aus Sicht des Objektsystems werden verschiedene Werkzeuge und Systeme vorgestellt, die ein lebenszyklusweites Management von Dokumenten und Dateien im Rahmen der Produktentstehung unterstützen. In einer abschließenden Betrachtung jüngerer Forschungsarbeiten werden darüber hinaus rechnerbasierte Werkzeuge zur Unterstützung der Produktentstehung mit teilweise prototypischem Charakter umrissen.

Zunächst werden werkzeugtechnische Unterstützungsmittel für die Modellierung von Zielen bzw. Zielsystemen betrachtet. Während unspezifische Werkzeuge wie Mind Mapping Tools eher pragmatische Anwendungen darstellen⁵⁴², finden sich in der industriellen Praxis teilweise sehr umfangreiche Lösungen. Für die Abbildung von **Projektzielen** existieren freie und kommerzielle Werkzeuge für das Projektmanagement.⁵⁴³ Zeitliche und inhaltliche Vorgaben können damit bspw. in Form von Gantt-Diagrammen nach dem Stage-Gate-Ansatz (vgl. Abschnitt 2.4.4.1) modelliert werden. Ein verbreitetes Softwareprodukt hierfür ist MS Project. Solche Zeitpläne können durch Kosten- oder Qualitätspläne ergänzt werden, die u.a. in Datenbanken hinterlegt werden können. Diese Technologie findet auch für die Bereitstellung **technischer Anforderungen** Verwendung. Beispiele für datenbankbasierte Werkzeuge sind die mehrbenutzerfähige Software DOORS, die Software REQTIFY für die Anforderungsüberwachung oder CORE – eine Software, die Anforderungen auf eine Produktarchitektur bezieht. Während sich DOORS z.B. durch eine einfach zu bedienende Nutzeroberfläche auszeichnet, ermöglicht CORE auch Simulationen.⁵⁴⁴ Dieses Ziel wird auch mit Anforderungsdiagrammen auf Basis der SysML verfolgt, für die Werkzeuge wie bspw. Artisan Studio angeboten werden.⁵⁴⁵ Nur

⁵⁴⁰ vgl. Pfeifer-Silberbach 2005, S. 38

⁵⁴¹ vgl. Gausemeier et al. 2006, S. 244

⁵⁴² vgl. Klingler 2011 (Abschlussarbeit)

⁵⁴³ vgl. Burghardt 2008

⁵⁴⁴ vgl. Auriol et al. 2008

⁵⁴⁵ vgl. Albers und Zingel 2011

wenige Werkzeuge wie z.B. CORAMOD (checklist-oriented model-based requirements analysis approach) berücksichtigen auch explizit die Nachverfolgung von Anforderungen.⁵⁴⁶ Letzteres zielt aber im Kern auf die Softwareentwicklung ab.⁵⁴⁷

Projektmanagementwerkzeuge finden auch aus Sicht des **Handlungssystems** Verwendung und repräsentieren hier neben dem Soll- auch den Ist-Zustand konkreter Projekte. Beispiele für kommerzielle Werkzeuge für die Modellierung von Geschäftsprozessen sind ARIS⁵⁴⁸ oder ProNavigator⁵⁴⁹. Ein Softwareprodukt, das im Speziellen Entwicklungsprozesse adressiert, ist ADePT PlanWeaver⁵⁵⁰. Es verwendet DSM Matrizen zur Repräsentation und Handhabung von vernetzten Informationen. WYNN ET AL. kritisieren die abstrakte Perspektive der bisher genannten Werkzeuge. Sie adressierten die übergeordnete Organisation von Aktivitäten des Managements oder von Reengineering Prozessen. Informationen würden dabei oft als Erfordernis (engl.: „deliverable“⁵⁵¹) aufgefasst, wobei deren Rolle als Komplexitätstreiber vernachlässigt werde. Die Autoren schlagen für eine detailliertere Repräsentation von Informationsflüssen und dynamischen Prozessen das Werkzeug „Cambridge Advanced Modeller (CAM)“ vor.⁵⁵² Dabei handelt es sich um einen graphenbasierten Metamodelleditor. Eine ausführliche Beschreibung folgt im Rahmen der Studie in Abschnitt 6.4. Ein kommerzielles Produkt, das Prozesse ebenfalls detailliert auf Basis von Netzwerkgraphen bzw. Matrizen erfasst, ist die in der Studie in Abschnitt 6.5 verwendete Software LOOME. Für die detaillierte Visualisierung von Prozessen auf der operativen Ebene wurde das interaktive Werkzeug DeePView entwickelt. Es erlaubt ein „Zoomen“ in den Prozess und hilft Prozessbeteiligten dadurch insbesondere, einen Überblick in komplexen Entwicklungsvorhaben zu behalten.⁵⁵³

Werkzeuge für die Beschreibung von Artefakten in Produktentstehungsprozessen sind in der industriellen Praxis am weitesten verbreitet – sie adressieren das **Objektsystem**. Neben Dokumenten, die bspw. mit den zuvor beschriebenen Editoren der MS Office Suite erstellt werden, handelt es sich dabei meist um rechnerinterne Repräsentationen von Produktdaten. Sogenannte CAD-Systeme (Computer Aided Design) umfassen geometrische Daten und – in begrenztem

⁵⁴⁶ vgl. Carrillo des Gea et al. 2011

⁵⁴⁷ vgl. Brace und Ekman 2012

⁵⁴⁸ vgl. Scheer 2000

⁵⁴⁹ vgl. Freisleben und Vajna 2002

⁵⁵⁰ vgl. Austin et al. 2000

⁵⁵¹ s.a. Browning et al. 2006

⁵⁵² vgl. Wynn et al. 2006

⁵⁵³ vgl. Kahl et al. 2010

Umfang – darüber hinausgehende Informationen, die Aussagen über Funktion und Verhalten technischer Systeme erlauben.⁵⁵⁴ Eine durchgängige rechnerbasierte Unterstützung von Produktentstehungsprozessen erfordert ein Produktdatenmanagement (PDM).⁵⁵⁵ Dieses umfasst im Allgemeinen die Verwaltung, Organisation und Steuerung von manuell oder rechnergestützt erzeugten Daten und Informationen. Die Betrachtung aller Phasen eines Produktlebenszyklus wird im Produkt-Lifecycle-Management (PLM) realisiert. Dessen Zielsetzung ist die Schaffung einer durchgängigen Prozesskette zur flexiblen Vorgangssteuerung in der Produktentstehung, damit die benötigten Informationen zur richtigen Zeit, am richtigen Ort, in der richtigen Qualität und für die richtige Person bereitgestellt werden können.⁵⁵⁶ Klassisches PDM/PLM basiert auf Benutzerrollen und erfolgt in der industriellen Praxis durch Werkzeuge wie z.B. SAP, Siemens PLM Teamcenter oder PTC Windchill PDMLink.⁵⁵⁷

In den letzten Jahren nimmt die Bedeutung serviceorientierter Architekturen (SOA) als Architekturgestaltungsparadigma für Planungsumgebungen zu.⁵⁵⁸ Das im BMBF-Verbundprojekt MIKADO (Mechatronik-Kooperationsplattform für anforderungsgesteuerte Prüfung und Diagnose) entwickelte bspw. das Konzept einer Mechatronik-Kooperationsplattform auf dem Paradigma einer SOA. Es soll CAD-Werkzeuge der mechanischen und elektronischen Entwicklung so miteinander koppeln, dass Informationsinhalte der mechatronischen Produktentwicklung effizient bereitgestellt werden können.⁵⁵⁹ Im BMBF-Verbundprojekt ISYPROM wurde aufbauend auf MIKADO eine Kopplung des Innovations- und Wissensmanagement-Tools KM Accelerator mit dem PLM-System Teamcenter umgesetzt.⁵⁶⁰ Die mechatronische Integrationsplattform (mIP) ist ein Ansatz für die Durchführung von multidisziplinären Entwicklungsprozessen. Er adressiert z.B. die interdisziplinäre Versions-Freigabe oder das Konfigurationsmanagement. Ihr Kern ist eine prozessgesteuerte Integration disziplinspezifischer PLM-Anwendungen. Diese beruht auf der Beschreibung von ausgewählten Aufgabenstellungen der mechatronischen Produktentwicklung (z.B. Ermittlung des Freigabestatus aller technischen Komponenten eines Systems) mit Geschäftsprozessen, die in BPEL (Business Process Execution Language) abgebildet werden.⁵⁶¹

⁵⁵⁴ vgl. Horváth und Rudas 2004

⁵⁵⁵ vgl. Gausemeier et al. 2006, S. 224f.

⁵⁵⁶ vgl. Eigner und Stelzer 2009

⁵⁵⁷ vgl. Feldhusen und Gebhardt 2008

⁵⁵⁸ vgl. Starke und Tilkov 2007

⁵⁵⁹ vgl. Hayka et al. 2008

⁵⁶⁰ vgl. Baumann et al. 2011

⁵⁶¹ vgl. Bellalouna 2009

Die durch PLM-Systeme unterstützte Informationshandhabung adressiert v.a. zwei Entwicklungsphasen. In frühen Zeitpunkten eines Projekts dominieren textliche Dokumente zur Abstimmung der Entwicklungsziele mit dem Kunden (z.B. Lasten- oder Pflichtenhefte). Erst relativ spät können konkrete CAD-Modelle relevante Produkteigenschaften repräsentieren. Ab der Definition einer durch Funktion und Gestalt beschriebenen Produktlösung findet diese Technik jedoch eine umfassende Anwendung. Dazwischen ergibt sich aber ein Bruch; der Versuch, diesen zu schließen, ist Gegenstand zahlreicher Forschungsansätze. EIGNER ET AL. stellen bspw. einen RFLP (Requirements, Functional, Logical, Physical) Ansatz vor, der in SysML realisiert wurde. Darin werden die vier RFLP-Diagramme durch Referenzen miteinander verbunden, die in einem PDM System hinterlegt werden.⁵⁶² Dem 2010 abgeschlossenen Verbundprojekt FORFLOW (Bayerischer Forschungsverbund für Prozess- und Workflow-Unterstützung zur Planung und Steuerung der Abläufe in der Produktentwicklung) liegt ein generisches Prozessmodell für die Produktentwicklung zugrunde. Aus diesem Prozessmodell werden in Abhängigkeit bestimmter Entwicklungssituationen Handlungsoptionen wie Methodeneinsatz oder durchzuführende Entwicklungsschritte ausgewählt und im Verlauf der Entwicklung situationsabhängig angepasst.⁵⁶³ Für diesen Zweck wurde das Softwaretool FORFLOW-Prozessnavigator erstellt.⁵⁶⁴ Etliche Arbeiten bemühen sich um eine integrative Lösung der funktionsbasierten Modellierung und Synthese in einer Software. Für den Bereich der mechatronischen Entwicklung von Werkzeugmaschinen wurde der Mechasoft Modeler (MeSoMod) entwickelt. Darin werden eine Funktionssicht und die Spezifikation einer Komponentensicht sowie die Vernetzung dieser Sichten realisiert.⁵⁶⁵ ModCoDe – Modelling System for Conceptual Design – ist ein Werkzeug zur integrativen Entwicklung sogenannter Konzepte. Diese umfassen Wirkkomplexe, die um Angaben wie Bezeichnung, Wirkort, Herstellungsverfahren, Verwendungszweck, Systemanbindung etc. ergänzt werden.⁵⁶⁶ Hervorzuheben sind darüber hinaus die Systemlösungen DIICAD aus Karlsruhe, KALEIT aus Berlin, WISKON aus Kassel, IICAD basierend auf der „General Design Theory“ aus Amsterdam/Tokio, das System RA/QSE als Ergebnis des Förderprogramms ESPRIT II sowie die Arbeiten von CHAKRABARTI und BLESSING aus Cambridge [s.a. PROSUS - A Process-Based Support System] und CHANDRA-

⁵⁶² vgl. Eigner et al. 2012b

⁵⁶³ vgl. Roelofsen 2011

⁵⁶⁴ vgl. Meerkamm et al. 2009

⁵⁶⁵ vgl. Zäh et al. 2002

⁵⁶⁶ vgl. Welp et al. 2001

SEKARAN aus Ohio. Es hat sich jedoch gezeigt, dass sich keiner dieser Ansätze in der Praxis etablieren konnte.⁵⁶⁷

2.6 Zusammenfassung und Diskussion

In Kapitel 1 wurden strukturelle, dynamische und menschliche Faktoren als Komplexitätstreiber in der Produktentstehung aufgezeigt. Daraus folgt, dass erfolgreiche Produktentstehungsprozesse nicht auf einer zufallsgesteuerten Vorgehensweise beruhen können. Stattdessen bedarf es einer systematischen Vorgehensweise, um die technischen und wirtschaftlichen Projektziele effektiv und effizient erreichen zu können. In diesem Kapitel wurde zunächst aufgezeigt, dass **Wissen hierfür die Grundlage** darstellt. Die Kenntnisse über technische Faktoren von Produkt und Produktionstechnik sowie Wissen über Vorgehensweisen zu deren Entwicklung und Herstellung begründen die (Kern-)Kompetenzen eines produzierenden Unternehmens. Auf der Ebene individueller Mitarbeiter stellt die Triade „Wissen Fertigkeiten Kompetenzen“ ein lerntheoretisches Erklärungsmodell dar, aus dem sich auch zahlreiche Anforderungen an eine Unternehmenskultur ableiten lassen.

In der vorliegenden Dissertation wird Wissen als notwendige Voraussetzung für eine kompetente Ausübung der Produktentstehung betrachtet. Dieses kann in einer elementaren Betrachtung als **vernetzte Information im Kontext** definiert werden – eine Auffassung des Wissensbegriffs, die eine Modellierung der Produktentstehung motiviert. Nach den in Abschnitt 2.2 betrachteten Grundlagen der **Modelltheorie** kann der komplexe Sachverhalt der Produktentstehung dadurch in pragmatisch verkürzte Informationsausschnitte gegliedert werden. Ferner wird die **Produktentstehung als ein System** betrachtet. Somit kann sie durch Modelle in ihrer Struktur und dem daraus resultierenden Verhalten, nach ihren hierarchischen und nach ihren funktionalen Zusammenhängen abgebildet werden. Dies erlaubt die explizite Eingrenzung und Bereitstellung von Informationen für spezifische Modellierungszwecke, auf die die jeweiligen Modellierungsansätze ausgerichtet sind. Dabei kann durch die systemtheoretische Betrachtung gewährleistet werden, dass alle relevanten Kontextinformationen mit abgebildet werden.

Für die Repräsentation von Informationen wurden zahlreiche **Modellierungsansätze** entwickelt. Sie wurden in Abschnitt 2.4 zusammengestellt. In vielen dieser Ansätze wird das Entwicklungsgeschehen in „Hauptaufgaben“ heruntergebrochen. Damit soll eine spezifische Bereitstellung von Entwicklungsmethoden ermöglicht werden.

⁵⁶⁷ vgl. Rude 1998, Beitz und Kuttig 1992, Eulenbach 1975, Tomiyama 1987, Irgens 1991, Chakrabarti et al. 2002, Blessing 1994, Chandrasekaran et al. 1993, zitiert nach Sadowski 2009 (betreute Abschlussarbeit), S. 32f. [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

Umfangreiche Zusammenstellungen von Entwicklungsmethoden beschreiben z.B. ULRICH und EPPINGER, PAHL und BEITZ, EHRENSPIEL oder LINDEMANN.⁵⁶⁸ Elaborierte Ansätze zur situationsgerechten Bereitstellung von Methoden sind z.B. das Münchener Methodenmodell⁵⁶⁹ oder das Prozessorientierte Methodenmodell (PoMM)⁵⁷⁰. Zwar wird die Anwendung von Entwicklungsmethoden als wesentliche Voraussetzung für den Erfolg einer Produktentstehung verstanden; es wurden jedoch auch erhebliche Defizite im Einsatz und in der Akzeptanz dieser Methoden festgestellt. Die wesentliche Kritik besagt, dass sie oftmals zu unhandlich, zu komplex, zu zeitaufwendig und nicht "menschgerecht" seien.⁵⁷¹ Daraus ergibt sich eine Lücke zwischen Theorie und Praxis der Konstruktionsmethodik.⁵⁷² BADKE-SCHAUB und Kollegen fassen die zentralen Ergebnisse dieser Analysen im sogenannten 3P-Ansatz zusammen. Demnach mangle es Konstruktionsmethoden an Leistungsfähigkeit oder ihre Leistungsfähigkeit könne vom Entwickler nicht eingeschätzt werden (Performance). Konstruktionsmethoden würden unzureichend dargestellt werden, seien umständlich zu handhaben oder erforderten ein Vorwissen, über das Entwickler nicht verfügten (Presentation). Konstruktionsmethoden könnten nicht flexibel an die vorliegende Situation bzw. das reale Entwicklungsumfeld angepasst werden (Process).⁵⁷³ MEBOLDT unterstreicht die soziotechnische Natur der Produktentstehung in folgender Definition:

„Entwicklungsmethodik ist das ganzheitliche entwicklungsorientierte Verständnis und Handeln, das intersubjektiv verankert ist. Sie liefert keine fertigen Lösungen, sondern schafft Modelle zur Beschreibung und Orientierung im Produktentwicklungsprozess sowie zur effizienten und zielgerichteten Strukturierung der Aktivitäten. Sie beschreibt auf Basis eines Modells den Gesamtzusammenhang der Produktentstehung, sie legt die Grundlage einer gemeinsamen Sprache für die Zusammenarbeit und empfiehlt Methoden für die Anwendung. Der Erfolg in der Anwendung hängt in erster Linie vom gemeinsamen Verstehen und von der Erklärungskraft ab und setzt das nötige Talent des Anwenders voraus.“⁵⁷⁴

Entwicklungsmethoden stellen also erhebliche Anforderungen an ihre Anwender und das Umfeld, in dem sie angewendet werden sollen. Sie erfordern einen flexiblen, situationsspezifischen Einsatz in Prozessen und bedürfen transparenten

⁵⁶⁸ vgl. Ulrich und Eppinger 1995, Pahl et al. 2007, Ehrlenspiel 2007 und Lindemann 2009

⁵⁶⁹ vgl. Braun und Lindemann 2003

⁵⁷⁰ vgl. Birkhofer et al. 2001

⁵⁷¹ vgl. Jänsch 2007

⁵⁷² vgl. Rutz 1994, Birkhofer 2004 und Jensen und Andreasen 2010

⁵⁷³ vgl. Badke-Schaub et al. 2011

⁵⁷⁴ Meboldt 2008, S. 149

Informationen als „Eingangsgrößen“ für die jeweilige Methodik. Die Forderung nach Flexibilität und Befähigung zu einer methodischen Produktentwicklung gilt auch den diversen Modellierungsansätzen. Starre zeitliche und inhaltliche Vorgaben aus Sicht des Projektmanagements können den Anspruch der Flexibilität nicht erfüllen und bieten überdies keine Unterstützung der operativen Entwicklungstätigkeiten.⁵⁷⁵ Sie wurden in jüngeren Arbeiten durch adaptive Ansätze ergänzt; dies reicht bis hin zu Vorgehensweisen wie Scrum, bei denen fast gänzlich auf eine durchgängige Planung verzichtet wird. Sie betonen die iterative Natur von Entwicklungsprozessen. Dabei spielen elementare Tätigkeiten der Analyse und der Synthese eine zentrale Rolle. Eine zielorientierte Arbeitsweise könne hierbei nach ALBERS v.a. durch systemtechnische Ansätze wie dem (erweiterten) ZHO-Modell realisiert werden. Eine sequenzielle Vorgehensweise, in der Funktion und Gestalt getrennt betrachtet werden, stelle dabei einen Widerspruch zu der intuitiven und kognitionspsychologisch zu begründenden Arbeitsweise von Konstrukteuren dar. Stattdessen sei eine Entwicklungsphilosophie anzustreben, in der die Zusammenhänge produkt- und prozessrelevanter Aspekte durchgängig transparent sind.⁵⁷⁶

Hervorzuheben sind integrierende Ansätze, die sowohl die Perspektiven der Entwicklung als auch die des Managements berücksichtigen. Ob in der „Integrierten Produktentwicklung“, oder im „Systems Engineering“ – in allen Ansätzen wird die Notwendigkeit einer geeigneten Visualisierung und Handhabung von Informationen betont. Diese umfassen neben internen Parametern auch externe (sozio-ökonomische) Randbedingungen. Dabei sind sowohl Ziele (Soll-Zustand), als auch tatsächliche Projektkenngößen (Ist-Zustand) zu repräsentieren. Darüber hinaus werden in einigen Ansätzen auch Muster, also generische Referenzmodelle berücksichtigt.

Für die Anwendung dieser Modellierungsansätze existieren zahlreiche **Werkzeuge**. Während etliche Forschungsarbeiten zur Entwicklung prototypischer Softwaretools führten, finden in der industriellen Praxis vornehmlich kommerzielle Werkzeuge zur Editierung von Texten oder Tabellen, oder aber zur Produkt- und Produktionssystemmodellierung durch rechnerunterstützte Techniken Verwendung. Dabei ist zu beobachten, dass zwischen einer Anwendung in frühen Entwicklungsphasen und der Ausarbeitung im Rahmen der Serienentwicklung eine Lücke besteht. Eine durchgängige Informationshandhabung während der iterativen Entwicklung und Validierung sogenannter „Konzepte“ ist im Stand der Technik und der Forschung

⁵⁷⁵ vgl. Meboldt 2008

⁵⁷⁶ vgl. Albers 2010, Albers und Braun 2010, Albers und Braun 2011, Albers et al. 2011b und Albers und Sadowski 2013

nicht gegeben. Dabei ist gerade diese frühe Phase der Produktentstehung maßgeblich erfolgsrelevant (vgl. Abschnitt 1.1.3).

Die Ansätze der „Karlsruher Schule“ stellen eine Möglichkeit dar, die Produktentstehung ganzheitlich und durchgängig zu repräsentieren. Sie umfassen eine systemische Beschreibung der Produktentstehung mit einem starken Fokus auf die Menschen im Zentrum der Entwicklung. Außerdem beziehen sie die Kunden als Referenz für die zentrale Aktivität der Validierung explizit mit ein. Durch eine kontinuierliche Validierung wird sowohl der iterative Charakter, als auch der unumgängliche Aspekt der Unsicherheit von Entwicklungsprozessen berücksichtigt. Ein fortwährendes Lernen auf persönlicher wie organisationaler Ebene sind Kernbestandteil und nicht Nebenprodukt der „Unternehmung Produktentstehung“. Zur Unterstützung von Analyse und Synthese beim Konstruieren stellt der Contact and Channel Ansatz C&C²-A eine Alternative zu zahlreichen Ansätzen dar, die Funktion und Gestalt getrennt betrachten. Ergänzend hierzu werden mit dem integrierten Produktentstehungsmodell iPeM die Perspektiven der Entwicklung und des Managements zusammengeführt. Dabei wird nicht darauf abgezielt, starre Vorgaben aufzustellen und zu überwachen; stattdessen geht die „Karlsruher Schule“ davon aus, dass jeder Produktentstehungsprozess einzigartig sei. Von dieser Grundhypothese aus, wird mit den in Abschnitt 2.4.6 beschriebenen Ansätzen ein Rahmenwerk aufgestellt, das eine umfassende Unterstützung von Produktentstehungsprozessen auf Basis eines gemeinsamen Verständnisses aller Beteiligten bezüglich der Zusammenhänge im komplexen System der Produktentstehung adressiert.

3 Handlungsbedarf und Zielsetzung

In diesem Kapitel wird die identifizierte Forschungslücke für diese Dissertation geschildert. Hierfür werden aus der übergeordneten Zielsetzung des einleitenden Kapitels und der voranstehenden Diskussion relevanter Arbeiten aus dem Stand der Forschung zunächst Grundannahmen getroffen, die die Basis für die weiteren Ausführungen darstellen. Davon ausgehend werden Forschungsfragen formuliert. Anhand dieser werden der Ansatz und die Zielsetzung sowie der wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit präzisiert. Eine Eingrenzung der Adressaten dieser Dissertation schließt dieses Kapitel und bestimmt den Fokus der weiteren Betrachtungen.

3.1 Forschungshypothesen und resultierender Ansatz

In diesem Abschnitt werden drei Voraussetzungen formuliert, die die Basis für die vorliegende Forschungsarbeit und deren Forschungsdesign begründen. Der Forschungsansatz dieser Dissertation wird dabei aus der Einleitung und den ersten beiden Grundlagenkapiteln motiviert. Aus der Diskussion des Forschungsstands werden im Folgenden der Forschungsgegenstand dieser Arbeit (das integrierte Produktentstehungsmodell iPeM) sowie eine Spezifizierung der gewählten Vorgehensweise abgeleitet.

3.1.1 Modellierung der Produktentstehung

Im einleitenden Kapitel wurden die sozioökonomische Bedeutung von Produktentstehungsprozessen und deren heutige Herausforderungen betrachtet. Diese erfordern einen erfolgreichen Umgang mit der Komplexität, die sich aus strukturellen, dynamischen und humaninduzierten Aspekten der Produktentstehung ergibt. Zusammen mit den Zwischenfaziten der Abschnitte 2.2 und 2.3 wird daraus folgende Hypothese aufgestellt:

Die Produktentstehung kann als ein komplexes System betrachtet werden. Durch eine geeignete Modellierung desselben können die Beteiligten von Produktentstehungsprozessen im Umgang mit deren Komplexität unterstützt werden.

Aus dieser Hypothese leitet sich zunächst der Handlungsbedarf der Bestimmung eines geeigneten Modellierungsansatzes ab. In Abschnitt 2.4 wurde verdeutlicht, dass hierfür eine mannigfaltige Auswahl veröffentlichter Forschungsarbeiten existiert. Dennoch steht die Aussage im Raum, dass derzeit kein verfügbarer Ansatz den Anforderungen gerecht werde, die sich aus den identifizierten Komplexitätstreibern ergeben: „No modelling framework is available at present to capture the entire

richness of design process [...]. Additional research is needed to provide a framework to accommodate emergent and adaptive process structures.⁵⁷⁷

3.1.2 Einzigartigkeit von Produktentstehungsprozessen

Die Diskussion des Forschungsstands zeigt, dass die bloße Eindämmung der Komplexität keine Lösung für heuristische Produktentstehungsprobleme darstellen kann (vgl. Unterabschnitt 2.4.1.3). Stattdessen müssen Unsicherheit und Risiko in modernen Entwicklungsprozessen als eine Tatsache anerkannt und als Chance begriffen werden. Unternehmen, die es verstehen, mit diesen Herausforderungen umzugehen, können sich einen Wettbewerbsvorteil vor weniger kompetenten Konkurrenten verschaffen. Dies ist insbesondere von Bedeutung, da Unternehmen in vielen Fällen keine Möglichkeiten haben auf die in Abschnitt 2.4.2 beschriebenen Einflussparameter der Prozessmodellierung einzuwirken. Folglich sind weitere Anforderungen an die Prozessmodellierung zu stellen.

Produktentstehungsprozesse sind einzigartig und individuell.⁵⁷⁸ Ihre Modellierung erfordert einen generischen Ansatz, der eine Repräsentation von Informationen im Kontext verschiedener Zwecke erlaubt.

Diese Hypothese manifestiert eine Grundannahme, die eine Überwindung einseitig fokussierter bzw. unflexibler Modellierungsansätze erfordert. Für die weiteren Ausführungen dieser Arbeit wird daraus abgeleitet, dass ein Modellierungsansatz drei Anforderungen genügen muss. Zum einen ergibt sich aus der Polytelie die Notwendigkeit einer **ganzheitlichen** Erfassung von Produktentstehungsprozessen. Für eine umfassende Unterstützung der Produktentstehung muss eine Modellierung alle relevanten Informationen beinhalten (produktlebenszyklus- und unternehmensübergreifend). Weiterhin sind die Integration verschiedener Perspektiven (z.B. von Entwicklung und Management) sowie die Zusammenführung von Aspekten aus verschiedenen Sichten (z.B. Produkt- und Prozesssicht) eine notwendige Voraussetzung für die Generation nutzer- bzw. zweckspezifischer Repräsentationen im Sinne von „Arbeitsansichten“⁵⁷⁹. Des Weiteren muss eine **durchgängige** Handhabung von Informationen auf Basis des zugrunde gelegten Modellierungsansatzes möglich sein. Erst damit können Zusammenhänge wie die evolutionäre Fortentwicklung von Ziel- und Objektsystem oder die Konstruktion von Funktions-Gestalt-Zusammenhängen für die unterschiedlichen Perspektiven der Prozessbeteiligten erklärt und abgebildet werden, sodass diese in die Lage versetzt werden,

⁵⁷⁷ O'Donovan et al. 2005, S. 84f.

⁵⁷⁸ vgl. Albers 2010, S. 346

⁵⁷⁹ vgl. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 39ff.

situationsspezifisch geeignete Vorgehensweisen zu bestimmen. Insbesondere die Verzahnung von Entwicklungsarbeit und Entwicklungsprojektarbeit ist dabei elementar, um der Dynamik und der Unsicherheit komplexer Prozesse zu begegnen. Nur so ist ein flexibler Umgang mit kontinuierlich oder diskontinuierlich zunehmenden Reifegraden des zu entwickelnden Produkts, des zugehörigen Produktionssystems, sowie korrespondierender physischer und virtueller Modelle für alle Beteiligten möglich. Dies führt zur dritten Forderung nach einer **menschzentrierten** Modellierungsphilosophie. Sie findet Ausdruck in der dritten Hypothese, die dieser Arbeit zugrunde gelegt wird.

3.1.3 Kompetenter Umgang mit der Komplexität der Produktentstehung

Die folgende Hypothese resultiert aus den Grundlagen der Kognitions- und Lernpsychologie, die in Abschnitt 2.1 beschrieben und um eine soziotechnische Perspektive des Wissensbegriffs ergänzt wurden.

Die explizite Modellierung von Informationen im Kontext stellt eine notwendige Bedingung dar, um den Menschen in der Produktentstehung zu unterstützen. Eine hinreichende Bedingung ist erst die kompetente Interpretation derselben durch Individuen auf Basis eines gemeinsamen Verständnisses.

Diese Aussage bestimmt, dass das Metamodell, das einem Modellierungsansatz zur Unterstützung der Produktentstehung zugrunde gelegt wird, in sich ergänzender Weise von verschiedenen Individuen verstanden werden muss. Erst dadurch wird sichergestellt, dass Informationen zweckorientiert in ein Modell eingetragen und auch zweckorientiert wieder daraus bezogen werden können. Diese Hypothese stellt somit eine Grundvoraussetzung für die Effektivität einer durchgängigen Modellnutzung durch verschiedene Personen dar. Sie sagt jedoch nichts über die Qualität der modellierten Informationen aus. Und selbst aus einer „idealen“ Informationsbasis kann immer erst durch die individuellen Fertigkeiten und Kompetenzen der Prozessbeteiligten eine erfolgreiche Produktentstehung resultieren – die bloße Modellierung würde auch mit einem „idealen“ Ansatz und Werkzeug noch keine Erfolgsgarantie darstellen.

3.1.4 Forschungsansatz und Forschungsgegenstand

In der vorliegenden Arbeit wird ausgehend von diesen Forschungshypothesen ein modellbasierter Ansatz zur Unterstützung der Produktentstehung verfolgt. Darin sollen relevante Informationen explizit im Kontext der Produktentstehung verknüpft werden können. Dabei folgt aus den vorangestellten Grundannahmen, dass dieser Ansatz eine ganzheitliche Abbildung des Systems der Produktentstehung ermöglichen muss. Weiter muss eine durchgängige Modellierung relevanter

Informationen für verschiedene Zwecke möglich sein. Aus der letztgenannten Hypothese ergibt sich darüber hinaus, dass der Ansatz anthropozentrisch sein muss, d.h. die Rolle des Menschen im Zentrum der Produktentstehung muss berücksichtigt werden.

Die „Karlsruher Schule“ umfasst, wie in Abschnitt 2.4.6 dargestellt, Ansätze, die eine dynamische Modellierung individueller Produktentstehungsprojekte zum Ziel haben. Darin werden elementare Entwicklungstätigkeiten der Analyse und Synthese von Funktions-Gestalt-Zusammenhängen mit projektübergreifenden Perspektiven der Produktentstehung und der Validierung verknüpft. Mit dem iPeM wird ein Metamodell beschrieben, in dem diese Aspekte im Sinne eines generalisierten Rahmenwerks auf Basis des ZHO-Modells zusammengeführt werden. Dabei haben die Arbeiten, wie in den Hypothesen gefordert, den Anspruch einer ganzheitlichen, durchgängigen und anthropozentrischen Unterstützung der Produktentstehung.

Aufgrund dessen wird das **iPeM zum Gegenstand dieser Dissertation** gemacht. Von einer erschöpfenden Betrachtung der übrigen Modellierungsansätze des Forschungsstands wird aufgrund des begrenzten Umfangs dieser Arbeit abgesehen. Ferner wird keine empirische Verifizierung oder Falsifizierung der vorgenannten Hypothesen angestrebt. Aufgrund der Individualität von Produktentstehungsprozessen kann insbesondere keine Beweisführung, z.B. durch eine Gegenprobe oder einen Doppelblindversuch erfolgen, denn eine Wiederholbarkeit ist mithin nicht gegeben. Die Betonung des anthropozentrischen Aspektes der Produktentstehung steht ferner im Widerspruch zu einem Versuch, externe Einflüsse unter Laborbedingungen ausschließen zu wollen. Stattdessen werden die Hypothesen zugrunde gelegt, um davon ausgehend explorativ Möglichkeiten und Grenzen der Repräsentation von Informationen im Kontext der Produktentstehung zu erörtern.

Der bisherige Stand der Forschung zum iPeM baut auf grundlegenden Arbeiten wie der Systemtheorie und dem „Systems Engineering“ auf. Darüber hinaus wurden auf Basis langjähriger Erfahrungen in industriellen und wissenschaftlichen Entwicklungsprojekten Inhalte der „Integrierten Produktentwicklung“ wie z.B. die systematische Problemlösung oder die situationsspezifische Bereitstellung von Methoden in das Rahmenwerk integriert.⁵⁸⁰ Somit wurde das iPeM bislang ausgehend von übergeordneten Arbeiten bzw. aus eigenen Erkenntnissen v.a. deduktiv abgeleitet und begründet. Eine Anwendung des iPeM erfolgte bisher in Form von akademischen Anwendungsbeispielen in den jeweiligen Referenzen.⁵⁸¹

⁵⁸⁰ vgl. Albers 2010 und Albers und Braun 2011

⁵⁸¹ ebda.

In der vorliegenden Dissertation wird ergänzend dazu induktiv, d.h. in systematisch angelegten Studien nach Möglichkeiten und Grenzen einer Anwendung des iPeM geforscht. Hierzu gilt es zunächst, den „Nutzen“ der Prozessmodellierung zu spezifizieren. Um diesen dann anhand von Anwendungsbeispielen evaluieren zu können, muss ferner eine Operationalisierung des iPeM erfolgen. Denn wie in Abschnitt 2.5 aufgezeigt, kann die Anwendung eines Modellierungsansatzes erst durch die Explikation in Form sprachlicher Mittel und durch eine geeignete werkzeugtechnische Unterstützung erfolgen. Mit gegebenen Implementierungen des iPeM ist es schließlich möglich, explorative Studien zu planen, durchzuführen und zu interpretieren. Dieses Forschungsdesign findet Ausdruck in den folgenden Forschungsfragen.

3.2 Forschungsfragen

Das Forschungsdesign dieser Arbeit richtet sich an den folgenden drei Forschungsfragen aus.

Was ist Gegenstand der Modellierung mit dem iPeM?

Diese Frage adressiert das strukturelle Merkmal der Systemmodellierung. Entsprechend dem Metamodell aus Abschnitt 2.4.6.5 muss eine Abbildung von Produktentstehungsprozessen im iPeM Elemente des Ziel-, Aktivitäten-, Ressourcen- und Objektsystems umfassen. Offen ist nach dem bisherigen Stand der Forschung mit welchen Attributen diese Elemente im Detail zu kennzeichnen sind. Auch die Hierarchiebildung innerhalb der Systemelemente ist noch nicht näher beschrieben worden. Durch die Logik des Metamodells sind ferner auch die Beziehungen dieser Elemente untereinander vorgegeben. Jedoch liegen noch keine Erkenntnisse darüber vor, wie die funktionellen Beziehungen der Systemelemente zweckdienlich gestaltet werden können. Die Aktivitäten ihrerseits können statisch oder dynamisch betrachtet werden und dadurch z.B. Muster für die Anwendung von Entwicklungsmethoden oder auch für die Projektplanung darstellen – je nachdem, welcher Modellierungszweck zugrunde gelegt wird.

Die Frage nach partikulären Modellierungszwecken lautet wie folgt:

Was ist das pragmatische Merkmal der Modellierung mit dem iPeM?

Die Eingrenzung des pragmatischen Merkmals der Prozessmodellierung bestimmt den oder die Modellierungszwecke des iPeM. Die Herausforderung liegt dabei einerseits im ganzheitlichen Anspruch des Modellierungsansatzes. Er wurde nicht für einen bestimmten Zweck vorgesehen, sondern soll stattdessen flexibel für verschiedenste Perspektiven oder Anwendungsfälle ausgelegt werden können. Anstatt also eine feste „Anforderungsliste“ für eine iPeM-Umsetzung zu formulieren, gilt es generische Potentiale zu ermitteln, die sich aus einer Implementierung des iPeM ergeben können. Somit wird ein Zielrahmen definiert, aus dem deduktiv

unterschiedliche, polytelisch zweckorientierte Arten der Umsetzung entwickelt werden können. Es soll also eine Spezifikation des generell möglichen „Nutzen“ der Prozessmodellierung mit dem iPeM erfolgen. Zusätzlich gilt es, Erfolgsfaktoren und messbare Erfolgskriterien für diese zu definieren. Dieser Schritt ist der zweiten Herausforderung geschuldet, die sich aus dieser Forschungsfrage ergibt. Denn eine direkte Messung der Nützlichkeit einer Modellierung im Kontext der Produktentstehung ist aufgrund der erwähnten Einzigartigkeit der Prozesse unmöglich – in realen Produktentstehungsprozessen lassen sich keine Parallelversuche durchführen.

Die dritte Forschungsfrage gilt der Realisierung der zuvor bestimmten Potentiale:

Wie kann eine Modellierung mit dem iPeM erfolgen?

Mit dieser Frage wird auf die Anwendbarkeit des Modellierungsansatzes abgezielt. Um die Potentiale der Prozessmodellierung zu heben, gilt es, in Entsprechung zu Abschnitt 2.5 eine technische Umsetzung für das iPeM zu implementieren. Diese ist an dem zuvor bestimmten pragmatischen Merkmal der Modellierung auszurichten, das insbesondere die abzubildenden Entitäten und den Grad ihrer Verkürzung bestimmt. Die Formalisierung der Modellelemente und deren Relationen, die sich aus der Beantwortung der ersten Forschungsfrage ergeben, erfordert eine geeignete Sprache bzw. Modellierungsform. Ferner muss für eine Anwendung in der Praxis auch eine werkzeugtechnische Unterstützung der Modellierung entwickelt werden. Diese muss sich ebenfalls am verfolgten Modellierungszweck orientieren, um v.a. Aspekten der Anwenderakzeptanz aus individueller und organisationaler Ebene zu genügen.

Mit dieser Forderung wird der Umfang der dritten Forschungsfrage von einer Realisierung des potentiellen Nutzens der Prozessmodellierung auf potentielle Grenzen erweitert. So gilt es, einschränkende Faktoren der Akzeptanz zu identifizieren und – wenn möglich – Maßnahmen für deren Eindämmung zu bestimmen. Ein wichtiges Suchfeld hierfür sind neben soziopsychologischen Faktoren (z.B. subjektiv wahrgenommene Anmutung oder Aufwand) auch technologische Einschränkungen, die den jeweiligen Modellierungssprachen und Werkzeugen eigen sind. Dies können z.B. Aspekte der Visualisierung, der Nutzerinteraktion oder der Modelladministration sein.

Dass diese drei Forschungsfragen einer umfassenden wissenschaftlichen Klärung bedürfen, wird anhand einer Betrachtung bisher erfolgter Arbeiten zur Anwendung des iPeM in akademischen oder industriellen Projekten ersichtlich. Damit wird der folgende Abschnitt eingeleitet, in dem die Ziele und der wissenschaftliche Beitrag dieser Dissertation festgehalten werden.

3.3 Zielsetzung der Dissertation

Die Ansätze der „Karlsruher Schule“ sind aus der operativen Projektarbeit motiviert und werden anhand realer Praxisanwendungen fortwährend weiterentwickelt. Eine explizite Reflektion und Dokumentation der Praxisanwendung erfolgte bisher im Rahmen wissenschaftlicher Veröffentlichungen. Davon liegen Arbeiten mit einem Fokus auf eine reflektierte Anwendung des iPeM zumeist in Form studentischer Abschlussarbeiten vor.

POTH untersuchte bspw. den Übergang von der Vorentwicklung zur Serienentwicklung bei einem führenden Automobilhersteller. Dabei lag ein Hauptaugenmerk auf der Unterstützung des Informationstransfers bezüglich Innovationspotentialen durch das iPeM. Unter anderem wurde in dieser Studie deutlich, dass der Informationsakquise bei der Modellierung eine wichtige Rolle zukommt. In diesem Fall wurde die Arbeit retrospektiv und in Form von Interviews mit Einzelpersonen durchgeführt. Diese im Rückblick wiedergegebenen Informationen wurden oft nicht mehr als ausreichend detailliert empfunden, weshalb diese Studie u.a. zu dem Schluss kommt, dass eine begleitende iPeM-Anwendung unter dem Aspekt der Informationserfassung zielführender gewesen wäre.⁵⁸²

Wie in diesem Industrieprojekt kommt aber auch WILDERMUTH in einem akademischen Projekt zu dem Schluss, dass das iPeM aufgrund seiner Struktur grundsätzlich geeignet erscheint, um Produktentstehungsprojekte erschöpfend zu erfassen. In diesem Fall wurde ein Referenzmodell des mikrospezifischen Produktentstehungsprozesses des Sonderforschungsbereichs SFB 499 „Mikrounformen“ erarbeitet. Damit sollen in zukünftigen Projekten das Management bei der Planung und Kontrolle des Prozesses und die Prozessbearbeiter bei der Prozessumsetzung unterstützt werden können. Die Informationen wurden mit der Software MS Visio (mit dem Plugin Aixperanto) grafisch dargestellt – jedoch wurden mit steigendem Detaillierungsgrad des Referenzmodells und durch die Aufnahme der Interaktionen von Teilprozessschritten starke Einschränkungen der Software hinsichtlich Darstellung und Handhabung offenbar.⁵⁸³

Ähnliche Einschränkungen beobachtete auch LAMPI bei der Modellierung eines mehrwöchigen industriellen Entwicklungsprojekts mit sechs Beteiligten. Hier wurde händisch auf Basis der schematischen iPeM-Darstellung aus Abbildung 11 modelliert. Der Fokus der Modellierung lag auf der Repräsentation von Iterationen, um das Entwicklungsgeschehen nachvollziehbar zu machen. In der gewählten

⁵⁸² vgl. Poth 2011 (Abschlussarbeit)

⁵⁸³ vgl. Wildermuth 2011 (Abschlussarbeit)

Darstellungsform waren zeitliche Abfolgen innerhalb der Makroaktivitäten jedoch nicht zufriedenstellend abzubilden, weshalb die schematische Notation u.a. um Ziffern im Phasenmodell erweitert wurde.⁵⁸⁴

Zusammenfassend lässt sich aus diesen und weiteren bisher dokumentierten iPeM-Anwendungen durchweg ein Potential des Modellierungsansatzes begründen. Jedoch liegen diese Arbeiten bislang nur als Einzelstudien vor und stehen in keinem Zusammenhang zueinander. Außerdem sind sie aufgrund der jeweils individuell zugrunde gelegten Modellierungsziele und der unterschiedlichen Anwendungsfälle nicht vergleichbar. Insbesondere kann nicht davon ausgegangen werden, dass durch die bisherigen Arbeiten bereits umfassend beleuchtet sei, welche Modellierungsform für welche Zwecke am geeignetsten ist, und wie diese werkzeugtechnisch zu einer erfolgreichen Anwendung gebracht werden kann.

Daher wird in dieser Dissertation das Ziel verfolgt, Möglichkeiten und Grenzen einer Modellierung von Produktentstehungsprozessen auf Basis des iPeM grundlegend zu erforschen. Hierfür ergibt sich aus den Forschungsfragen ein Suchfeld, das in Anlehnung an DÖRNER und HÖNISCH in zwei Dimensionen beschrieben werden kann⁵⁸⁵: Die sogenannte Problemmatrix unterscheidet Zielprobleme, Mittelprobleme und kombinierte Ziel- und Mittelprobleme von einfachen Aufgaben. Bei letzteren seien im Gegensatz zu den übrigen Problemen sowohl die Ziele (beschrieben durch den Lösungsfreiraum und entsprechende Grenzen), als auch die Mittel (beschrieben als Wissen, Können und Sachmittel) ausreichend bekannt und verfügbar.⁵⁸⁶ In diesem Sinne soll durch die vorliegende Arbeit zunächst eine erschöpfende Spezifikation von Zwecken einer Prozessmodellierung auf Basis des iPeM erfolgen (Ziele). Des Weiteren sollen Möglichkeiten und Grenzen einer Umsetzung umfassend ergründet werden (Mittel). Somit ist der Anspruch dieser Dissertation **das Problem der Prozessmodellierung mit dem iPeM zu einer Aufgabe zu machen**. Potentiale hinsichtlich Nutzen und Aufwand sollen hierfür grundlegend erörtert und durch geeignete Einflussfaktoren greifbar gemacht werden. Durch diese sollen individuelle iPeM-Umsetzungen evaluiert werden können. Des Weiteren sollen systematisch werkzeugtechnische Wege der Implementierung untersucht werden. Auf Grundlage dessen sollen die im nächsten Abschnitt aufgeführten Adressaten der Arbeit in die Lage versetzt werden, zielgerichtete Umsetzungen des iPeM für eine Anwendung auf partikuläre Probleme zu entwickeln.

⁵⁸⁴ vgl. Lampi 2012 (Abschlussarbeit)

⁵⁸⁵ vgl. Dörner 1997 und Hönisch 1993

⁵⁸⁶ vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 57ff.

3.4 Adressaten und Fokus der vorliegenden Arbeit

Abschließend erfolgt in diesem Abschnitt eine Eingrenzung des Betrachtungsschwerpunkts für die folgenden Kapitel. Dies ist aufgrund der zuvor dargestellten Vielfalt an möglichen Modellierungszwecken notwendig. Insgesamt gibt es drei potentielle Adressaten dieser Dissertation: Lehrende und Lernende, Forschung treibende sowie operativ Tätige im Kontext der Produktentstehung.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Aus- und Weiterbildung wurde im einleitenden Kapitel erläutert. Der Kerngedanke einer wissens- bzw. kompetenzbasierten Produktentstehung zieht sich als Leitmotiv durch diese Arbeit. Die hier dargestellten Modellvorstellungen und Praxisbezüge haben eine Schnittmenge mit akademischen Lehrinhalten wie der Konstruktionslehre oder dem „Systems Engineering“. Auch unternehmensspezifische Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen in der Industrie haben Anknüpfungspunkte in der vorliegenden Arbeit. Jedoch gelten die weiteren Ausführungen der Erforschung grundlegender Aspekte und Zusammenhänge der Produktentstehung. Eine didaktische Aufbereitung erfolgt im Rahmen dieser Dissertation nicht und bildet ein Feld für weiterführende Arbeiten.

Auch in der Forschung können die im Rahmen dieser Arbeit diskutierten Inhalte eine Anwendung finden. So ist die Prozessmodellierung auf Basis des iPeM bspw. Gegenstand des BMBF-Projekts IN² – Von der INformation zur INnovation "Innovationen systematisch entwickeln durch Methoden- und Wissensmanagement".⁵⁸⁷ Darin findet das iPeM Anwendung als Rahmen, in dem die Produktentstehungsprozesse verschiedener Kooperationsunternehmen zum Zweck einer vergleichenden Analyse abgebildet werden. BROWNING ET AL. sehen in der Bereitstellung solcher generischer Rahmenwerke für die Prozessmodellierung eine Möglichkeit, auch verschiedene Modellierungsansätze zusammenführen zu können, ihre Verwendung (in der wissenschaftlichen Gemeinschaft) zu erhöhen sowie sie einer Verifizierung (unter eingeschränkten Bedingungen) zugänglich zu machen.⁵⁸⁸ MARXEN bspw. nutzt das iPeM, um verschiedene Entwicklungsmethoden im Kontext der Produktentstehung zu verorten und ihre Anwendung und Validierung situationsspezifisch zu erforschen.⁵⁸⁹

Diese Arbeit wird jedoch nicht rein theoretisch, sondern aus der Perspektive einer operativen Anwendung der Prozessmodellierung heraus entwickelt. Dort soll die Prozessmodellierung generell der Planung, Durchführung und Nachbereitung erfolgreicher Produktentstehungsprozesse dienen. Mit dem iPeM wird hierfür auf die

⁵⁸⁷ vgl. Reiß und Gladysz 2013

⁵⁸⁸ vgl. Browning et al. 2006, S. 123

⁵⁸⁹ vgl. Albers und Marxen 2012

Bereitstellung eines generalisierten Modells abgezielt, das verschiedenste Aspekte der Produktentstehung integriert. Dieses könne nach ALBERS und BRAUN für beliebige Nutzer oder Zwecke konfiguriert werden, indem z.B. nicht benötigte Elemente in individuellen Ansichten ausgeblendet werden würden. Durch Einbeziehung von Erfahrungswissen und die Erfassung *was* in der Produktentstehung *wie* geschehe, werde die Prozessmodellierung zudem zu einer Basis organisationalen Lernens.⁵⁹⁰

Der Fokus der vorliegenden Dissertation wird auf eine Unterstützung der Produktentwicklung gelegt. Dadurch stellen individuelle Entwicklungsmethoden, die Berücksichtigung der Umfeldeinflüsse auf die Produktentstehung, übrige Produktlebenszyklusphasen, und die Sicht des Projektmanagements wichtige Randbereiche der Betrachtung dar. Jedoch bilden sie nicht den Kern der weiteren Ausführungen. Stattdessen wird insbesondere die grundlegende Struktur des Systems der Produktentstehung fokussiert. Diese Eingrenzung folgt aus den zuvor dargestellten Forschungshypothesen, nach denen die explizite Repräsentation von Informationen im Kontext der Produktentstehung eine notwendige Bedingung einer Umsetzung der iPeM-Modellierung darstellt.

Weiterhin zeigte die Betrachtung des Forschungsstands, dass Produkt- und Prozessmodelle für Phasen der detaillierten Ausgestaltung (z.B. in CAD-Systemen) oder für das Geschäftsprozessmanagement bereits elaboriert und im Stand der Technik verfügbar sind. Modellierungsansätze für Prozessphasen, die *vor* einer Detailkonstruktion – bspw. in Form ausgefeilter CAD-Modelle – stattfinden, unterliegen jedoch erheblichen konzeptionellen Herausforderungen. So ist bspw. die Abbildung von Funktions-Gestalt-Zusammenhängen nicht trivial. Auch die Berücksichtigung systemischer Wechselwirkungen, die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen in komplexen Entwicklungsprozessen oder die Berücksichtigung soziokognitiver Aspekte sind in zahlreichen Ansätzen nicht zufriedenstellend gelöst. Aufgrund dessen wurde aufgezeigt, dass die methodische Unterstützung der Produktentwicklung derzeit keine weite Verbreitung in der Praxis erfährt. Gleichwohl wurde deutlich gemacht, dass frühen Entwicklungsabschnitten aufgrund der für sie typischen Unsicherheiten und der Gefahr der Fehlerfortpflanzung eine erfolgentscheidende Bedeutung zukommt. Daher soll durch diese Arbeit eine Unterstützung der operativen Produktentstehung – insbesondere in kritischen Bereichen wie der Systemkonstruktion – vorangetrieben werden.

⁵⁹⁰ vgl. Albers und Braun 2011, S. 22

4 Methodische Vorgehensweise

In diesem Kapitel wird die Herangehensweise an die zuvor aufgeführten Forschungsfragen erläutert. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf der gewählten Forschungsmethodik. Diese basiert auf explorativen Studien, die in Form eines sogenannten „Action Research“⁵⁹¹ unter Betreuung durch den Autor der vorliegenden Dissertation durchgeführt werden. Aufgrund der im vorherigen Kapitel beschriebenen Herausforderungen bei der Erforschung des komplexen, soziotechnischen Systems der Produktentstehung bietet sich dieses Vorgehen, das die Forschenden und deren Untersuchungsgegenstände zum Bestandteil der Studien macht, an. Insbesondere wird dadurch dem Anspruch einer Erörterung zentraler Fragen aus Sicht der operativen Produktentstehung bzw. Systemkonstruktion Rechnung getragen.

4.1 Einordnung in die „Spiral of Applied Research“

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, das iPeM neben Forschung und Lehre explizit für die Praxis tatsächlicher Projekte anwendbar zu machen und den Nutzen der Prozessmodellierung auf Basis dieses Ansatzes zu belegen. Damit soll das Metamodell ergänzend zu bisherigen Arbeiten, in denen das iPeM vornehmlich theoretisch hergeleitet wurde, aus Sicht der Praxis eingehend analysiert werden.

Einen Rahmen, in dem sich diese Forschungsarbeit eingliedern lässt, stellt Abbildung 16 mit der „Spiral of Applied Research“ dar. Darin werden generische Schritte miteinander in Beziehung gesetzt, um unterschiedliche, anwendungsorientierte Forschungsprojekte im Kontext der Produktentwicklung zu umfassen. ECKERT ET AL. teilen die Forschungslandschaft dabei in vier übergeordnete Felder ein. Diese bauten grundsätzlich aufeinander auf; sie seien jedoch nicht unbedingt sequenziell zu verfolgen. Vielmehr dienen sie insgesamt einer iterativen Weiterentwicklung des Forschungsstands, was durch die Doppelpfeile ins Zentrum von Abbildung 16 verdeutlicht werde. Die vier Felder seien die empirische Erforschung des Verhaltens der Beteiligten in der Produktentwicklung, die Entwicklung von Theorien und übergeordneten Verständnismodellen für einzelne Aspekte der Produktentwicklung, die Entwicklung von Werkzeugen und Vorgehensmodellen, um konkrete Unterstützungsziele zu erreichen sowie die Einführung und Verbreitung dieser Werkzeuge und Modelle in der industriellen Praxis. Zwischen diesen Schritten sei

⁵⁹¹ vgl. Ottoson et al. 2006

das jeweilige Forschungsergebnis zu evaluieren, woraus wiederum ein Zuwachs an Erkenntnissen resultieren könne.⁵⁹²

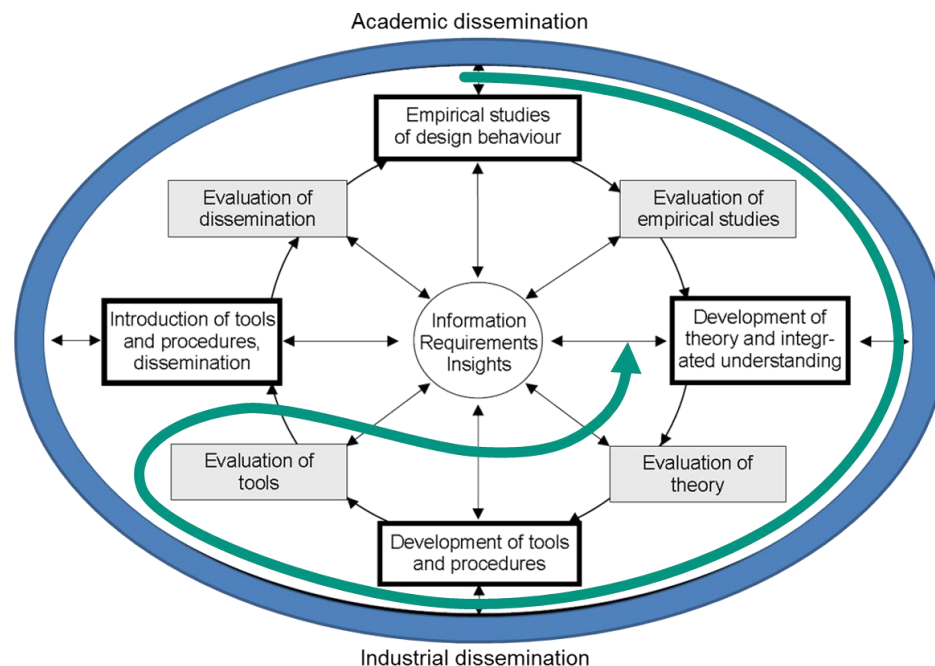


Abbildung 16: Einordnung der Dissertation in die „Spiral of Applied Research“⁵⁹³

Diese Dissertation baut auf Arbeiten zum iPeM auf, die neben dem Stand der Forschung insbesondere auf empirisch gewonnenen Erkenntnissen zu den Herausforderungen der Produktentstehung beruhen. Das Ziel des Nachweises eines Nutzens der Prozessmodellierung mit diesem Ansatz erfordert dessen Anwendung in realen Projekten. Hierfür muss zunächst eine Operationalisierung in Form geeigneter Implementierungen des iPeM erfolgen. Der Pfeil in Abbildung 16 verdeutlicht, wie die Evaluation und Fortentwicklung des iPeM ausgehend vom Stand der Forschung und auf Basis von Praxisstudien in dieser Arbeit erfolgen soll. Im Ausblick dieser Dissertation werden Ansatzpunkte für Folgearbeiten aufgeführt, die im Sinne der „Spiral of Applied Research“ zu einer validen Unterstützung der Produktentstehungspraxis führen sollen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll mit der Bereitstellung der strukturellen Grundvoraussetzungen für eine explizite Modellierung ein notwendiger Schritt zur Erreichung dieses Ziels gemacht werden.

4.2 Einordnung in die „Design Research Methodology“

Während die Einordnung in die „Spiral of Applied Research“ im vorherigen Abschnitt der Abgrenzung dieses Forschungsprojekts von bestehenden und künftig

⁵⁹² vgl. Eckert et al. 2003

⁵⁹³ ebda. [Darstellung durch d. Verf. überarbeitet]

durchzuführenden Arbeiten galt, wird im Folgenden die methodische Vorgehensweise innerhalb dieser Arbeit adressiert. Hierfür wird auf die „Design Research Methodology“ (DRM) von BLESSING und CHAKRABARTI zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um einen Ansatz, um beliebige Forschungsarbeiten im Kontext der Produktentstehung inhaltlich zu beschreiben. Er gliedert sich in die vier Hauptabschnitte Research Clarification, Descriptive Study I, Prescriptive Study und Descriptive Study II (vgl. Abbildung 17). Die Autoren machen deutlich, dass die DRM pragmatisch anzuwenden sei und insbesondere keine starre Vorgabe in den Hauptabschnitten vorliege.⁵⁹⁴

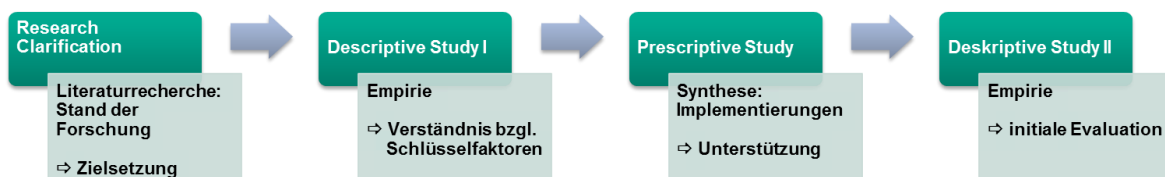


Abbildung 17: Forschungsmethodik der vorliegenden Arbeit entsprechend der DRM

Bei der vorliegenden Dissertation handelt es sich um ein Forschungsprojekt, das im Rahmen der DRM als fünfter von sieben möglichen Typen eingeordnet werden kann.⁵⁹⁵ Aufbauend auf bestehenden Literaturarbeiten (Research Clarification) werden dabei zunächst deskriptive Studien durchgeführt, um Schlüsselfaktoren der Prozessmodellierung zu bestimmen. Als Ergebnis dieses Schritts werden Erfolgsfaktoren und konkrete Kriterien zur Evaluation von Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung aufgestellt (Kapitel 5). In darauffolgenden präskriptiven Studien werden prototypische Implementierungen der beabsichtigten Konstruktionsunterstützung getestet, um deren jeweilige Wirkung auf die Schlüsselfaktoren zu bestimmen (Kapitel 6). Die in diesen Vorstudien gesammelten Erfahrungen dienen zur Entwicklung eines sogenannten „Produktivsystems“ – einer Software-Implementierung, die die erfolgversprechendsten Funktionalitäten aus den Vorstudien vereint. Damit werden zwei Hauptstudien durchgeführt, in denen die Implementierung einmal im akademischen und einmal im industriellen Umfeld angewendet werden (Kapitel 7). Diese initialen deskriptiven Studien ermöglichen Aussagen über das Verhältnis von Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung. Außerdem erlauben sie erste Schlussfolgerungen für die Weiterentwicklung der Implementierung und des zugrundeliegenden Modellierungsansatzes (Kapitel 8). Schließlich können damit weiterführende Forschungsarbeiten in einem Ausblick vorbereitet werden (Kapitel 9).

⁵⁹⁴ vgl. Blessing und Chakrabarti 2009

⁵⁹⁵ ebda. S. 18f.

5 Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung

Das Ziel der Bereitstellung einer werkzeugtechnischen Umsetzung des iPeM könnte als ein Entwicklungsprojekt für sich betrachtet werden. Als solches benötigte auch dieses eine Klärung der Aufgabenstellung, die entsprechend der Konstruktionslehre eine Aufstellung von Anforderungen und Randbedingungen erforderte. Die Notwendigkeit einer eingehenden Aufgabenklärung vor jedweder Implementierung eines Prozessmodells bekräftigen ECKERT und STACEY wie folgt:

“A process model does not need to be totally correct in order to be useful, nor does correctness guarantee usefulness. The coarser the models, the more likely they are to be correct, but the less assistance they provide. A model that is wrong in some respects can be useful, as long as the users understand what the model can provide. Using models to understand, develop and follow design processes can be problematic and lead to confusion and misunderstanding at four levels. First, a process might simply be misunderstood, or a prescriptive process might be an inappropriate way to achieve its intended result. Second, a process may be conceptualised, validly, in different ways according to the perspectives and priorities of different people. Third, as modelling involves prioritisation and selection, a shared understanding of a process may be modelled in different ways. Fourth, a model is interpreted by its different users according to their own experiences, knowledge and concerns, which may include conflicting unarticulated assumptions. All of these are significant issues in industrial practice.”⁵⁹⁶

In diesem Kapitel wird das pragmatische Merkmal für eine Umsetzung des iPeM bestimmt. Der Betrachtungsfokus wurde hierfür, wie in Kapitel 3 dargelegt, auf eine Unterstützung der Produktentwicklung eingegrenzt. Im folgenden Abschnitt werden Anforderungen an Prozessmodelle in der bestehenden Literatur diskutiert. Dabei wird ersichtlich, dass aufgrund der Forschungshypothese, dass Produktentstehungsprozesse individuell zu betrachten seien, keine pauschale Aufstellung von umzusetzenden Funktionalitäten für die Entwicklung eines Werkzeugs genügen kann. Stattdessen werden im darauf folgenden Abschnitt abgeschlossene Studien, in denen das iPeM in der Praxis angewendet wurde, analysiert. Dies erlaubt die Bestimmung genereller Wirkbereiche der Produktentstehung, in denen Nutzen und

⁵⁹⁶ Eckert und Stacey 2010, S. 13

Aufwand spezifiziert werden können. Eine Betrachtung der ursächlichen Beziehungen erfolgskritischer Faktoren führt schließlich zur Definition messbarer Kriterien für eine Evaluation von Prozessmodellen und deren Implementierungen.

5.1 Stand der Forschung zum Nutzen der Prozessmodellierung

Diesem Abschnitt liegt die Fragestellung zugrunde, was – d.h. welche Art von Informationen – in einem modellbasierten Ansatz zur Unterstützung der Produktentstehung berücksichtigt werden muss. Verwandte Studien in der Literatur, die z.B. auf Unternehmensbefragungen basieren, konnten überwiegend nur die Relevanz einzelner Faktoren valide feststellen. Abhängigkeiten zwischen diesen Faktoren sind etwa durch Fragebögen kaum zu bestimmen. Auch semi-strukturierte Interviews ermöglichen zwar beiderseitige Rückfragen, jedoch wird die Aussagengüte durch Einflussnahme des Interviewenden u.U. korrumpiert.⁵⁹⁷ Die Benchmarking-Studie „FuE-Controlling“ von HORVÁTH & PARTNERS zeigt bspw. die Notwendigkeit einer engen Abstimmung von Controllingmaßnahmen auf relevante Kenngrößen aus Forschung und Entwicklung. Die Managementebene sei auf ein hinreichend aussagekräftiges FuE-Reporting angewiesen⁵⁹⁸, denn erst transparente Zielsetzungen ermöglichen strategisch richtige Entscheidungen in „frühen Phasen“ der Produktentstehung. Hierfür sei ferner eine transparente Kommunikation entscheidend. Es lasse sich auch zeigen, dass die Bestimmung der passenden Detaillierungsstufe – so wenig wie möglich; so viel wie nötig – für eine kontinuierliche Regelung von Produktentstehungsprozessen ein zentraler Erfolgsfaktor sei.⁵⁹⁹ Gleichwohl könne diese „passende Stufe“ nicht pauschal für beliebige Unternehmen und Branchen definiert werden. Für die Schaffung grundlegender Möglichkeiten, steuerungsrelevante Projektkenngrößen aus Produktentstehungsprozessen zu extrahieren, sieht das BMWi-geförderte Projekt ProWis⁶⁰⁰ daher Potential in einem prozessorientierten und integrierten Wissensmanagement. Besondere Bedeutung komme dabei implizitem, hier „Erfahrungswissen“ genanntem Wissen zu.⁶⁰¹ Dessen Explizierung, also das Verfügbarmachen für andere Beteiligte stellt jedoch, wie in Abschnitt 2.1 gezeigt, eine große Herausforderung dar.

5.1.1 Eignung von Modellierungstechniken für verschiedene Modellzwecke

Diese einleitenden Betrachtungen zeigen, dass in der Praxis je nach Problemstellung unterschiedliche Faktoren über Erfolg oder Misserfolg einer Prozessmodellierung

⁵⁹⁷ vgl. Bortz und Döring 2006, S. 238f.

⁵⁹⁸ vgl. Erhardt und Riepl 2009

⁵⁹⁹ vgl. Neumann et al. 2009

⁶⁰⁰ ProWis – prozessorientiertes und integriertes Wissensmanagement in KMU

⁶⁰¹ Orth et al. 2008

entscheiden. Die Ansprüche, die an die Repräsentation dabei gestellt werden, sind z.T. sehr hoch und schwer mit verfügbaren Modellierungstechniken umzusetzen. Auf Basis umfangreicher Literaturrecherchen stellten AMIGO ET AL. verfügbare Modellierungstechniken des Forschungsstands einer umfangreichen Liste von Modellierungszwecken im Feld der Produktentwicklung gegenüber. Die 52 betrachteten Modellierungsmethoden umfassen u.a. die in Abschnitt 2.5.1 vorgestellte BPMN, Signposting, CPM, PERT und GERT, SADT, IDEF0 und IDEF3, Petri-Netze oder DSM. Diese werden in einer Matrix über 28 Modellierungszwecken aufgetragen. Letztere reichen von der Bestimmung der (statischen) Komplexität eines Entwicklungsprozesses, dessen Leistungsfähigkeit oder Risiken bis hin zu Simulationen und Visualisierungen zum Zweck der Verbesserung von Verständnis und Kommunikation.

Das Beispiel zeigt zwar, dass die Eignung von Modellierungstechniken auf einer abstrakten, fallunabhängigen Betrachtungsebene untersucht werden kann. Es ist damit jedoch keine Aussage über die Eignung von Modellierungsansätzen möglich, in denen diese Modellierungstechniken angewendet werden. Diese Ansätze adressieren, wie in Abschnitt 2.4 erläutert, z.T. sehr unterschiedliche Modellierungsziele. Daher ist ein Vergleich von Modellierungsansätzen ungleich schwieriger als eine fallneutrale Diskussion von Modellierungstechniken.

5.1.2 Situationsspezifische Unterschiede der Eignung von Prozessmodellen

HECK fasst Arbeiten zusammen, die einen Vergleich von Prozessmodellen anstreben. Diese gingen von einer bestimmten Auswahl an Prozessmodellen aus und betrachteten deren charakteristische Eigenschaften. Meist erfolge dies aus einer akademischen Sicht, die wenig hilfreich für Entscheider in der industriellen Praxis sei. Im Detail unterschieden sich die Studien stark nach den jeweiligen Perspektiven der Autoren. Bei „statischen Vergleichen“ würden feste Kriterien auf die Modelle angewandt. Normative Bewertungskriterien erlaubten dann Aussagen über eine Rangfolge der Eignung der Modelle. Jedoch fänden bei dieser statischen Vorgehensweise situationsspezifische Faktoren keine Berücksichtigung. Daher sei weder nachvollziehbar, ob die zugrunde gelegten Kriterien vollständig, noch zutreffend seien.⁶⁰²

Für eine situationsspezifische Betrachtung der Eignung von Prozessmodellen wurde am IPEK – Institut für Produktentwicklung – in Zusammenarbeit mit dem Engineering Design Centre (EDC) eine dynamische Methode entwickelt. Im Gegensatz zu den zuvor besprochenen Ansätzen werden darin situationscharakterisierende Parameter

⁶⁰² vgl. Heck 2013 (betreute Abschlussarbeit), S. 29f.

genutzt, um eine spezifische Eignung beliebiger Modellierungsansätze festzustellen. Die zugrunde gelegten Bewertungskriterien werden hierbei für individuelle Situationen gewichtet bzw. skaliert. Trifft ein Kriterium für eine Situation nicht zu, wird es nicht in die Bewertung mit einbezogen. Aus einer umfangreichen Literaturbetrachtung wurden von HECK folgende Kriterien abgeleitet: adaptability, performance, communication, team behaviour, problem solving and learning, knowledge handling, implementation and application of process models.⁶⁰³

5.1.3 Anforderungen an Prozessmodelle im Stand der Forschung

Die Zusammenstellung von Bewertungskriterien für die Methode zur situationspezifischen Auswahl von Prozessmodellen ist vergleichbar mit den Modellierungszwecken in der Aufstellung in Abschnitt 5.1.1. Die Unterscheidung der jeweiligen Zwecke ist jedoch vergleichsweise gröber, was für die Erfordernisse der Methode aber ausreicht (u.a. soll die Anwendbarkeit nicht durch zu viele ähnliche Aspekte eingeschränkt werden). In der Literatur finden sich zahlreiche weitere Sammlungen von Anforderungen an die Prozessmodellierung, die ebenfalls aus unterschiedlichen Sichten motiviert sind und dementsprechend variieren.

WYNN ET AL. gehen bspw. von der generischen Fragestellung aus, wie eine Prozessmodellierung insgesamt nützlicher gestaltet werden könne. Sie sehen den übergeordneten Nutzen von Prozessmodellen darin, Wissen über Produktentstehungsprozesse zu generieren, das sich für deren erfolgreiche Durchführung, Regelung und Verbesserung eignet. Auf Basis der Theorie kybernetischer Systeme identifizierten die Autoren acht begrenzende Faktoren für diesen Nutzen:

- die Möglichkeiten, Abweichungen von einem gewünschten Soll-Zustand oder einem „idealen Verhalten“ erkennen zu können (Detection);
- die Wahrheitstreue des Modells beziehungsweise des Wissens um das abzubildende System (Knowledge);
- die Möglichkeiten, aktionsauslösend zu wirken – z.B. durch Handlungsvorschläge – und damit effektiv Nutzen aus dem Modell zu ziehen (Actuation);
- die Möglichkeiten, über die Effektivität der Modellnutzung reflektieren zu können, um gegebenenfalls nachsteuern zu können (Reflection);
- die Möglichkeiten, die das Modell bietet um Ziele und Erfolgsfaktoren an übergeordnete Vorgaben von Prozess oder Organisation oder aber anderer Modellierer anzugleichen (Alignment);
- die Möglichkeiten, den Informationsgehalt des Modells durch geeignete Filter an die Bedürfnisse der Modellnutzer anzupassen (Perception);

⁶⁰³ ebda. S 63ff.

- die Möglichkeiten, benötigte Modellelemente gezielt auswählen und gewichten zu können (Abstraction); und
- die Verzögerung, die sich zwischen Beobachtung und Reaktion ergibt sowie die Ansprechrate von Nachbereitern und Lernen (Responsiveness).⁶⁰⁴

BROWNING identifiziert aus Sicht des Managements 28 Modellierungszwecke im Rahmen von Literaturrecherchen und einer Fallstudie.⁶⁰⁵ Diese lassen sich in vier Kategorien klassifizieren:

- Projektvisualisierung (einschl. Aktivitäten, Interaktionen, Beschlüsse und verschiedener Sichten);
- Projektplanung (mit Hilfe einer bestimmten Struktur);
- Projektdurchführung und –Controlling (Überwachung von Beschlüssen und Fortschritten; einschl. Iterationen);
- Projektentwicklung im Sinne einer (kontinuierlichen) Verbesserung, Weiterbildung und Wissensarbeit.⁶⁰⁶

Ergänzend zu dieser Sicht des Managements formulieren ALBERS und MEBOLDT folgende sechs Anforderungen zur Unterstützung der Produktentwicklung:

- Umfassende Navigation der Entwickler durch den Prozess;
- Effektive Bereitstellung spezifischer Werkzeuge und Methoden im Prozess;
- Dokumentation spezifischen Wissens;
- Integration des Managements;
- Initialisierung strategischer Projektentscheidungen;
- Standardisierung des Entwicklungsprozesses.⁶⁰⁷

5.1.4 Abhängigkeiten der Anforderungen an Prozessmodelle

Diese Beispiele veranschaulichen, dass in der Literatur sehr viele Aufstellungen von Anforderungen existieren. Sie alle können weder belegt, noch widerlegt werden und sind in weiten Teilen ineinander überführbar. Mit einfachen Überlegungen kann zudem aufgezeigt werden, dass diese Aspekte keinesfalls unabhängig voneinander sind. Abbildung 18 zeigt z.B. links im Bild direkte Abhängigkeiten zwischen den vier Modellierungszwecken, die BROWNING ET AL. anführen. Dazu wurden sie in einer quadratischen Matrix aufgetragen, deren Einträge von 1 bis 3 die zunehmende Stärke des jeweiligen Einflusses indizieren. Demnach hat die Güte der Visualisierung bspw. einen sehr hohen Einfluss auf Projektplanung und Durchführung, da die

⁶⁰⁴ vgl. Wynn et al. 2010a

⁶⁰⁵ vgl. Browning 2010

⁶⁰⁶ vgl. Albers und Braun 2011 nach Browning und Ramaseh 2007

⁶⁰⁷ ebda. nach Albers und Meboldt 2007

Verfügbarkeit expliziter Informationen eine notwendige Bedingung hierfür darstellt. Die Darstellung in der Bildmitte zeigt das Ergebnis einer Quadrierung einer Matrix, in der diese Abhängigkeiten jeweils binär (d.h. als 0 für die Diagonalen-Elemente und als 1 für die übrigen Matrixfelder) eingetragen wurden. Gemäß der Graphentheorie zeigen die nicht-leeren Einträge der Diagonalen in der quadrierten Matrix, dass die jeweiligen Elemente allesamt auch indirekt zu erreichen sind (sogenannte „Feedback Loop Analyse“⁶⁰⁸). Dies bedeutet, dass neben den direkten Abhängigkeiten zwischen allen Elementen weitere, zunächst nicht ersichtliche Wechselwirkungen bestehen. Rechts im Bild sind außerdem die Modellierungszwecke nach BROWNING ET AL. über denen nach ALBERS und MEBOLDT aufgetragen. Auch in dieser Betrachtung wird deutlich, dass die Aspekte jeweils in Beziehung zueinander stehen.

	A	B	C	D
A: Visualisierung		3	3	2
B: Planung	1		3	3
C: Durchführung & Controlling	1	2		3
D: Entwicklung/Verbesserung	1	2	2	

(quadriert)	A	B	C	D
A: Visualisierung	3	2	2	2
B: Planung	2	3	2	2
C: Durchführung & Controlling	2	2	3	2
D: Entwicklung/Verbesserung	2	2	2	3

	A	B	C	D
E: Standardisierung	2	1	1	3
F: Dokumentation	1	3	3	3
G: Navigation	1	2	3	1
H: Werkzeuge/Methoden	1	2	3	2
I: Integration des Managements	1	3	3	2
J: Herbeiführen von Entscheidungen	1	2	3	1

Abbildung 18: Direkte und indirekte Abhängigkeiten der Modellierungszwecke

Die in der Literatur aufgeführten Modellierungszwecke sind demnach nicht unabhängig voneinander. Daher kann z.B. keine Rangfolge unter ihnen gebildet werden, bzw. es können keine Fest-, Mindest-/Bereichs- oder Wunschanforderungen auf deren Basis formuliert oder gar quantifiziert werden. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der verfügbare Forschungsstand zwar ausreicht, um etwa die Eignung von Modellierungstechniken für bestimmte Zwecke oder die Eignung von Prozessmodellen für spezifische Situationen zu beurteilen; jedoch können die Aufstellungen von Modellierungszwecken nicht ohne weitere Untersuchungen als ein Zielsystem für eine werkzeugtechnische Umsetzung eines Prozessmodells wie dem iPeM dienen.

5.1.5 Zwischenfazit aus der Analyse des Forschungsstands

Nach der Betrachtung der Literatur kann festgehalten werden, dass die Identifikation einer Anforderungsliste gemäß einer „klassischen Produktentwicklung“ für die Implementierung des iPeM nicht möglich ist. Zwar finden sich in verschiedenen

⁶⁰⁸ vgl. Lindemann et al. 2009, S. 125

Forschungsarbeiten zahlreiche Aufstellungen von Modellierungszwecken. Diese sind jedoch einerseits aus jeweils individuellen Perspektiven entstanden und adressieren somit verschiedene Modellierungszwecke. Andererseits sind die verfügbaren Sammlungen nicht unabhängig voneinander, so dass weder eine Favoritenauswahl, noch eine Zusammenführung der Arbeiten zielführend erscheint.

Stattdessen wird im folgenden Abschnitt eine Art „Marktstudie“ vorgestellt. Um im Bild der Produktentwicklung zu bleiben, wird dabei mit Hilfe von „Testkunden“ eine Beobachtung erster iPeM-Anwendungen in der Praxis durchgeführt. Im Sinne der „Design Research Methodology“ (DRM) handelt es sich hierbei um die erste deskriptive Studie, die sich an die Sichtung der Literatur anschließt.

5.2 Deskriptive Studien

Wie im vorangehenden Kapitel gezeigt, befassen sich bereits etliche wissenschaftliche Arbeiten mit dem Nutzen, den eine Prozessmodellierung potentiell mit sich bringen kann. Diese Arbeiten unterscheiden sich nach den jeweiligen Perspektiven der Autoren. So haben Entwickler typischerweise andere Erwartungen an Prozessmodelle als Manager, wie die oben angeführten Beispiele zeigen. In dieser Arbeit soll ein politischer Beitrag, der mehreren Zielen bzw. Perspektiven gerecht werden kann, erarbeitet werden. Daher werden im Folgenden verschiedene Studien untersucht, um generelle erfolgskritische Faktoren der Prozessmodellierung zu bestimmen. Ziel dieses Abschnittes ist eine systematische Problemeingrenzung für eine werkzeugtechnische Implementierung des iPeM.

Am IPEK – Institut für Produktentwicklung – werden Methoden und Prozesse anhand realer Systeme in zahlreichen Projekten erforscht. Viele Projekte werden dabei mit Hilfe des iPeM modelliert, wobei die Art und der Umfang dessen Anwendung stark variiert. Betreut vom Autor der vorliegenden Dissertation untersuchte und verglich AVERBECK sechs Projekte, um bei den unterschiedlichen iPeM-Anwendungen wiederkehrende Problemstellungen oder auch best practices zu identifizieren. Übergeordnetes Ziel der Untersuchungen war die Erarbeitung von allgemeinen Anforderungen an eine softwaretechnische Umsetzung des iPeM.⁶⁰⁹

Bei den betrachteten Studien handelt es sich um Produktentwicklungsprojekte unterschiedlicher Dauer, die in unterschiedlichen Branchen durchgeführt wurden. Die jeweils Beteiligten hingegen waren hinsichtlich der Hintergründe ihrer Ausbildung und ihrer Berufserfahrung vergleichbar, da es sich um Studierende kurz vor deren Studienabschluss oder um junge wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts handelte.

⁶⁰⁹ vgl. Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit)

Die betrachtete Nutzergruppe kann folglich als hinreichend homogen angenommen werden, um verallgemeinerbare Schlüsse zu ziehen – trotzdem zeigten sich individuelle Unterschiede in den einzelnen Projekten. Ein Schwerpunkt der Studie lag auf der Interaktion der Nutzer mit dem Modell. Es wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass ähnliche Anforderungen der Nutzer Hinweise darauf seien, dass eine Funktionalität für beliebige Anwendungen des Modells von Bedeutung sei. Divergierende Bedürfnisse würden dagegen Bereiche kennzeichnen, in denen das Modell flexibel und anpassbar sein müsse. Der Fokus auf die Anwender sollte insgesamt dazu beitragen, eine fehlende Ausrichtung auf die Modellnutzer als häufig auftretende Quelle von Akzeptanzproblemen beim Einsatz von Prozessmodellen zu verringern bzw. zu vermeiden.⁶¹⁰

Die betrachteten Projekte wurden zum einen mittels Dokumentenstudien untersucht. Als Dokumente lagen jeweils Ausarbeitungen in Form von Studien- und Diplomarbeiten, Eintragungen in einem Projekt-Wiki oder Präsentationen vor. Für deren Auswertung wurde der zeitliche Ablauf der verschiedenen Projekte als Phasendiagramme gegenübergestellt und verglichen. Weiterhin wurden die Anzahl und Art der durchgeführten Aktivitäten bestimmt, ähnliche Abfolgen von Aktivitäten gesucht sowie Iterationen bzw. deren Gründe ermittelt. Außerdem wurden die Menge abgelegter Informationen und der Informationsgehalt der Projektdokumentationen ermittelt. Basierend auf diesen Analysen wurden Hypothesen gebildet, inwieweit sich die Ergebnisse auf die Projektcharakteristika zurückführen ließen und inwieweit allgemeingültige Aussagen getroffen werden konnten.

Ergänzend zu den Dokumentenstudien wurden zum anderen teilstrukturierte Interviews mit den Projektbeteiligten durchgeführt, um detailliertere Informationen über den jeweiligen Projektablauf zu erfahren. Die offene, qualitative Interviewform erlaubte die Klärung von Fragen, die sich aus der Untersuchung ergaben und ermöglichte eine erste Überprüfung der aus der Untersuchung abgeleiteten Hypothesen. Außerdem konnte individuellen Wünschen und Anregungen der Nutzer so Rechnung getragen werden.⁶¹¹

Um der ressourcenbedingt kleinen Anzahl untersuchter Projekte zu begegnen, wurde außerdem eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. So konnte sichergestellt werden, dass die nicht-repräsentativen und u.U. subjektiv verzerrten Studienergebnisse dennoch relevant sind.

⁶¹⁰ vgl. Smith und Morrow 1999 oder Browning et al. 2006

⁶¹¹ vgl. Bortz und Döring 2006, S. 238f.

In Tabelle 7 ist eine Übersicht über die betrachteten Projekte dargestellt. Sie werden nachstehend jeweils nur kurz beschrieben. Der Fokus der weiteren Ausführungen liegt auf den Untersuchungsergebnissen, die im folgenden Abschnitt detailliert betrachtet werden.

Tabelle 7: Übersicht der untersuchten Projekte

Inhalt des Projekts	Branche	Dauer	Beteiligte bzw. Modellnutzer
Unterwasserscooter	Freizeitindustrie	180 Tage	Studierende, wiss. Mitarbeiter
Schleppstangen	Maschinenbau	60 Tage	Studierende, wiss. Mitarbeiter
Papieraufbereitung	Papierindustrie	135 Tage	Studierende
Lenkung und Feder-Dämpfer-System	Rennsport	78 Tage	Studierende
Individualmobilität (zwei Teilprojekte)	Automobilindustrie	123 Tage	Studierende, wiss. Mitarbeiter

Bei dem ersten Projekt handelt sich um die Entwicklung eines Tauchsportgeräts. Es wurde von zwei unerfahrenen Studierenden und zwei Autodidakten durchgeführt, die die Entwicklung motiviert aus eigenen Freizeitaktivitäten angingen. Das Projekt wurde daher in Teilen intuitiv und keiner strengen methodische Vorgehensweise folgend durchgeführt. Es ist von zahlreichen Testversuchen mit Prototypen gekennzeichnet. Besonders interessant für die deskriptive Studie ist die Beobachtung, wie die Beteiligten Iterationen handhabten. Für die Dokumentation des Entwicklungsgeschehens wurden die Studierenden angehalten, ein Wiki zu pflegen.⁶¹²

Die Erarbeitung von alternativen Konzepten für Flugzeugschleppstangen im Auftrag eines Industriepartners ist Gegenstand der zweiten Studie. Hier waren im Gegensatz zum ersten Projekt auch wissenschaftliche Mitarbeiter beteiligt, die bereits Erfahrungen mit Entwicklungsprojekten gemacht hatten. Für eine methodische Strukturierung des Projekts wurde dem Phasenmodell eine übergeordnete Abfolge in Entsprechung zu den SPALTEN-Schritten der Problemlösung zugrunde gelegt. Die wesentlichen Impulse für die Produktverbesserung ergaben sich hierbei in der Situationsanalyse und Problemeingrenzung. Die Modellierung des Prozesses erfolgte im Rahmen einer Studienarbeit.⁶¹³

Die dritte Studie fand begleitend zur Lehrveranstaltung „Integrierte Produktentwicklung (IP)“ am IPEK – Institut für Produktentwicklung – statt. Dabei arbeiten

⁶¹² vgl. Matutschka 2012 und Jaborski 2012 (Abschlussarbeiten)

⁶¹³ vgl. Krampfert 2011 (Abschlussarbeit)

jährlich sieben studentische Teams mit jeweils fünf bis sechs Mitgliedern gleichzeitig, aber unabhängig voneinander an einer Aufgabenstellung, die von einem Industriepartner gestellt wird. Die Randbedingungen des Entwicklungsprojekts (Zeitdruck, professionelle Arbeitsumgebung) sind bewusst realitätsnah gestaltet. Die Studierenden arbeiten über einen Zeitraum von vier Monaten in Vollzeit am Projekt.⁶¹⁴ In IP finden demnach jährlich tatsächliche Produktentstehungsprozesse statt, deren Komplexität und technisch-organisatorischer Anspruch auf dem Niveau leistungsfähiger Industrieprozesse sind. Anhand dieser können relevante wissenschaftliche Forschungen betrieben werden. Zugleich ermöglicht die Durchführung der Projektarbeit in den Räumlichkeiten und unter Zuhilfenahme der Infrastruktur des Instituts zu jeder Zeit eine gute Beobachtbarkeit.⁶¹⁵ In der betreffenden Studie wurde ein Team von sechs Studierenden bei der Erarbeitung von neuen Technologien zur Altpapieraufbereitung beobachtet. Dabei sollte erforscht werden, ob jeder Aspekt, der dem beobachteten Entwicklungsteam relevant erschien, im iPeM abgebildet werden kann. Hierfür wurden wöchentlich offene Interviews mit dem Teamsprecher durchgeführt, diese vom Interviewer transkribiert und in ein Flussdiagramm eingetragen. In diesem wurden die Prozessinhalte den iPeM-Elementen (Ziele, Aktivitäten, Ressourcen und Objekte) zugeordnet und durch Pfeile miteinander in logische Beziehungen gesetzt. Es zeigte sich, dass tatsächlich alle Informationen zweckgemäß im iPeM eingetragen werden können. Das resultierende Modell umfasst 800 Prozessinhalte und 940 Pfeile. Jedoch wurde auch offenbar, dass ohne erweiterte Werkzeugunterstützung kaum ein Wiederauffinden (Filtern) der modellierten Informationen möglich war. Auch ist die Informationsgüte anzuzweifeln, die durch die Interviewsituation, das Transkribieren und die manuelle Eintragung ins Modell verfälscht werden konnte. Darüber hinaus war der Modellierungsaufwand inkl. Zeitbedarf für die Interviews mit über 200 Stunden beträchtlich.⁶¹⁶

Die Weiterentwicklung der Teilsysteme Lenkung und Feder-Dämpfer eines Rennfahrzeugs fand im Rahmen der studentischen Rennsportserie „Formula Student“ statt. Interessant ist diese Studie insbesondere aufgrund der multidisziplinären Zusammensetzung des Teams. Neben technischen Aspekten gilt es in den Wettbewerben auch wirtschaftliche Ziele zu erreichen. Die Modellierung der Prozesse erfolgte im Rahmen einer Diplomarbeit unter Zuhilfenahme der Software MS Excel.⁶¹⁷

⁶¹⁴ vgl. Albers et al. 2008a

⁶¹⁵ weitere Informationen: http://www.ipek.kit.edu/70_788.php

⁶¹⁶ vgl. Albers und Braun 2012 und Albers et al. 2013

⁶¹⁷ vgl. Hauenstein 2010 (betreute Abschlussarbeit)

Wie bei der vorigen Studie handelt es sich auch bei der Entwicklung eines modularen Gesamtfahrzeugs als neuartige Lösung für die Individualmobilität um ein Projekt, das von einem Team von Studierenden durchgeführt wird. Hier wurde das Gesamtprojekt mit Hilfe eines Wiki im Rahmen einer Studienarbeit modelliert.⁶¹⁸ Die einzelnen Wiki-Seiten mit den Projekthaltungen wurden dabei durch eine Startseite verlinkt, die in ihrer Darstellung dem iPeM (vgl. Abbildung 11) nachempfunden ist. Es wurde ersichtlich, dass die zentrale Bereitstellung der Informationen im Wiki grundsätzlich eine verteilte Zusammenarbeit ermöglicht. Jedoch ist hierfür ein gemeinsames Modellverständnis unerlässlich. Mit einem Fragebogen wurde im Rahmen der Studienarbeit festgestellt, dass die Mehrheit der Prozessbeteiligten eine positive subjektive Einschätzung bezüglich Projektübersicht und Wissenstransfer durch das Wiki teilt. Jedoch wurden in dieser ersten Wiki-Umsetzung des iPeM zahlreiche technische Unzulänglichkeiten kritisiert. Insbesondere den Zeitaufwand zur Pflege des Wiki empfanden alle Projektteilnehmer als zu hoch.

Die Auswahl einer Traktionsbatterie in diesem Projekt wurde separat untersucht. Für dieses Teilprojekt wurde das Entwicklungsgeschehen im Rahmen einer Diplomarbeit in MS Project modelliert. Hierzu wurden Implementierungs- und Anwendungsmodelle erstellt und miteinander verglichen. Übergeordnetes Ziel der Arbeit war die Identifikation von Referenzmodellen als Muster für wiederkehrende Entwicklungsprobleme.⁶¹⁹

5.2.1 Untersuchungsergebnisse

Die Auswertung der Studien und die ergänzende Literaturrecherche erlaubt die Eingrenzung von allgemeinen Themenfeldern, die bei einer werkzeugtechnischen Umsetzung einer Prozessmodellierung beachtet werden müssen. Analog zur „Design Research Methodology“ (DRM) handelt es sich dabei um die Bestimmung erfolgsrelevanter Bereiche der wissenschaftlichen Arbeit.⁶²⁰ Folgende drei Themenfelder sind demnach für eine erfolgreiche Unterstützung von Produktentstehungsprozessen mittels Prozessmodellierung von Bedeutung: die Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses zwischen Nutzern unterschiedlicher Fachdisziplinen und Hierarchien, die Informationserfassung und das Verhältnis von Nutzen und Aufwand. Weiterhin ergeben sich zwischen diesen Themenfeldern drei Schnittmengen. Wie die Auswertung der oben genannten Studien ergab, sind diese für die vorliegende Arbeit von großer Relevanz.⁶²¹ Es handelt sich dabei um

⁶¹⁸ vgl. Reich 2010 (betreute Abschlussarbeit)

⁶¹⁹ vgl. Wald 2010 (betreute Abschlussarbeit)

⁶²⁰ "Areas of relevance and contribution" – vgl. Blessing und Chakrabarti 2009, S. 63

⁶²¹ vgl. Auerbeck 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 21

Interpretationsspielräume, Betrachtungstiefe und effektive Kommunikation. Die Themenfelder werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert. Eine Übersicht der ermittelten Themenfelder und ihren Schnittstellen ist in Abbildung 19 dargestellt.

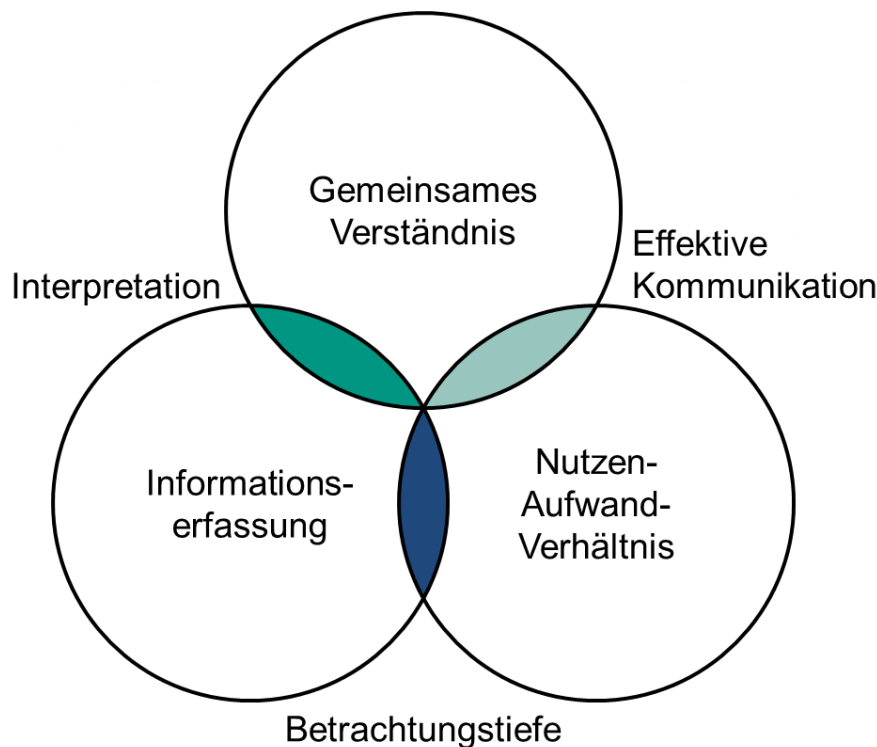


Abbildung 19: Ermittelte erfolgskritische Faktoren der Prozessmodellierung⁶²²

5.2.1.1 Gemeinsames Verständnis

POSTREL benennt ein Paradoxon in der Frage des gemeinsamen Verständnisses: Einerseits sei die zunehmende Arbeits- und Wissensteilung eine Voraussetzung der modernen Industriegesellschaft. Andererseits zeigten Studien, dass in der Produktentwicklung die Integration unterschiedlicher Fachbereiche mit besseren Ergebnissen korreliere.⁶²³ Nach VALKENBURG und DORST bewirke ein Mangel an gemeinsamem Verständnis zusätzliche Iterationsschleifen.⁶²⁴ Außerdem leide die Produktqualität darunter, dass bei unzureichendem gemeinsamem Verständnis nicht alle Probleme bzw. Anforderungen identifiziert und gelöst werden würden.⁶²⁵

MEBOLDT begründet aus theoretischen Überlegungen die Notwendigkeit gemeinsamer Mentalmodelle.⁶²⁶ In den Studien konnte dies auch für die reale Anwendung des iPeM bestätigt werden. Der Forderung nach Arbeitsteilung und spezialisiertem

⁶²² ebda.

⁶²³ Prostel 2002, zitiert nach Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 21

⁶²⁴ Valkenburg und Dorst 1998, zitiert nach Kleinsmann et al. 2010

⁶²⁵ Kleinsmann und Valkenburg 2008

⁶²⁶ Meboldt 2008, S. 203

Wissen auf der einen Seite, und dem gemeinsamen Verständnis von übergeordneten Zusammenhängen unter den Beteiligten auf der anderen Seite, trägt das Ausbildungsziel des Systemkonstruktors Rechnung (s. Kapitel 1.1.1).

5.2.1.2 Informationserfassung

AVERBECK unterscheidet Informationen auf einer abstrakten Ebene nach deren Eignung, um zu Prozess- oder Produktwissen verknüpft werden zu können. Weiterhin wird in dieser Betrachtung explizites und implizites Wissen unterschieden. Dies erlaubt eine Klassifizierung, wie sie in Tabelle 8 dargestellt ist. Prinzipiell sei die Erfassung explizit vorliegender Informationen weniger herausfordernd als die Erfassung impliziter Informationen. Welche Informationen benötigt werden, sei von den Zielen der Modellierung abhängig (s. hierzu auch Unterscheidungen hinsichtlich des notwendigen Detaillierungsgrads in Kapitel 5.2.1.5).

Tabelle 8: Klassifizierung von Informationen für verschiedene Modellierungsziele⁶²⁷

	Prozessrelevant	produktrelevant
Explizit	Informationen, die ohne längere Erfahrung mit dem spezifischen Prozess erlangt werden können und in dokumentierter Form vorliegen <i>Bsp.: Standards (z.B. ISO 9001), Organisationsstruktur</i>	Informationen, die (oft standardisiert) vorliegen und auch nach Ende eines Entwicklungsprojekts reproduzierbar sind <i>Bsp.: Lastenheft, Produktgestalt (CAD, Funktionsmuster), Bauteile</i>
Implizit	Aus der sozialen Interaktion der Beteiligten beruhende Beziehungen in Prozessen. <i>Bsp.: Informelle Beziehungen, „kurzer Dienstweg“</i>	Informationen, die in individuellen Teilprozessen genutzt wurden, aber nicht weiter dokumentiert sind (da bspw. als unwichtig erachtet) <i>Bsp.: pers. Wissensspeicher, Entscheidungsgrundlagen</i>

Die Art und Weise der Informationserfassung könne aktiv durch den Anwender selbst erfolgen, indem er Informationen in ein Erfassungswerkzeug eingabe oder sie erfolge automatisch im Hintergrund. Hierbei seien Fragen der Ergonomie (Eingabekomfort), der Informationssicherheit (Datenschutz) und der Zeiteffizienz entscheidende Kriterien für die Nutzerakzeptanz.⁶²⁸ Aus technischer Sicht gelte es, die Relevanz (Eignung), Zuverlässigkeit (korrekter Inhalt) und Konsistenz (korrekte Verknüpfung) der benötigten Informationen sicherzustellen. Dies habe umso mehr Relevanz, wenn Nutzer Informationen unter hohem Zeitdruck einpflegen sollten. HEISIG ET AL. untersuchten, welche Informationen Entwickler bei einer Projektdokumentation für

⁶²⁷ nach Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 30

⁶²⁸ vgl. Venkatesh und Davis 2000

wichtig halten.⁶²⁹ Überraschenderweise geben Entwickler zwar an, z.B. Informationen über Stakeholder, Glossar/Definitionen, oder Funktion-Gestalt-Zusammenhänge häufig aus vergangenen Projekten zu benötigen; dennoch werden solche Informationen als nicht erfassungswürdig genannt. Gerade für derartige Informationen hätte ein automatisierter Ansatz demnach großes Potential.

5.2.1.3 Verhältnis von Nutzen zu Aufwand

Das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand ist in letzter Konsequenz entscheidend über den erfolgreichen Einsatz eines Software-Werkzeugs. In der Betrachtung von Nutzen und Aufwand der Modellierung von Produktentstehungsprozessen mit dem iPeM fließen die Ergebnisse, die in den nächsten Kapiteln dargestellt werden, sämtlich zusammen. Zunächst wird dieses Themenfeld allgemein beschrieben. Grundsätzlich können dabei, wie in Gl. 2 dargestellt, drei Fälle unterschieden werden:

$$\frac{N}{A} = \begin{cases} < 1 & \text{für } N < A & a) \\ = 1 & \text{für } N = A & b) \\ > 1 & \text{für } N > A & c) \end{cases} \quad \text{Gl. 2}$$

Fall *a*) gibt ein ungünstiges Verhältnis von Nutzen und Aufwand an, in dem ein Einsatz des betreffenden Werkzeugs in Frage zu stellen ist. Fall *b*) charakterisiert den Grenzfall, in dem sich Nutzen und Aufwand gerade aufheben. Hier sind weitere Überlegungen zu treffen, ob sich ein Werkzeugeinsatz lohnt. Beispielsweise kann eine Abschätzung zukünftiger Entwicklungen einen Ausschlag für oder gegen eine Einführung des Werkzeugs geben. In Fall *c*) schließlich überwiegt der Nutzen den Aufwand. Dieser Fall ist bei der Werkzeugentwicklung anzustreben. Oftmals gelingt die volle Ausschöpfung des Potentials eines Werkzeugs jedoch nicht nur durch dessen Eigenschaften alleine, sondern erst durch eine erfolgreiche Einführungsstrategie im Unternehmen.

Weiterhin ist zwischen Nutzen und Aufwand zu unterscheiden, die sich für eine Einzelperson ergeben, und Nutzen und Aufwand, die sich für eine Gesamtorganisation ergeben. In den folgenden Kapiteln wird deutlich, dass der Nutzen einer Prozessmodellierung für individuelle Anwender in Form einer Unterstützung der täglichen Arbeit z.B. durch methodische Anleitung begründet sein kann. Die Wahrnehmung dieses Nutzens ist subjektiv – ein Novize wird von einer solchen Anleitung mehr profitieren als ein Experte. Aus der Perspektive einer Gesamtorganisation hingegen überwiegt der Nutzen einer Prozessmodellierung v.a. dann die Aufwände einer Werkzeugeinführung, wenn dieses über mehrere Prozesse hinweg

⁶²⁹ Heisig et al. 2010

verwendet wird. Erst dann erschließen sich z.B. Potentiale, die in der Wiederverwendung expliziten Wissens begründet liegen. Es obliegt der oberen Managementebene, diese langfristigen Vorteile für die individuellen Werkzeugnutzer ersichtlich zu machen und z.B. durch geeignete Anreizsysteme Sorge für eine Nutzung zu tragen.

5.2.1.4 Interpretationsspielräume

Zwischen den Themenfeldern „Gemeinsames Verständnis“ und „Informationserfassung“ finden sich „Interpretationsspielräume“ als kritische Schnittmenge. Jegliche Modellanwendung obliegt der Interpretation der Modellnutzer. Für eine gemeinsame Nutzung eines Modells sind eine konsistente Informationserfassung und eine „sprachlich etablierte Intersubjektivität“ als Voraussetzung für eine „objekt- und zielgerichtete gemeinsame Erkenntnis“⁶³⁰ unabdingbar. Dies spricht dafür, die Interpretationsspielräume eines Modells z.B. durch Modellierungsregeln und eine verbindliche Terminologie einzuschränken. Andererseits soll die Modellierung jedoch auch pragmatisch und flexibel auf verschiedenskalige Probleme angewandt werden können.

AVERBECK illustriert diese Problematik anhand der untersuchten Projekte. So zeigten sich bei den praktischen Anwendungen des iPeM große Unterschiede zwischen den Modellen – insbesondere bei der Einordnung von Tätigkeiten in die Aktivitätenmatrix. In den vertiefenden Interviews wurde z.B. die Unterscheidung zwischen den Aktivitäten Profilfindung und Modellierung von Prinzip- und Gestalt als Problem benannt. Auch die Differenzierung des SPALTEN-Schritts „Tragweitenanalyse“ und der Makroaktivität „Validierung“ stellte die iPeM-Anwender vor Schwierigkeiten.⁶³¹ Diese Beispiele sind v.a. vor dem Hintergrund bemerkenswert, dass alle Modellnutzer dieselbe Grundlagenvorlesung zur Produktentstehung und den Grundlagen des iPeM gehört hatten. Ein weiterer Aspekt, dem durch Modellierungsvorschriften begegnet werden könnte, betrifft die Instanziierung des iPeM. So gab es in den betrachteten Studien z.T. keinen Konsens, wie die Entwicklung einer Komponente durch ein einzelnes Teammitglied im Gesamtprojekt zu repräsentieren sei.⁶³² Dies könnte z.B. auf unterschiedlichen Ebenen desselben Modells, oder auch durch Integration von Submodellen in einem kohärenten Rahmenmodell erfolgen. Zum Zeitpunkt der hier betrachteten Studien existierten noch keine Vorstellungen über die Gestaltung der hierfür notwendigen Schnittstellen.

⁶³⁰ Meboldt 2008, S. 104 zitiert nach Habermas 1988

⁶³¹ vgl. Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 41f.

⁶³² ebda.

5.2.1.5 Betrachtungstiefe

Zwischen den Themenfeldern „Informationserfassung“ und „Verhältnis von Nutzen zu Aufwand“ findet sich die kritische Schnittmenge „Betrachtungstiefe“. Logischerweise steigt mit einem höheren Detaillierungsgrad der Aufwand der Informationserfassung. Auch die Handhabung großer Informationsmengen kann eine Herausforderung darstellen (z.B. für die Sicherung von Redundanzfreiheit und Konsistenz oder zur Wahrung aktueller Datensätze). Gleichzeitig bedingt aber je nach Anwendungsfall erst ein Mindestmaß an Information die Möglichkeiten, einen Nutzen zu realisieren.

Die untersuchten Studien waren in einer Betrachtungstiefe modelliert worden, die zwar für einen zeitlichen Vergleich der Prozessverläufe umfänglich genug waren; auch grobe Störungen der Verläufe waren erkennbar. Jedoch ließ die Modellierungstiefe kaum inhaltliche Vergleiche oder Rückschlüsse auf Entscheidungsprozesse oder Störungsursachen zu.⁶³³ Lediglich das Projekt um die Altpapieraufbereitung im Rahmen von IP war so detailliert erfasst worden, dass alle Eigenheiten des Projekts, die in den Interviews ermittelt wurden, im Modell nachvollzogen werden können. Hier wurde aber das oben diskutierte Problem offenbar, dass der Aufwand für Informationsakquise und Modellierung in keinem Verhältnis zum potentiellen Nutzen steht, der sich aus dieser Transparenz ergeben könnte. Um solch einen Nutzen realisieren zu können, muss auf die modellierten Informationszusammenhänge zugegriffen werden können. Auch hierbei muss letztlich der Aufwand, Informationen gezielt wieder aus dem Modell und ihrem Gesamtzusammenhang herauszufiltern, minimiert werden.⁶³⁴

5.2.1.6 Effektive Kommunikation

Voraussetzungen für eine effektive Kommunikation bilden die kritische Schnittmenge zwischen den Themenfeldern „Verhältnis von Nutzen und Aufwand“ und „Gemeinsames Verständnis“. Extreme Unterschiede im Verständnis werden dabei als ähnlich schädlich angesehen, wie eine extreme Angleichung, die kreativitätshemmend wirken kann. Somit stellt sich die Frage, wie weit ein gemeinsames Verständnis gehen sollte.⁶³⁵

AVERBECK folgert aus seiner Literaturrecherche und den betrachteten Studien, dass das Ziel nicht darin bestünde, dass sich jeder Mitarbeiter tiefgreifende Kenntnisse der anderen Fachbereiche aneignete.⁶³⁶ Der hierfür erforderliche Aufwand sei nicht vertretbar und würde überdies die unterschiedlichen Ausbildungswege in den

⁶³³ vgl. Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 45

⁶³⁴ ebda. S. 48

⁶³⁵ vgl. Mohammed und Dumville 2001, sowie Kleinsmann et al. 2010

⁶³⁶ vgl. Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 52f.

Disziplinen ad absurdum führen. Studien ergäben, dass herausragendes Spezialistenwissen bei sequentiellen Prozessen das gemeinsame Verständnis sogar ersetzen könne – etwa bei hochentwickelten Produktionsprozessen.⁶³⁷ Ein anderer Ansatz sei das Konzept der *transactive memory*. Hierbei werde angenommen, dass Teammitglieder Wissen bei anderen Teammitgliedern „auslagern“ und so die Gesamtmenge an Wissen, die das Team beherrschen könne, gesteigert werde.⁶³⁸ Voraussetzung sei, dass die Teammitglieder wüssten, wer über welche Informationen verfüge, was sich bei nicht eingespielten Teams in der Praxis häufig als Problem darstelle. Im IP-Projekt sei bspw. erst spät (nach 83 % der Projektlaufzeit) festgestellt worden, dass ein Teammitglied für eine bestimmte Aufgabe (CAD-Modellierung) mit Abstand am besten geeignet war.⁶³⁹ Von hoher Bedeutung sei hierbei wiederum eine gemeinsame Sprache in Form eines geteilten Metamodells oder einer gemeinsamen Ontologie.⁶⁴⁰

5.2.1 Zwischenfazit aus den deskriptiven Studien

Die Analyse der deskriptiven Studien stellt das Verhältnis von Nutzen und Aufwand als wichtigsten Aspekt der Prozessmodellierung heraus. Es steht in Zusammenhang mit den übrigen Themenfeldern und wird maßgeblich von diesen beeinflusst. Ferner spielt es eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz eines Unterstützungsansatzes auf persönlicher wie auf organisationaler Ebene dar. Dem Verhältnis von Nutzen und Aufwand muss daher bei der Implementierung einer werkzeugtechnischen Umsetzung des iPeM eine zentrale Rolle zukommen. Um hierfür erfolgskritische Faktoren identifizieren zu können, werden im Folgenden zunächst Nutzen und Aufwand für den Kontext der Produktentstehung spezifiziert. Dazu werden aus den Erkenntnissen der bisherigen Studien und der Sichtung der bestehenden Literatur zuerst generelle Wirkbereiche von Nutzen und Aufwand abgeleitet, für die im weiteren Verlauf der Arbeit ursächliche Aspekte erörtert werden.

5.3 Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung

Die Spezifizierung von Nutzen und Aufwand sowie zugehöriger Erfolgsfaktoren in diesem Abschnitt dient im Sinne der „Design Research Methodology“ (DRM) der Formulierung eines sogenannten „Impact Models“. Dabei handelt es sich um ein Erklärungsmodell, das Zusammenhänge von Ursachen und Wirkungen des betrachteten Forschungsgegenstands veranschaulicht.⁶⁴¹ Im Rahmen dieser Arbeit

⁶³⁷ vgl. Postrel 2002

⁶³⁸ vgl. Wegner 1986

⁶³⁹ Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 53

⁶⁴⁰ vgl. Postrel 2002

⁶⁴¹ vgl. Blessing und Chakrabarti 2009, S.24ff.

wird mit der Produktentstehung jedoch ein sehr vielfältig vernetztes System betrachtet. Daher unterliegen die Ursache-Wirkungs-Beziehungen hier zahlreichen Einflüssen und Wechselwirkungen untereinander, die in Folge der in Abschnitt 2.4.2 erläuterten Einflussparameter überdies situationsspezifisch und dynamisch veränderlich sind. Daher werden mit dem „Impact Model“ keine quantitativen Schlussfolgerungen angestrebt. Dies bedeutet, dass damit nicht direkt auf eine „Optimierung“ der Faktoren und Einflussparameter der Produktentstehung abgezielt werden soll. Stattdessen soll die umfassende Aufstellung der wesentlichen Wirkzusammenhänge dazu verhelfen, das komplexe System der Produktentstehung greifbar zu machen. Dieses erweiterte Verständnis erlaubt die Identifikation zentraler Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung. Diese dienen als Basis für die Planung, Durchführung und Analyse der Studien, die in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden. Ferner wird nicht versucht, alle erdenkbaren Einflüsse auf Erfolg oder Misserfolg der Produktentstehung aufzuführen. Stattdessen werden auf Basis der Erkenntnisse aus der Literaturrecherche und den zuvor beschriebenen Studien generelle Wirkungen und deren maßgeblichen Einflüsse aus einer überschauenden, projektunabhängigen Perspektive in einen Zusammenhang gebracht.

5.3.1 Generelle Wirkbereiche der Prozessmodellierung

Zunächst werden generelle Wirkbereiche einer Prozessmodellierung identifiziert. Anhand dieser sollen im weiteren Verlauf der Arbeit Nutzen und Aufwand für konkrete Fallbeispiele bestimmt werden. In einer grundsätzlichen Betrachtung können die Bereiche in vier Kategorien unterteilt werden, die sich aus verschiedenen Perspektiven auf die Prozessmodellierung ergeben. Dabei handelt es sich um die Perspektiven der Aus- und Weiterbildung, der Projektplanung, -durchführung und -nachbereitung. Sie werden in den folgenden Unterabschnitten kurz anhand beispielhafter Möglichkeiten erläutert, die sich aus ihnen jeweils ergeben können. Eine umfassende Aufstellung von Nutzenpotentialen ist Gegenstand des darauffolgenden Abschnitts.

5.3.1.1 Perspektive der Aus- und Weiterbildung

In dieser Kategorie wird weniger die fachspezifische akademische oder berufliche Bildung adressiert als vielmehr der Aspekt des lebenslangen Lernens in jedweder Position im Feld der Produktentstehung. Auf Basis der in Abschnitt 2.1.1 besprochenen kognitions- und lernpsychologischen Grundlagen kommt dem Verständnis elementarer Zusammenhänge des Betrachtungsgegenstands „Produktentstehung“ hierbei eine zentrale Rolle zu. Erst das Wissen um diesen Kontext und seine Wirkmechanismen ermöglicht es, Informationen und neue Erkenntnisse bzw. zunehmende Reifegrade des zu entwickelnden Produkts und/oder Produktionssystems in ein kohärentes mentales Konzept einzuordnen. Somit kann

persönliches Wissen um technische Aspekte, um Vorgehensweisen etc. kontinuierlich auf- und ausgebaut werden. Ebenso kann nur auf Basis gemeinsamer Verständnismodelle ein Lernen auf der Ebene einer Organisation erfolgen. Aus geteilten Mentalmodellen kann die Möglichkeit erwachsen, komplexe Sachverhalte zu überschauen und greifbar zu machen. Sie bilden ein intersubjektives, theoretisches Verständnis ab, das eine notwendige Grundlage für systemisches Denken, sowie eine kooperative und zielorientierte Arbeit darstellt.

Hierfür ist eine Standardisierung bzw. Formalisierung des betrachteten Gegenstands von Bedeutung. Es kann sich bspw. in einem Glossar manifestieren, das die zentralen Elemente und deren Bedeutung im Kontext eines Unternehmens in einer bestimmten Branche umfasst. Weitere Beispiele für Medien, die über eine Beschreibung jeweiliger Elemente hinaus auch deren mögliche Verknüpfungen (Syntax) umfassen kann, sind Wikis oder andere Formen vernetzter Inhalte wie Topic Maps oder Ontologien. Metamodelle wie das iPeM können hierbei als Rahmen dienen.

5.3.1.2 Perspektive der Projekt- und Arbeitsplanung

Diese Kategorie adressiert die Ausgestaltung individueller Produktentstehungsprozesse. Dabei sind zwei Sichten zu unterscheiden: Sowohl im Rahmen des Managements von Gesamt- und Teilprojekten, als auch auf der Ebene der operativen Arbeit einzelner Prozessbeteiligter gilt es, planmäßig zu arbeiten. Einerseits wird dadurch eine zielorientierte Durchführung vorbereitet. Andererseits ermöglichen erst explizit festgehaltene Ziele eine Überwachung und gegebenenfalls Verbesserung der jeweiligen Vorgehensweise.

Im „Systems Engineering“ wird bspw. versucht, die Dynamik komplexer Projekte durch sogenannte „Leading Indicators“ zu beherrschen. Sie sollen helfen, die Güte von Prozessen zu messen und basierend auf der Kenntnis der aktuellen Projektstände einen gezielten Einsatz von Methoden und Werkzeugen zu ermöglichen.⁶⁴² Sogenannte Anpassungs- oder Zuschnittprozesse werden unter dem Begriff „tailoring“ subsumiert.⁶⁴³ BEHM ET AL. haben z.B. ein „Tailorable Systems Engineering Framework“ entwickelt, um Methoden und Werkzeuge gemäß verschiedener Faktoren wie bspw. Projektbudget oder Technologie-Reifegrad einzelnen Aktivitäten zuzuordnen.⁶⁴⁴ Eine weitere Planungsgrundlage für die Auswahl von Aktivitätenfolgen oder Methoden können Muster zur Wiederverwendung

⁶⁴² vgl. Roedler et al. 2010

⁶⁴³ vgl. INCOSE 2010

⁶⁴⁴ vgl. Bhem et al. 2009

von best practices sein. SUHM unterscheidet im Kontext des Maschinenbaus bspw. elementare und komplexe Muster und differenziert Objekt- von Prozessmustern.⁶⁴⁵

Die Möglichkeit der Überwachung von Zielvorgaben und deren Abgleich mit einem tatsächlichen Prozessverlauf kann auch Zielen wie einer robusten Prozessdurchführung dienen. Nachfolgend wird z.B. das Nutzenpotential des adaptiven Prozessmanagements zum Zweck der Prozesssicherheit diskutiert. Eine weitere Möglichkeit, sichere Aussagen über Planungen oder Eingriffe in laufende Prozesse treffen zu können, erwächst aus der „Change Prediction Methode“. Darin wird versucht, auf Basis einer transparenten Modellierung struktureller Zusammenhänge die Fortpflanzung von Änderungen in einem System zu analysieren. WYNN ET AL. zielen damit letztlich wiederum auf Wissen ab – in diesem Fall um das komplexe System der Produktentstehung regeln zu können.⁶⁴⁶

5.3.1.3 Perspektive der Projektdurchführung

In dieser Kategorie werden Möglichkeiten einer Unterstützung der Prozessmodellierung für die konkrete Ausübung der zuvor geplanten Tätigkeiten betrachtet. Wie eingangs erläutert, dienen die Transparenz relevanter Faktoren und die Kenntnis über Projektzusammenhänge der Projektsteuerung. So können messbare Kriterien aufgestellt werden, anhand derer ein Abgleich von geplantem und tatsächlichem Stand möglich wird. Das Ziel ist dabei, auf Basis möglichst weniger Beobachtungsgrößen ein effizientes Projektcontrolling zu realisieren. Die Forderung nach einer Minimierung von Aufwandstreibern ergibt sich einerseits aus Aspekten der Wirtschaftlichkeit. Zum anderen hat eine angewandte Prozessmodellierung z.T. auch erhebliche Auswirkungen auf Faktoren der Akzeptanz. So kann die Überwachung und Projektsteuerung auf Basis von Kennzahlen z.B. als übermäßige Bürokratie wahrgenommen werden.

Eine umfassende Erörterung von Aufwänden der Prozessmodellierung folgt nachstehend. Im Rahmen der generellen Betrachtung von Wirkungsbereichen in diesem Abschnitt sind aus der Perspektive der Projektdurchführung v.a. noch die Aspekte der Ganzheitlichkeit und der Durchgängigkeit von großer Bedeutung. So sind für eine Projektsteuerung Unterschiede der jeweiligen Fachdisziplinen und ihrer Rolle im Entwicklungsprozess zu betrachten. Um deren Zusammenspiel zu erfassen, ist eine Sichtenbildung auf Basis der übergreifenden Ordnung durch das zugrunde gelegte Prozessmodell notwendig. Überdies ist für eine individuelle Unterstützung zwischen Grob- und Feinplanung zu unterscheiden. Durch ein durchgängiges Prozessmodell

⁶⁴⁵ vgl. Suhm 1993

⁶⁴⁶ vgl. Wynn et al. 2010a

muss hierfür ein adaptiver Fokus realisiert werden. Dies bedeutet, dass das Modell in einer flexiblen Betrachtungstiefe analysiert werden können soll. Individuelle Tätigkeiten können so zu Teil- und Gesamtprozessen aggregiert werden – wenn der entsprechende Modellierungsansatz sich hierfür eignet. Das iPeM zeichnet sich, wie in Abschnitt 2.4.6.5 beschrieben, durch einen fraktalen Charakter aus. Es kann also vermutet werden, dass ein Ein- bzw. Auszoomen, um zweckindividuelle Informationsausschnitte abzubilden, auf Basis der selbstähnlichen iPeM-Elemente – und damit nachvollziehbar und effizient – erfolgen könnte.

Eine weitere Möglichkeit zur Unterstützung der Produktentstehung liegt in der situationsspezifischen Bereitstellung von Entwicklungsmethoden über eine Vorabplanung hinaus. Auch Know-How in Form von Produkt- oder Prozesswissen kann individuell zugänglich gemacht werden. Weitere Potentiale einer Prozessmodellierung liegen in der Orientierung bzw. Navigation durch den laufenden Prozess – wiederum ein Aspekt, der auf dem zuerst beschriebenen gemeinsamen Verständnis übergeordneter Zusammenhänge beruht. Die Erfassung produktrelevanter Aspekte kann ferner die Prozessmodellierung ergänzen. So wird eine bidirektionale Bewertung möglich, in der positive wie negative Einflüsse bestimmter Vorgehensweisen oder Ressourcen auf resultierende Produktmerkmale oder aber Auswirkungen von Produktänderungen auf Prozessgrößen wie z.B. Personalbedarf abgeschätzt werden können. Die „Karlsruher Schule“ bietet mit iPeM und C&C²-A die Möglichkeit, beide Sichten abzubilden und zu integrieren. Die transparente Explizierung relevanter Informationen auf Basis dieser Ansätze kann eine Grundlage für die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen (engl.: „traceability“ bzw. „Design Rationale“) darstellen und insgesamt eine wissensbasierte Konstruktion im Gesamtzusammenhang der Produktentstehung ermöglichen. Die Erörterung dieser Nutzen- und Aufwandspotentiale ist Gegenstand der Studien in den folgenden Kapiteln.

5.3.1.4 Perspektive der Projektnachbereitung

Abschließend wird in dieser Kategorie die Nachbereitung von Projekten fokussiert. Auch in kontinuierlichen Verbesserungsprozessen – dem Lernen auf persönlicher und organisationaler Ebene – erweist sich ein Wirkbereich der Prozessmodellierung. Denn durch die explizite Verknüpfung von Informationen im Kontext der Produktentstehung entsteht eine Dokumentation, die die Grundlage für eine umfassende Selbstreflektion darstellt. Darin können nicht nur Entscheidungen und Vorgehensweisen wie zuvor beschrieben nachvollzogen werden; vielmehr ist auch eine Interpretation und Neubetrachtung dieser sowie die Ableitung von Referenzmodellen vor dem jeweils geltenden Kontext möglich. Hierzu muss die Prozessmodellierung auch die internen und externen Prozessrandbedingungen erfassen und mit den konkreten Projekthinhalten in Beziehung bringen.

Im folgenden Abschnitt wird ausgehend von den hier kategorisierten generellen Wirkbereichen der potentielle Nutzen der Prozessmodellierung spezifiziert. Dabei werden die Möglichkeiten unabhängig von technischen, organisatorischen oder persönlichen Einschränkungen betrachtet – diese sind Gegenstand der Erörterung potentiellen Aufwands im darauffolgenden Abschnitt.

5.3.2 Potentieller Nutzen - Möglichkeiten der Prozessmodellierung

Im voranstehenden Abschnitt wurden Wirkbereiche aufgestellt, die in der Herleitung der hier aufgestellten Potentiale als Suchfelder dienten. So äußern sich der generelle Nutzen, wie auch generelle Aufwandstreiber, gleichermaßen im Aspekt der Aus- und Weiterbildung, der Planung, Durchführung oder Nachbereitung. Abgeleitet aus diesen anwendungsorientierten Wirkbereichen wird in diesem Abschnitt auf eine umfassende Zusammenstellung generischer Potentiale abgezielt. Sie liegen in fünf Gruppen vor. Zunächst wird auf Nutzen durch ein verbessertes Verständnis und erhöhte Transparenz eingegangen. Daraufhin werden die Aspekte erhöhter Sicherheit, Effektivität und Effizienz betrachtet. Die Erörterung nutzentreibender Faktoren der Nachhaltigkeit schließt den vorliegenden Abschnitt. Wie bereits beschrieben sind diese Aspekte nicht unabhängig voneinander, sondern bedingen sich teilweise stark gegenseitig. Die gewählte Reihenfolge der weiteren Ausführungen gibt die aufeinander aufbauenden Potentiale wieder.

5.3.2.1 Verständnis und Transparenz

In der Betrachtung grundsätzlicher Aspekte im Wirkbereich aus der Perspektive der Aus- und Weiterbildung wurde die Bedeutung eines gemeinsamen Verständnisses betont. Dabei kommt geteilten Mentalmodellen nicht nur bei Auf- und Ausbau von Wissen eine zentrale Rolle zu. Insbesondere in interdisziplinären Teams, wo die verschiedenen Hintergründe der Teammitglieder zu verschiedenen Denkmustern und Herangehensweisen an Fragestellungen führen, ist es wichtig, einen konstruktiven Gedankenaustausch zu ermöglichen. Die Etablierung eines gemeinsamen Verständnisses ist eine unverzichtbare Voraussetzung für erfolgreiche Entwicklungsprozesse, da es die Grundlage jeglicher **Kommunikation** darstellt.⁶⁴⁷ Den Handlungsbedarf hinsichtlich einer gemeinsamen Auffassung von Begrifflichkeiten weisen ALBERS und ZINGEL in einer aktuellen Studie nach. Demnach zeigten sich selbst unter Ingenieuren, die in ihrer Selbsteinschätzung ein gutes Verständnis bezüglich „Systems Engineering“ hätten, erhebliche Unterschiede im Verständnis von typischen Begriffen dieses Ansatzes. Teilweise seien die Begriffsdefinitionen in

⁶⁴⁷ vgl. Eckert 2001

unterschiedlichen Unternehmen sogar gegensätzlich zueinander.⁶⁴⁸ Die Prozessmodellierung auf Basis eines ganzheitlichen Ansatzes wie dem iPeM kann ein gemeinsames Verständnis ermöglichen, indem bspw. ein Glossar auf Basis des zugrunde liegenden Metamodells erstellt und verfügbar gemacht wird.⁶⁴⁹

Ferner können in einem integrierten Modell zentrale Zusammenhänge wie die zuvor geschilderte bidirektionale Abhängigkeit von Prozess und Produkt explizit abgebildet und veranschaulicht werden. Dieses Nutzenpotential wird unter dem Aspekt der **Transparenz** zusammengefasst. Durch einen systemischen Ansatz lassen sich modellierte Elemente in ein Gesamtsystem und Teilsysteme einordnen, sodass bspw. bei der Modellierung technischer Strukturen eine hierarchische Anordnung entstehen kann. Diese Modellierung erlaubt es, einen Bezug zwischen produktspezifischen Zielen und deren tatsächlichen physischen Ausprägungen auf unterschiedlichen Detaillierungsstufen herzustellen. In der „Karlsruher Schule“ ermöglicht C&C²-A die Zuordnung abstrakter Formulierungen von Produktfunktionen zu konkreten Produktcharakteristika, während die hierarchische Ordnung des Zielsystems die Zugehörigkeit abstrakter Zieldefinitionen zu produktspezifischen Zielen sichtbar macht.⁶⁵⁰ Das Wissen über die Herkunft produktspezifischer Ziele wiederum ist durch das Tripel aus Zielsystem, Handlungssystem und Objektsystem gegeben. Ziele werden durch Handlungen in Objekte überführt, diese wiederum führen – ebenfalls über das Handlungssystem – zu neuen Zielen. Damit kann die Herkunft produktspezifischer Ziele zurückverfolgt werden. Gleichzeitig können die Auswirkungen von Zielsystemänderungen bis auf Komponentenebene umfassend analysiert und u.U. sogar vorhergesagt werden.⁶⁵¹

Eine erhöhte Transparenz erleichtert damit weiterhin die Bewertung von Entscheidungsalternativen. Zu frühen Zeitpunkten in der Produktentwicklung können so bereits Wirkzusammenhänge bekannt sein, die ohne entsprechende Modellierung erst später (bspw. nach einer Prototypumsetzung) erkennbar wären. Zugleich sind getroffene Entscheidungen im Nachhinein besser nachvollziehbar. Je nach Entwicklungsphase und konkreter Zielvorgabe kann der Betrachtungsfokus auf Basis der systemischen Modellierung in Form unterschiedlicher Abstraktions- und Detaillierungsgrade variiert werden. So können für strategische Entscheidungen bspw. ausschließlich übergeordnete Ziele und grundlegende Funktionszusammenhänge abgebildet werden. Hingegen kann der Detaillierungsgrad für eine genauere Betrachtung eines einzelnen funktionalen Zusammenhangs auch

⁶⁴⁸ vgl. Albers und Zingel 2013

⁶⁴⁹ vgl. Spengler 2011 (betreute Abschlussarbeit)

⁶⁵⁰ s.a. Oerding 2009

⁶⁵¹ vgl. Eppinger und Browning 2012

entsprechend erhöht werden. Die Prozessbeteiligten können eine der jeweiligen Aufgabe angepasste Sicht auf spezifische Zusammenhänge erhalten und spezifische Aufgabenstellungen in den Gesamtkontext von Produkt und Prozess einordnen.

Durch die Abbildung relevanter Aspekte von Produkt und Prozess werden Produktentstehungsprozesse untereinander vergleichbar. Ziele, Ressourcen und Objekte können in Entsprechung ihres Anteils am Gesamtprodukt eingeschätzt werden. Beansprucht bspw. ein Prozess wesentlich mehr Ressourcen als ein anderer, so kann dies auf eine ungünstig gewählte Vorgehensweise oder eine falsche Zielsystemdefinition hindeuten. Werden bestimmte Prozesse hingegen wiederholt erfolgreich für die Überführung vergleichbarer Zielsystemelemente in Objekte durchgeführt, kann diese Information als Basis zur Generierung von Referenzmustern dienen. Implizites Wissen über die Eignung von Prozessen und deren Methoden und Vorgehensweisen für spezifische Aufgaben kann explizit in Form von verknüpften Zielen und Randbedingungen, Aktivitäten, Ressourcen und Objekten in einem Modell nutzbar gemacht werden.⁶⁵²

5.3.2.2 Sicherheit

Nutzenpotentiale unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit betreffen v.a. die Planung und Durchführung von Projekten. Nach DÖRNER kann „keine kanonisierbare Optimalform des Konstruktionsprozesses, der der Entwickler in einem festen Ablaufplan folgen kann“ existieren.⁶⁵³ Dies ist der **Unsicherheit** geschuldet, für die nach DE WECK ET AL. zwei unterschiedliche Fälle charakterisierend seien. Im ersten Fall würden bewusst unsicherheitsbehaftete Annahmen getroffen werden, die erst zu einem zukünftigen Zeitpunkt verifiziert oder falsifiziert werden könnten. Hierfür ließen sich gezielt Maßnahmen vorsehen, um die Wissenslücken zu schließen. Im zweiten Fall würden zu einem zukünftigen Zeitpunkt Sachverhalte auftreten, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht beachtet würden oder nicht beachtet werden könnten. Im Gegensatz zum ersten Fall seien die hier bestehenden Wissenslücken noch nicht bekannt.⁶⁵⁴ CHALUPNIK ET AL. betonen die Notwendigkeit einer Einbeziehung des Kontextes beim Umgang mit Unsicherheit. Jedoch sei dessen Beeinflussbarkeit, wie bereits in Abschnitt 2.4.2 diskutiert, im Fall externer Faktoren stark eingeschränkt.⁶⁵⁵

Da Sicherheit also nicht a priori geplant werden kann und ferner robuste Prozesse aufgrund dynamischer Einflussparameter von außen nicht voraussetzen sind, muss prozessbegleitend ein Umgang mit dieser dynamischen Komplexität ermöglicht

⁶⁵² vgl. Pinner S. 50ff.

⁶⁵³ vgl. Dörner 1994, S. 159

⁶⁵⁴ vgl. Lohmeyer 2013, S. 10ff. nach de Weck et al. 2007

⁶⁵⁵ vgl. Chalupnik et al. 2009

werden. Hierfür bietet die transparente Prozessmodellierung für das Management den potentiellen Nutzen, kontextrelevante Zusammenhänge explizit zu machen. So kann erstens angestrebt werden, wissensbasiert Planungslücken zu vermeiden. Zweitens kann ergänzend hierzu ermöglicht werden, unvorhergesehene Begebenheiten frühzeitig durch Soll-Ist-Vergleiche zu erkennen und gegebenenfalls kompetent darauf zu reagieren.

Dafür kann die Prozessmodellierung eine Grundlage für die Planung auf Basis von best practices in konkreten Kontexten sein. Weiterhin kann durch die Möglichkeit zur kontinuierlichen Reflektion der Prozesse ein sogenanntes „**adaptives Projektmanagement**“ realisiert werden. Dieses sei nach PINNER v.a. durch seine variable Granularität der Planung gekennzeichnet. Es kombiniere Elemente des agilen Managements⁶⁵⁶ mit denen des Reportings⁶⁵⁷ und ergänze diese um die Möglichkeiten, die das iPeM mit den drei Planungsebenen (Referenz-, Implementierungs- und Anwendungsmodell) sowie dessen hierarchischer Struktur biete. Im agilen Management würden Vorgaben nicht als endgültig betrachtet werden. Stattdessen sei die Veränderlichkeit von Anforderungen – gleichbedeutend mit einer initialen Unbestimmtheit des Zielsystems – gerade Kern dieses Ansatzes und werde gezielt für die Durchführung von Projekten genutzt. Das Reporting in Forschungs- und Entwicklungsprozessen diene dazu, erfolgskritische Prozessfaktoren wie z.B. Reifegrade verwendeter Teilmodelle stets aktuell abzubilden und steuerungsrelevante Informationen transparent darzustellen. Für ein „adaptives Management“ sollten auf Basis einer ganzheitlichen Modellierung hierfür praxisrelevante Kennwerte abgeleitet werden können, die bspw. in Bezug zur zielorientierten Auslastung von Ressourcen- und Handlungssystem stünden. Die fortlaufende Projektplanung in den Repräsentationsebenen Referenz, Implementierung und Anwendung könne mit wachsender Kenntnis über das Projekt anpasst werden. Während ein spezifisches Projekt dabei anfangs noch große Ähnlichkeiten zu vergleichbaren Projekten aufweisen könne (Referenzmodell), erreiche es mit zunehmender Entwicklungszeit durch verschiedene Zielsetzungen, andere Handlungssysteme und unterschiedliche Objekte eine größere Individualität. Mit fortschreitender Projektlaufzeit nehme damit auch die Notwendigkeit spezifischer Planung zu. Grobe Planungsvorgaben zu Beginn eines Projekts seien kontinuierlich in Entsprechung zum wachsenden Informationsgehalt von Objekt- und Zielsystem zu detaillieren. Implementierungs-

⁶⁵⁶ vgl. Setzwein und Bücking 2006

⁶⁵⁷ vgl. Ehrhardt und Riepl 2009

und Anwendungsmodell bedingten sich im „adaptiven Management“ also iterativ gegenseitig.⁶⁵⁸

Neben dem Nutzen für das Management kann aus einer erhöhten Sicherheit seitens der Entwickler v.a. Nutzen durch eine systematische bzw. methodische Durchführung resultieren. Dabei kann sich die empfundene Sicherheit entweder faktisch in Ergebnissen erweisen oder „nur“ subjektiv zu einer erhöhten Zuversicht im Prozess führen. Die deskriptiven Studien ergeben, dass insbesondere unerfahrene Entwickler stark von Vorgehensmodellen und systematischen Methodensammlungen profitieren können. Die „Karlsruher Schule“ bietet hierfür mit dem Problemlösungsprozess SPALTEN, dem erweiterten ZHO-Modell, dem XiL-Framework und dem C&C²-A Ansätze, um Analyse wie Synthese praxisnah zu unterstützen. Durch eine geeignete Modellierung kann die „Karlsruher Schule“ überdies der besonderen Berücksichtigung menschlicher Anforderungen Rechnung tragen. So kann durch die explizite Bereitstellung von Informationen das Arbeitsgedächtnis „ausgelagert“ werden. Entwickler können sich auf wesentliche Fragestellungen konzentrieren.

Die Möglichkeit zur Reflektion des Entwicklungsgeschehens erlaubt letztlich die Realisierung eines umfassenden Qualitätsmanagements. Dabei sind Fehler zu vermeiden und nicht nur zu beheben. Dies muss frühzeitig und prozessorientiert erfolgen. Eine systematische Nachbereitung soll hierbei im ursprünglich japanischen Verständnis des Qualitätsbegriffs nicht einzelne technische Aspekte oder individuelle Zustände, sondern das Gesamtsystem der Produktentstehung adressieren.⁶⁵⁹ Dies schließt den Kreis zurück zu der ganzheitlich ausgerichteten Prozessplanung und fortwährenden Nachsteuerung. Über den Horizont einzelner Projekte hinaus kann ein Unternehmen durch die methodische Reflektion seiner Produktentstehung zu nachhaltig wirksamen Prozessverbesserungen gelangen (vgl. Abschnitt 1.1.3).

5.3.2.3 Effektivität

Ein weiterer Nutzen, der sich aus der Verfügbarkeit expliziter Informationen im Kontext individueller Produktentstehungsprozesse ergeben kann, ist eine Erhöhung der Prozesseffektivität. Dabei kann zum einen eine **quantitative** Steigerung der Prozessergebnisse resultieren. Aufgrund einer verbesserten Planbarkeit bzw. die zuvor beschriebenen Möglichkeiten, Projekte adaptiv sich verändernden Bedingungen anzupassen, kann das Vorgehen bei der Entwicklung auf situationspezifische Erfordernisse abgestimmt werden. Durch geeignete methodische

⁶⁵⁸ vgl. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 52ff.

⁶⁵⁹ vgl. Nonaka und Takeuchi 1995

Unterstützung können bspw. auch unerfahrene Teams zu einer höheren Lösungsvielfalt gelangen.

Zum anderen kann auch eine **qualitative** Verbesserung der Entwicklungsergebnisse unterstützt werden. So kann die Produktentwicklung auf Basis besserer Entscheidungsgrundlagen erfolgen, wenn es gelingt, wesentliche Zusammenhänge explizit aufzuzeigen. Die wechselseitige Beeinflussung prozess- und produktrelevanter Aspekte kann hierbei wie obenstehend beschrieben ein zentraler Faktor sein. Auch die Lösungsfindung kann durch methodische Unterstützung erleichtert und qualitativ beeinflusst werden. Dazu gehört nicht nur die Bereitstellung von Methoden zur kreativen, diskursiven oder recherchierenden Identifikation und Auswahl von Lösungsalternativen. Auch die Informationsbasis für die Anwendung dieser Methoden kann transparent und gemeinverständlich verfügbar gemacht werden.

Schließlich kann eine Prozessmodellierung, wie zuvor dargelegt, auch eine Lösungsbegründung maßgeblich fundieren. Hierbei tragen bspw. in der SPALTEN-Systematik die Schritte der Situationsanalyse, der Problemeingrenzung und der Tragweitenanalyse entscheidend bei. Durch den Schritt des Nachbereitens und Lernens schließlich, werden wiederum Ablage und Wiederauffinden von Prozess- und Produktwissen erleichtert.

5.3.2.4 Effizienz

Eng mit dem Aspekt der Effektivität ist der Aspekt der Effizienz verknüpft. Hierbei stehen die notwendigen Aufwendungen für eine Zielerreichung im Fokus. Eine effiziente Produktentstehung liegt vor, wenn hinsichtlich Zeit und Ressourcen ein minimaler Aufwand zu maximalen Ergebnissen führt. Dies kann durch eine geeignete Prozessmodellierung durch die zuvor erläuterten Aspekte der Planbarkeit und Prozesssicherheit unterstützt werden. Insbesondere die Wiederverwendung von Erfahrungswissen durch Muster kann Fehlplanungen und daraus resultierende Iterationen vermeiden. Die erhöhte Transparenz durch explizite Modellierung erlaubt weiterhin robustere Implementierungsmodelle durch die Möglichkeit der Abschätzung von Änderungsausbreitungen („Change Prediction Methode“ – s.o.).

Im Allgemeinen kann die Durchführung von Prozessen durch richtigen Methodeneinsatz und unmittelbar verfügbare Informationen schneller zu richtigen Ergebnissen führen. Überdies hilft die Vermeidung von Fehlern weniger Iterationen durchführen zu müssen. Insbesondere können durch ein verbessertes Verständnis von bekannten und unbekanntem Aspekten gezieltere Iterationen vorgesehen werden. Somit kann durch eine wissensbasierte Produktentstehung eine Optimierung des Verhältnisses von Ertrag zu Aufwand angestrebt werden.

5.3.2.5 Nachhaltigkeit

Abschließend wird der Aspekt der Nachhaltigkeit betrachtet. Seine wesentlichen Einflüsse wurden in den vorangehenden Abschnitten bereits thematisiert. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass intersubjektive Mentalmodelle auf Basis eines expliziten Metarahmens kohärent integriert werden können. Daraus erwächst das Potential einer ganzheitlichen Rekapitulation des Entwicklungsgeschehens aus Sicht aller Beteiligten und im individuellen Kontext konkreter Projekte. Dies bildet sowohl die Grundlage für persönliches Lernen, als auch für Lernprozesse der Organisation als Gesamtheit. Eine zentrale Rolle spielen dabei Aktivitäten der Analyse, der Validierung und der Optimierung im betriebswirtschaftlichen Sinn.

Der Wert eines Unternehmens wird nicht nur durch seine materiellen Vermögenswerte bestimmt, sondern zu großem Anteil auch durch seine Wissensressourcen. Die Erschließung dieses Unternehmenskapitals ist eine zentrale Aufgabe des Wissensmanagements. Die Modellierung von Entwicklungsprozess- und Produktinformationen dient dabei der Formulierung direkter, expliziter Informationen. Die Abbildung des impliziten Wissens bzw. der Erfahrung der Mitarbeiter stellt nach Abschnitt 2.1 eine ungleich größere Herausforderung dar.⁶⁶⁰

5.3.3 Potentieller Aufwand - Grenzen der Prozessmodellierung

Mit der Hebung der im vorigen Abschnitt beschriebenen Nutzenpotentiale geht immer ein Aufwand einher. Dieser ist in Abhängigkeit der unternehmensinternen und -externen Prozessrandbedingungen (s. Abschnitt 2.4.2) mehr oder weniger groß. Abgeleitet aus den Wirkungsbereichen der Prozessmodellierung werden im Folgenden vier Gruppen aufwandsbestimmender Aspekte aufgeführt. Letztlich sind diese sämtlich in Zeit bzw. zeitäquivalenten Geldmitteln bestimmbar. Sie werden zum Zweck einer umfassenden Betrachtung Schritt für Schritt in die jeweiligen Aufwandstreiber bei der Erfassung, der Modellierung, der Verwaltung und der Wiederverwendung von Informationen aufgeschlüsselt.

5.3.3.1 Informationsakquise

Jeder Modellierung geht die Erfassung der in ein Modell einzutragenden Informationen und deren Zusammenhänge voraus. Die Qualität der Informationen bestimmt dabei maßgeblich den Nutzen, der sich durch das resultierende Modell erzielen lässt. Die Informationsakquise kann grundsätzlich durch eine dritte Person erfolgen oder durch die intendierten Modellnutzer selbst. Im ersten Fall ist die Akquise aufwändiger, da Informationen u.U. nicht unmittelbar zugänglich sind. In einigen der im Rahmen dieser Dissertation vorgestellten Studien wurden die Modelle

⁶⁶⁰ s.a. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 48

durch Dritte erstellt. Diese mussten auf Techniken wie Interviews oder Dokumentenanalysen zurückgreifen. Es konnte durchweg ein starker Einfluss auf die Informationsgüte und insbesondere auf den subjektiv wahrgenommenen Aufwand der Informationsakquise festgestellt werden.

LINDEMANN ET AL. heben die Möglichkeiten zur Aufwandsminimierung bei verfügbaren Datensätzen – etwa in CAD-Systemen – hervor. Hier könne eine automatisierte Akquise (bspw. durch Techniken des „Data Mining“) effizient zu ausreichend guten Informationen führen. Jedoch eigne sich diese Methode nicht für die Erfassung impliziter Zusammenhänge.⁶⁶¹ Hierfür ist eine Interpretation einzelner Informationen im Kontext des vorliegenden Projekts notwendig, was erneut die Bedeutung eines gemeinsamen Verständnisses deutlich macht.

Eine große Herausforderung bei der Prozessmodellierung im Kontext der Produktentstehung stellt die Menge der zu erfassenden Informationen und deren Abhängigkeiten untereinander dar. DANILOVIC und BROWNING untersuchten Veröffentlichungen, in denen verschiedene Prozesse modelliert worden waren. Das umfangreichste Modell in ihren Betrachtungen umfasste 60 Elemente – hierbei könne nach LINDEMANN ET AL. noch nicht von einer „ganzheitlichen“ Repräsentation eines komplexen Systems im Wortsinn ausgegangen werden. Jedoch seien Modelle dieser Größenordnung bereits sehr durch individuelle Einflüsse der Modellierenden gekennzeichnet. Dies äußere sich in z.T. stark voneinander abweichenden Modellen ein und desselben Sachverhalts.⁶⁶² Auch Einflüsse der Ermüdung, von zeitlich inkonsistenten Interpretationen oder von Gewohnheiten könnten das Ergebnis einer Informationsakquise verfälschen – insbesondere bei umfangreichen Sachverhalten.⁶⁶³

5.3.3.2 Modellierung

Vorausgesetzt, dass eine Akquise relevanter Informationen in ausreichender Qualität erfolgen kann, stellt die eigentliche Modellierung die nächste Herausforderung dar. Dabei gilt es, die Informationen ohne Verlust an Inhalten oder Bedeutung in das Modell einzutragen. Dabei kommt dem verwendeten Modellierungsansatz eine entscheidende Rolle zu. Dessen pragmatisches Merkmal muss zum einen den Intentionen des Modellerstellers genügen; zum anderen muss das verkürzende Merkmal eine adäquate Repräsentation ermöglichen. Sowohl eine Abbildung von zu viel, als auch von zu wenig Information kann einen Modellierungsnutzen korrumpieren. Die Vorgabe und Vermittlung eines Modellierungsansatzes ist

⁶⁶¹ vgl. Lindemann et al. 2009, S. 79 und S. 83

⁶⁶² vgl. Lindemann 2009, S. 32 nach Danilovic und Browning 2004 und Jarratt 2004, S. 121ff.

⁶⁶³ ebda. S. 80

insbesondere für die Akzeptanz der Modellersteller und Nutzer entscheidend. Bestehen Vorbehalte gegen einen Ansatz, so zeigen die betrachteten Studien, dass eine sehr starke subjektive Wahrnehmung von Bürokratie und eine damit einhergehende Ablehnung der „Zusatzarbeit“ Modellerstellung resultieren können.

BIEDERMANN ET AL. betonen die Bedeutung des zweckorientierten Detaillierungsgrads bei dieser Überlegung. Sie schlagen ein gestuftes Detaillieren von Modellen vor. Beispielsweise könne es für übergeordnete Betrachtungen ausreichen, lediglich die zeitliche Abfolge der Phasen eines Entwicklungsprozesses darzustellen. Mit dem Ziel der Bestimmung einer Prozessdauer seien aber schrittweise weitere Informationen aufzunehmen: Informationsflüsse zwischen einzelnen Aktivitäten, deren Dauer, deren Iterationswahrscheinlichkeit sowie Reduktionsfaktoren zur Modellierung von Zeitersparnissen infolge zunehmenden Erfahrungswissens. So entstünden zweckorientierte Abstufungen, deren verschiedene Modelle wie folgt zusammenhängen. Zunächst werde ein Strukturmodell verfeinert und danach gewichtet. Dann würden die Elemente mit Zustandsgrößen (z.B. „Aktivität in Bearbeitung“) und entsprechenden Relationen parametrisiert werden. Im letzten Schritt würden weitere Zustandsgrößen eingeführt und die Relationen mit weiteren Parametern versehen werden, um komplexe Zusammenhänge umfänglich abzubilden.⁶⁶⁴

5.3.3.3 Modelladministration

Auch nach der Erstellung von Modellen geht mit der expliziten Verknüpfung von Informationen ein z.T. hoher Aufwand einher. Aus Sicht der Technik ergibt sich zunächst ein administrativer Aufwand aus der Notwendigkeit der Datenhaltung bzw. Speicherung, deren dezentralen Verfügbarkeit und der Sicherung von Daten. Für die technische Umsetzung der Prozessmodellierung ist neben der Wahl des zugrunde gelegten Modellierungsansatzes auch die verwendete Modellierungssprache bzw. -technik sowie die Infrastruktur für deren Anwendung in Einzelplatzinstallationen bzw. für verteilt arbeitende Teams ausschlaggebend.

Darüber hinaus ergibt sich aus der dynamischen Komplexität der Produktentstehung ein kontinuierlicher Aktualisierungsaufwand. Die betrachteten Studien zeigen, dass auch hier der Einfluss des verwendeten Ansatzes und dessen Umsetzungsform immens ist. Die in den folgenden Kapiteln betrachteten prototypischen Umsetzungen in verschiedenen Werkzeugen machen es z.T. sogar unmöglich, Änderungen von Zielen, von Aktivitätenfolgen oder von deren Zusammenhängen zu einem vertretbaren Aufwand aktuell zu halten.

⁶⁶⁴ vgl. Biedermann et al. 2010

5.3.3.4 Informationsgewinnung

Der letzte Aspekt der Aufschlüsselung aufwandstreibender Faktoren fokussiert auf die eigentliche Modellnutzung. Während die zuvor genannten Faktoren die notwendige Voraussetzung für eine modellbasierte Unterstützung der Produktentstehung darstellen, ist die Informationsgewinnung eine hinreichende Bedingung. Erst wenn es möglich ist, die abgelegte Information zweckgerichtet wieder aus einem Modell zu beziehen, kann sie einem Nutzen zugeführt werden. Die Interpretation der Informationen basiert wiederum auf einem subjektiven Verständnis und wurde eingehend im Grundlagenabschnitt 2.1 diskutiert.

In diesem Abschnitt ist der anwendungsorientierte Aspekt der technischen Umsetzung von Interesse. Je nach Modellierungstechnik wird der Informationszugriff erleichtert oder erschwert. Generell legen die bisher betrachteten Studien nahe, dass rechnerbasierte Werkzeuge im Fall umfangreicher Modelle gegenüber analogen Mitteln im Vorteil liegen. Neben erweiterten Möglichkeiten einer Modellanalyse auf Basis verschiedener Algorithmen⁶⁶⁵ kann alleine schon eine Suchfunktion oder eine Visualisierung, die fokussierte Elemente farbig hervorhebt, hilfreich sein. Detailliert werden diese Aspekte am Beispiel der konkreten Fallstudien in den folgenden Kapiteln betrachtet.

5.4 Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung

Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung können nicht direkt messtechnisch bestimmt werden. Sie zeigen sich vielmehr nur mittelbar und unter Einfluss zahlreicher weiterer (bekannter und unbekannter) Faktoren in Form von Geschäftsergebnissen. Um dennoch Aussagen über die Wirksamkeit einzelner Umsetzungen der Modellierung treffen zu können, erfolgt in diesem Abschnitt eine Interpretation der vorangestellten Überlegungen. Dies führt zu einer systematischen Aufstellung von Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung. Aus ihnen lässt sich ableiten, was in werkzeugtechnischen Umsetzungen Beachtung finden muss, um den bisherigen Überlegungen bezüglich Nutzen und Aufwand Rechnung zu tragen.

5.4.1 Erfolgsfaktoren und zugehörige Erfolgskriterien

Die Systematik, in der die Erfolgsfaktoren präsentiert werden, folgt der übergeordneten Zielsetzung dieser Arbeit: der Unterstützung der Produktentwicklung. Diese kann wie zuvor erläutert in Forschung, Lehre oder Anwendung liegen – im Rahmen der vorliegenden Dissertation wird letzteres fokussiert. Die Anwendung erfolgt dabei auf Basis eines gemeinsamen Verständnisses und umfasst den mehr oder weniger

⁶⁶⁵ vgl. z.B. Lindemann et al. 2009

erfolgreichen Umgang mit Informationen. Dieser erstreckt sich von der Repräsentation und Strukturierung vernetzter Informationen als notwendiger Voraussetzung die über Analyse von Produkt und/oder Prozess, zur Weiterentwicklung dieser und kann schließlich gegebenenfalls in einen Transfer von Verbesserungen und Erkenntnissen in andere Projekte oder Anwendungsgebiete münden. Hiervon steht bei den folgenden Überlegungen wiederum die Repräsentation und Struktur im Mittelpunkt der Betrachtung. Wie zuvor erwähnt, basiert auch dieser Teilaspekt auf einem gemeinsamen Verständnis. Darüber hinaus erfordert er die Schritte der Informationsakquise, der eigentlichen Modellierung (also das Eintragen der Informationen ins Modell sowie deren Vernetzung), der Modelladministration (z.B. im Fall von Änderungen) und nicht zuletzt des Zugriffs auf Informationen im Modell (das Wiederverwenden). In Tabelle 9 dienen diese fünf Punkte zur Klassifizierung der identifizierten Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung. Diese sind in die Aspekte der Ganzheitlichkeit und weiter in die Aspekte der Durchgängigkeit aufgeschlüsselt. Zur Evaluation der Erfolgsfaktoren sind in der Tabelle zudem messbare Kriterien aufgestellt. Deren Nummerierung ist durch ein vorabgestelltes „k“ gekennzeichnet. Außerdem werden in der letzten Tabellenspalte die jeweils hauptsächlich betroffenen Aspekte der Komplexität zugeordnet.

Tabelle 9: Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung und zugehörige Erfolgskriterien

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung	Erfolgsfaktoren (im Aspekt Ganzheitlichkeit)	Erfolgsfaktoren (im Aspekt Durchgängigkeit)	messbare Kriterien zu den Erfolgsfaktoren	betroffene Aspekte der Komplexität
1. Gemeinsames Verständnis (Metamodell)	1.1. Verständnis von Modellelementen (z.B. Glossar)	1.1.1. Verständnis von Modellierungsregeln (z.B. Ontologie)	k.1.1. formal definiertes Metamodell liegt vor	human-induzierte Komplexität
2. Akquise von Informationen (Datenerhebung)	2.1. Informationsbezug (Produkt, Prozess, inkl. jew. Randbedingungen) 2.2. Informationsumfang 2.3. Zugänglichkeit 2.4. Informationsgüte (z.B. Umfang, Wahrheits-treue) 2.5. Aufwand der Informationsakquise	2.1.1. Zusammenhänge von Produkt und Prozess 2.2.1. Perspektiven/Sichten (z.B. Entwicklung, Management) 2.2.2. Zeit (Vorgängerprojekt, im aktuellen Projekt, Nachfolgerprojekt) 2.2.3. Instanziierung (projektübergreifend) 2.2.4. Detaillierung (grob – detailliert) 2.2.5. Konkretisierung (abstrakt – konkret)	k.2.1. Informationen entsprechen dem Modellierungszweck k.2.2. Informationsumfang entspricht dem Modellierungszweck - Perspektiven - Zeit - Instanziierung - Detaillierung - Konkretisierung k.2.3. Informationen können zweckgemäß erhoben werden k.2.4. Informationsgüte ist zweckgemäß k.2.5. zeitlicher Aufwand der Informationsakquise	strukturelle Komplexität technische Aspekte und human-induzierte Komplexität

<p>3. Modellierung (Eintragung in ein Modell)</p>	<p>3.1. innere Strukturierung der Aspekte aus 2.1</p> <p>3.2. äußere Strukturierung der Aspekte aus 2.1 (Vernetzung)</p> <p>3.3. Aufwand der Modellierung</p> <p>3.4. Modellierungsgüte (z.B. Verfälschung)</p>	<p>3.1.1. innere Abhängigkeiten prozessrelevanter Aspekte (z.B. ZS, OS) nach 2.1.i (z.B. Hierarchien)</p> <p>3.1.2. innere Abhängigkeiten produktrelevanter Aspekte nach 2.1.i (z.B. Teilsysteme)</p> <p>3.2.1. äußere Abhängigkeiten prozessrelevanter Aspekte (z.B. ZHO)</p> <p>3.2.2. äußere Abhängigkeiten produktrelevanter Aspekte (z.B. C&C²-A)</p> <p>3.4.1. Informationstreue von Akquise bis ins Modell</p>	<p>k.3.1. Aspekte aus 2.1 sind systematisch und nach 2.1.i in sich konsistent strukturiert</p> <p>k.3.2. Aspekte aus 2.1 sind systematisch und unterei- nander konsistent strukturiert</p> <p>k.3.3. zeitlicher Aufwand der Modellierung</p> <p>k.3.4. Informationstreue des Modells</p>	<p>strukturelle Komplexität</p> <p>technische Aspekte und human- induzierte Komplexität</p>
<p>4. Modelladministration (Infrastruktur und Modellpflege)</p>	<p>4.1. physikalischer Speicher</p> <p>4.2. Nutzerzahl</p> <p>4.3. Nutzerprofile</p> <p>4.4. Repräsentation (GUI)</p> <p>4.5. Aufwand der Modellpflege (z.B. bei Aktualisierungen)</p> <p>4.6. Konsistenzsicherung</p>	<p>4.2.1. Mehrbenutzerfähigkeit</p> <p>4.3.1. Qualifikationsniveaus</p> <p>4.5.1. dynamische Änderungen</p>	<p>k.4.1. Speichervermögen und Sicherheit/Zuverlässigkeit</p> <p>k.4.2. differenzierte Rollen/Sichten</p> <p>k.4.3. Anforderungen an Nutzer</p> <p>k.4.4. Darstellung (Anmutung und Performance)</p> <p>k.4.5. zeitlicher Aufwand für die Modellpflege</p> <p>k.4.6. automatisierbare Modellprüfung/-korrektur</p>	<p>dynamische Komplexität</p>
<p>5. Informationszugriff (Wiederauffinden)</p>	<p>5.1. Informationsgüte</p> <p>5.2. Aufwand für den Informationszugriff</p>	<p>5.1.1. Informationen und Kontext</p> <p>5.2.1. Nachvollziehbarkeit</p>	<p>k.5.1. Informationsgüte ist zweckgemäß</p> <p>k.5.2. zeitlicher Aufwand</p>	<p>technische Aspekte</p>

Einer ganzheitlichen und durchgängigen Anwendung der Prozessmodellierung in der Praxis liegt der Erfolgsfaktor eines gemeinsamen Verständnisses auf Basis eines Metamodells zugrunde. Dessen Elemente können bspw. in Form eines Glossars beschrieben sein. Ihre Zusammenhänge können z.B. in Form der Regeln einer Ontologie vorliegen. Die Voraussetzung eines formalen Metamodells adressiert zunächst den Aspekt der humaninduzierten Komplexität.

Die Umsetzung der Prozessmodellierung erfolgt davon ausgehend und betrifft v.a. die strukturelle Komplexität. Hierbei sind Anforderungen an die Vollständigkeit der Datenerhebung (Elemente und Relationen) zu stellen. Wesentliche Treiber von Nutzen und Aufwand sind Kenntnis und Zugänglichkeit zweckrelevanter Informationen sowie deren Güte und Umfang. Die Möglichkeit, Abhängigkeiten strukturiert darstellen zu können, wird überdies als wichtige Anforderung erkannt. Hierbei können innere und äußere Abhängigkeiten unterschieden werden; ferner lassen sich hinsichtlich der Durchgängigkeit prozess- und produktrelevante Aspekte unterscheiden.

Für eine erfolgreiche Realisierung der Informationsakquise, -modellierung und Wiederverwendung spielen neben strukturellen Komplexitätstreibern v.a. auch technische und humane Faktoren eine Rolle. Sie äußern sich in Einschränkungen, die eine Anwendung der Prozessmodellierung in der Praxis in Abhängigkeit der vorliegenden Projektsituation, der gewählten Modellierungstechnik sowie der werkzeugtechnischen Umsetzung bedingen.

5.4.2 Analyse von Abhängigkeiten der Erfolgskriterien

Um diese Erfolgsfaktoren zugänglich zu machen, sind 18 Erfolgskriterien in Tabelle 9 aufgeführt. Diese beeinflussen sich, wie in den voranstehenden Abschnitten gezeigt, gegenseitig. Mit Hilfe einer Einflussmatrix⁶⁶⁶ lassen sich die Abhängigkeiten, wie in Tabelle 10 dargestellt, analysieren. Darin sind die Kriterien in einer quadratischen Matrix übereinander aufgetragen. Die Ziffer 3 impliziert dabei, dass bereits eine geringe Änderung des Kriteriums der zugehörigen Zeile eine große Änderung des Kriteriums der zugehörigen Spalte nach sich zieht. Mittlere Abhängigkeiten verdeutlicht die Ziffer 2. Entsprechend stehen 1 und 0 für geringe oder keine bzw. sehr spät eintretende Veränderungen.

⁶⁶⁶ vgl. Vester 2002

Tabelle 10: Einflussmatrix der Erfolgsfaktoren

	k.1.1	k.2.1	k.2.2	k.2.3	k.2.4	k.2.5	k.3.1	k.3.2	k.3.3	k.3.4	k.4.1	k.4.2	k.4.3	k.4.4	k.4.5	k.4.6	k.5.1	k.5.2	AS
k.1.1	0	0	0	2	0	3	3	3	2	0	0	1	2	2	2	2	1	2	25
k.2.1	0	0	0	3	0	2	1	1	1	2	0	0	1	0	1	0	2	0	14
k.2.2	0	0	0	3	3	2	2	1	2	2	0	1	0	0	1	0	2	1	20
k.2.3	0	0	0	0	3	3	3	3	2	2	0	1	0	0	0	0	3	1	21
k.2.4	0	0	3	3	0	3	1	1	2	2	0	0	1	0	1	0	3	1	21
k.2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
k.3.1	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	0	0	2	3	3	3	1	3	22
k.3.2	0	0	0	0	0	0	3	0	3	1	0	1	2	3	3	3	1	3	23
k.3.3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	1	0	3	0	1	0	9
k.3.4	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	2	1	1	3	0	12
k.4.1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0	6
k.4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	3
k.4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
k.4.4	0	0	0	0	0	0	1	1	3	2	0	0	3	0	3	0	0	3	16
k.4.5	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	2	2	0	0	1	0	9
k.4.6	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	2	0	2	1	2	0	3	1	18
k.5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	3
k.5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
PS	0	0	3	11	6	13	21	20	19	20	2	4	17	16	24	10	22	17	

Eine zeilenweise Addition der Ziffern ergibt die sogenannte Aktivsumme (AS), eine spaltenweise Addition resultiert in der sogenannten Passivsumme (PS). Wird in einem kartesischen Diagramm die Passiv- über der Aktivsumme aufgetragen (s. Abbildung 20), lassen sich die Erfolgskriterien wie folgt klassifizieren⁶⁶⁷:

- Aktive Erfolgskriterien im rechten unteren Quadranten haben einen starken Einfluss auf andere Größen, während sie selbst kaum verändert werden. Ein Beispiel ist die Voraussetzung von formal definierten Elementen und Modellierungsregeln in einem Metamodell, wie es in Kriterium k.1.1 gefordert wird.
- Passive Erfolgskriterien im linken oberen Quadranten haben nur einen geringen Einfluss, werden aber selbst leicht beeinflusst. Ein Beispiel ist die Informationsgüte beim Zugriff auf das Modell (Kriterium k.5.1).
- kritische Erfolgskriterien im rechten oberen Quadranten sind am stärksten vernetzt. Sie wirken sowohl aktiv als auch passiv und bestimmen somit maßgeblich das Systemverhalten. Beispiele sind die Kriterien k.3.1 und k.3.2 (systemische und konsistente Strukturierung).
- Träge Erfolgskriterien im linken unteren Quadranten sind hingegen schwach vernetzt und haben kaum nennenswerte Auswirkungen auf das Systemverhal-

⁶⁶⁷ ebda.

ten. Ein Beispiel ist Kriterium k.4.1, das einen ausreichend großen sowie sicheren und zuverlässigen Informationsspeicher fordert.

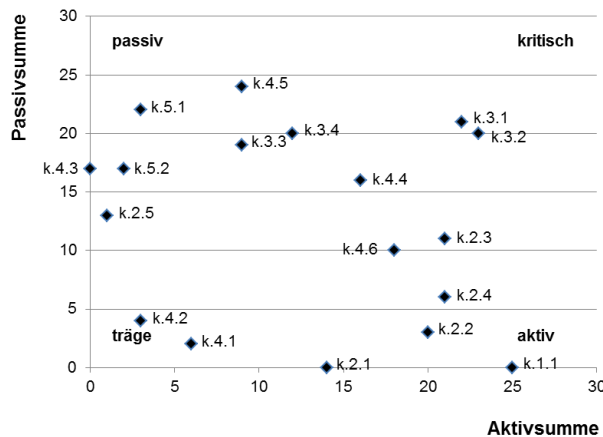


Abbildung 20: Bewertung der Erfolgskriterien nach Aktiv- und Passivsumme

Noch deutlicher lässt sich die Einflussanalyse interpretieren, wenn die Produkte aus Aktiv- und Passivsumme gebildet werden. Dieser sogenannte P-Wert⁶⁶⁸ ist bei k.3.1 und k.3.2 mit Abstand am größten. Eine systemische und konsistente Strukturierung sowohl innerhalb der Teilsysteme im Modell, als auch zwischen jenen ist somit das wichtigste Erfolgskriterium. Im iPeM, das im Fokus dieser Dissertation steht, bildet die Struktur des zugrundeliegenden Metamodells ein solches „Grundgerüst“. Es ist die Basis für die Modellierung sowie für alle nachfolgenden Aktivitäten der Analyse, der Verbesserung und des Transfers von Erfahrungswissen.

5.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde systematisch untersucht, welches die erfolgentscheidenden Faktoren der Prozessmodellierung sind. Der Betrachtungsfokus lag hierbei auf einer anwendungsorientierten Unterstützung der Produktentwicklung. Anforderungen an die Prozessmodellierung aus dem Stand der Forschung alleine machten keine umfassende Eingrenzung möglich. Daher war es notwendig, zusätzlich deskriptive Studien realer Entwicklungsprozesse zu analysieren. Auf Basis der verfügbaren Literatur und einer Interpretation dieser Studien wurden Themenfelder (Abschnitt 5.2.1) und Wirkungsbereiche (Abschnitt 5.3.1) formuliert, für die eine generelle Spezifikation von Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung erfolgte. Für eine Umsetzung dieser in der Praxis wurden im voranstehenden Abschnitt Erfolgsfaktoren nebst zugehörigen Kriterien bestimmt. Damit wird eine Evaluation verschiedener Implementierungen einer modellbasierten Unterstützung möglich. Letztere sind Gegenstände der folgenden beiden Kapitel.

⁶⁶⁸ ebda.

6 Vorstudien

In den folgenden beiden Kapiteln wird dargestellt, wie in explorativen Studien konkrete Möglichkeiten und Grenzen der bis hier diskutierten Aspekte erforscht wurden. Im Sinne der „Design Research Methodology“ (DRM) handelt es sich hierbei um präskriptive Studien, deren Vorgehensweise bewusst vorgegeben wurde. Dadurch wurde erreicht, dass die wesentlichen Erfolgsfaktoren systematisch untersucht werden konnten. In den einzelnen Studien dieses Kapitels wurden die Einflussparameter der zugrundeliegenden Produkte und Branchen, der Unternehmensgröße und der Zahl der Beteiligten sowie die Randbedingungen der Projekte (akademische Studien oder herausfordernde Märkte) variiert, um die Prozessmodellierung umfassend zu erörtern. Vor allem unterscheiden sich die verwendeten Werkzeuge und die jeweilige Umsetzung des iPeM mit diesen Mitteln. Somit konnte die Operationalisierung des Modellierungsansatzes in verschiedenen Facetten getestet werden, die der Kategorisierung der Werkzeuge und Sprachen aus Abschnitt 2.5 entsprechen. Ziel der Vorstudien war der Aufbau von Erfahrungswissen in der Prozessmodellierung, um eine fortgeschrittene Implementierung des iPeM für eine detaillierte Bewertung anhand der in Abschnitt 5.4.1 aufgestellten Kriterien vornehmen zu können (dargestellt in Kapitel 7). Eine Übersicht der Werkzeuge, die in den präskriptiven Vorstudien verwendet wurden, zeigt Abbildung 21.

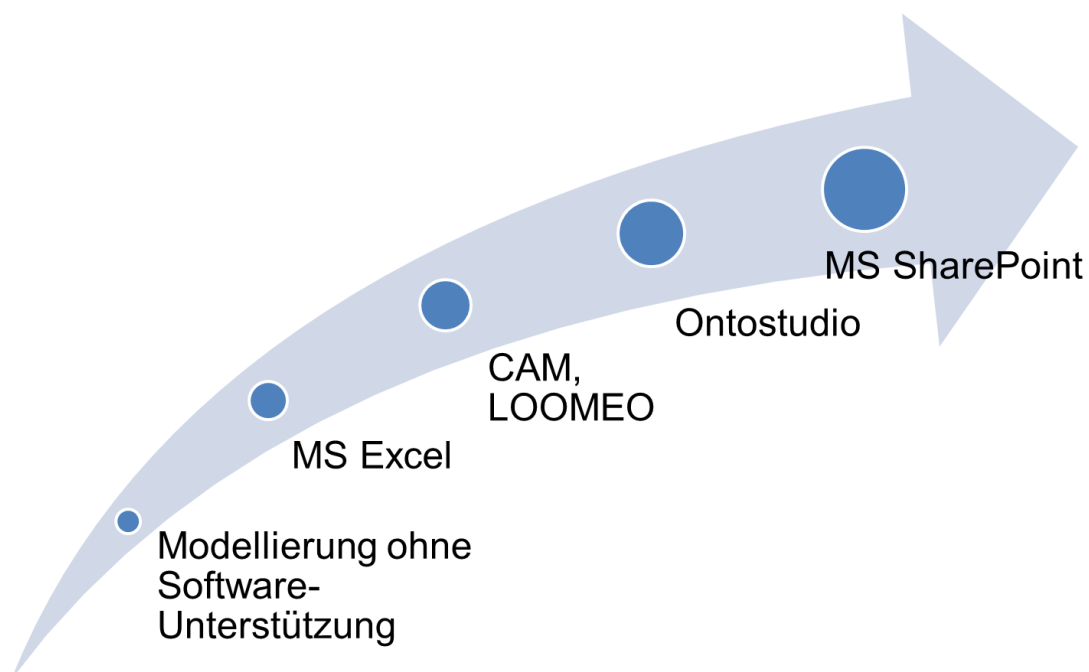


Abbildung 21: Übersicht der verwendeten Werkzeuge in den präskriptiven Vorstudien

Ein in der Literatur beschriebenes Beispiel, das die umfassende Ergründung von Chancen und Risiken der Umsetzung einer Prozessmodellierung motiviert, trägt den bezeichnenden Namen DRAMA (Design Rationale Management). Dabei handelt es sich um eine kommerziell verfügbare Software zur Unterstützung der Entscheidungs-dokumentation. Ausgehend von einem universitären Prototyp der Software wurde DRAMA als kommerzielles Produkt weiterentwickelt, bevor die Entwicklungsarbeit auf Grund wirtschaftlicher Gesichtspunkte eingestellt wurde. Der Entwickler der Software nennt für den kommerziellen Fehlschlag folgende Ursachen:

- Die Modellierung der Designentscheidungen führe zu zusätzlicher Arbeit, von deren Nutzen der modellierende Entwickler selbst meist nicht unmittelbar profitiere [s.o.: subjektiv empfundener (Mehr-)Aufwand]. Ziel war im betrachteten Beispiel erklärtermaßen die Langzeitdokumentation von Designentscheidungen, die bei der späteren Wartung von langjährig eingesetzten Investitionsgütern hilfreich sein sollte;
- Unternehmen könnten für Fehler im Designprozess nachträglich leichter verantwortlich gemacht werden und scheuten teilweise diese Transparenz;
- Feinheiten des Design-Prozesses seien schwierig in einer strukturierten Form zu erfassen [ohne ein elaboriertes zugrunde liegendes Metamodell].⁶⁶⁹

Die Struktur wurde in Abschnitt 5.4.2 als wichtigste Grundlage der Prozessmodellierung identifiziert. Das Beispiel zeigt jedoch, dass auch Faktoren wie die Akzeptanz auf Unternehmensebene oder auf der Ebene individueller Benutzer eine entscheidende Rolle spielen. Um eine umfassende Einschätzung zu Nutzen und Aufwand in den einzelnen Studien zu gewinnen, wird in der Zusammenfassung dieses Kapitels eine Bewertung nach den in den Abschnitten 5.3.2 und 5.3.3 aufgestellten Aspekten vorgenommen. Zunächst wird jedoch im folgenden Abschnitt das den Studien zugrunde gelegte Verständnis vom System der Produktentstehung in Form eines Metamodells beschrieben.

6.1 Zugrunde gelegtes Metamodell

In diesem Abschnitt werden vorläufige Grundannahmen über die Wirkzusammenhänge im System der Produktentstehung getroffen und erläutert. Sie basieren auf dem Stand der Forschung und im Wesentlichen auf der bisherigen theoretischen Basis der „Karlsruher Schule“. In Abbildung 22 werden die Wirkzusammenhänge in Form eines Metamodells dargestellt. Diese Annahmen bildeten die Ausgangslage für die Entwicklung der werkzeugtechnischen Umsetzungen von iPeM und/oder C&C²-A

⁶⁶⁹ vgl. Brice 2010 [Ergänzungen d. Verf. in eckigen Klammern]

in den Studien, die in den folgenden Kapiteln präsentiert werden. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Erkenntnisse aus den durchgeführten Studien in Kapitel 8 reflektiert und auf Basis dessen eine Weiterentwicklung des Metamodells eingeführt.

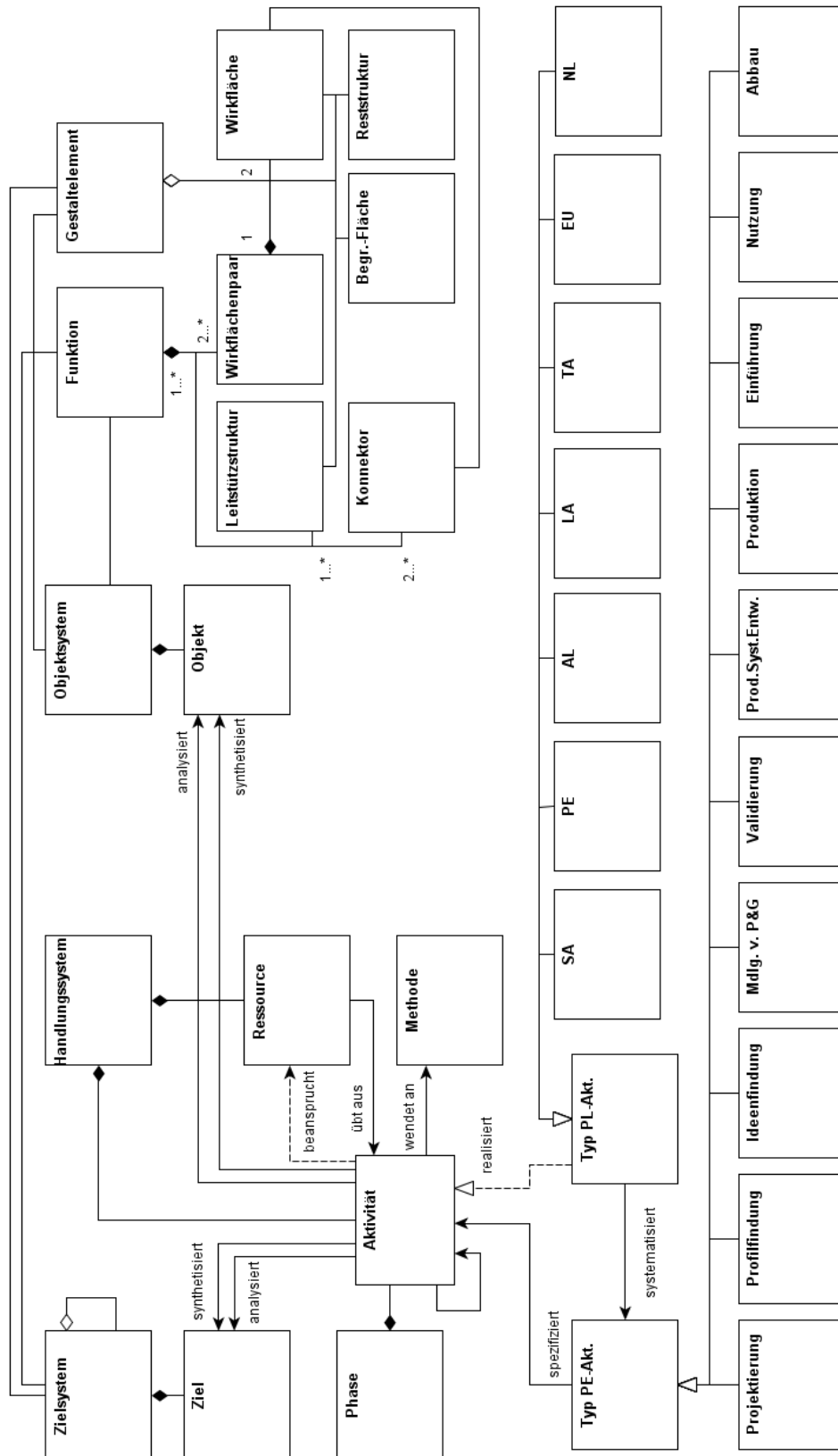


Abbildung 22: Metamodell der Wirkzusammenhänge der Produktentstehung

Abbildung 22 stellt eine UML-Repräsentation eines Metamodells der Produktentstehung dar. Diese umfasst Entitäten, die die einzelnen Elemente der Produktentstehung (Ziele, Aktivitäten, Objekte) repräsentieren. Außerdem werden darin die Beziehungen zwischen diesen Elementen beschrieben. Die Beziehungstypen haben die in Tabelle 11 erläuterten Bedeutungen.

Tabelle 11: Erläuterung der Beziehungstypen im Metamodell


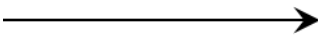
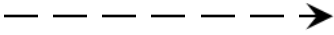
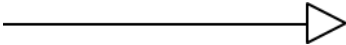
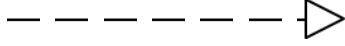
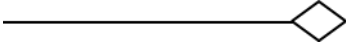
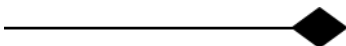
Symbol	Erläuterung
	Eine Assoziation ist eine allgemeine Beziehung zwischen zwei der mehreren Klassen.
	Eine gerichtete Assoziation beschreibt eine Wirkung von einer auf eine andere Klasse. Die Wirkung kann in einem erläuternden Text spezifiziert sein.
	Eine Verwendungsbeziehung ist eine gerichtete Assoziation, bei der eine Klasse von einer anderen benutzt wird.
	Eine Generalisierung ist eine gerichtete Beziehung zwischen zwei Klassen. Eine generelle Klasse „erbt“ die Merkmale einer speziellen Klasse.
	Eine Realisierungsbeziehung gibt an, dass eine Klasse von einer anderen implementiert wird.
	Eine Aggregation beschreibt, dass eine Klasse Teil einer anderen Klasse ist. Multiplizitäten geben ggf. an, wie viele Elemente jeweils beteiligt sind.
	Eine Komposition ist ein Spezialfall der Aggregation und gibt an, dass die Teile nicht ohne das Ganze existieren können.

Abbildung 22 kann in drei Bereiche unterteilt werden. Die acht Elemente oben rechts beschreiben den Zusammenhang von Funktion und Gestalt nach dem C&C²-A.⁶⁷⁰ Links davon sind Ziel-, Handlungs- und Objektsystem dargestellt. Als das am stärksten vernetzte Element ist die Klasse „Aktivität“ zu erkennen. ALBERS ET AL. arbeiten die zentrale Bedeutung von Aktivitäten in der Modellierung von Produktentstehungsprozessen in vier Studien heraus.⁶⁷¹ Aktivitäten sind mit Ziel- und Objektsystem durch Relationen der Synthese und Analyse verbunden. Dies bedeutet, dass Aktivitäten sowohl Ziele in Objekte transformieren können, als auch umgekehrt. Dieser Zusammenhang kann mit Hilfe der Systemtechnik formal beschrieben werden. Informationen aus Ziel- bzw. Objektsystem dienen Aktivitäten als Eingangsgrößen oder stellen Ausgangsgrößen dar. Dies können aus

⁶⁷⁰ s. Albers und Sadowski 2013, S. 9f.

⁶⁷¹ s. Albers et al. 2012c und Albers et al. 2013

Analysetätigkeiten abgeleitete neue Ziele oder synthetisierte Objekte sein. Während diese Größen als „Flussrelationen“ aufgefasst werden, stehen einzelne Aktivitätenabfolgen in dieser systemtechnischen Betrachtung durch „Ordnungsrelationen“ untereinander in Beziehung.⁶⁷² Nach der Logik des iPeM können die Aktivitäten in Referenz zu typischen Tätigkeitsclustern im Produktentstehungsprozess sowie als Bestandteile eines Problemlösungsprozesses näher spezifiziert werden. In den unteren beiden Zeilen in Abbildung 22 sind diese Aktivitätstypen dargestellt. Nach ALBERS ET AL. dienen die Aktivitäten der Produktentstehung vornehmlich der Strukturierung der Informationen des Gesamtprozesses, während deren tatsächliche Realisierung in Form der Aktivitäten der Problemlösung erfolgt.⁶⁷³

Prozess- und produktrelevante Aspekte stehen miteinander in Beziehung. In Abbildung 22 ist dies durch die Assoziationen von Ziel- und Objektsystem mit den C&C²-Elementen Funktion und Gestalt gekennzeichnet. Ziele stellen – unter anderem – eine mentale Antizipation des Funktions- und Gestaltzusammenhangs eines Produkts dar.⁶⁷⁴ Dokumente, die funktionsrelevante Eigenschaften beschreiben (z.B. Berechnungsdateien) oder Gestaltmerkmale charakterisieren (z.B. CAD-Daten), finden sich im Objektsystem wieder. OERDING beschreibt die Strukturierung von Zielsystemen mit dem C&C²-A.⁶⁷⁵ ALBERS ET AL. ordnen die Produktmodellierung grundlegend in den Entwicklungsprozess ein und setzen die theoretischen Überlegungen in einem prototypischen Softwaretool um.⁶⁷⁶ Dieses wird betreut durch den Autor der vorliegenden Dissertation von SADOWSKI um eine eindeutige Funktionsbasis und eine Bauteilbibliothek erweitert.⁶⁷⁷ SALOMON schließlich definiert gemeinsam mit dem Autor eine formale Schnittstelle zwischen den Domänen Prozess und Produkt in Form eines „Prozessadapters“⁶⁷⁸ und implementiert die integrierte Prozess- und Produktmodellierung in einem Softwaretool (getestet in der Studie aus Abschnitt 6.4.2).

⁶⁷² vgl. Albers et al. 2010b mit Bezug auf Ropohl 1975

⁶⁷³ ebda.

⁶⁷⁴ vgl. Albers und Braun 2011

⁶⁷⁵ Oerding 2009

⁶⁷⁶ Albers et al. 2009

⁶⁷⁷ Sadowski 2009 (betreute Abschlussarbeit) und Albers et al. 2011a

⁶⁷⁸ Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 43

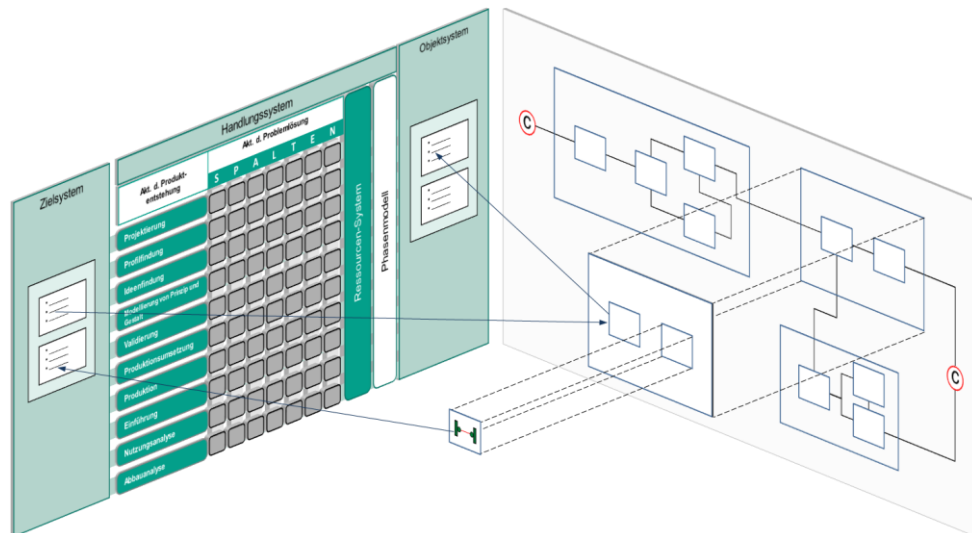


Abbildung 23: Dreidimensionale Darstellung eines integrierten Ansatzes⁶⁷⁹

Abbildung 23 veranschaulicht die Grundannahme der integrierten Modellierung von Prozess und Produkt. Sie kann eine Basis darstellen für die Realisierung umfangreicher Analysen von Entscheidungsbegründungen im Prozess (engl.: „traceability“ oder „Design Rationale“). Durch die Nachvollziehbarkeit produktrelevanter Aspekte (z.B. die Qualität der Funktionserfüllung) im Bezug zu prozessrelevanten Aspekten (z.B. zugrundeliegende Aktivitäten, deren Zielsetzungen und Randbedingungen) wird eine bidirektionale Bewertung möglich. Diese kann Rückschlüsse auf best- und worst-practices durch Transparenz bezüglich situationsspezifischer Vorgehensweisen und Resultaten erlauben. Konsequenterweise ließe sich daraus sogar eine Bewertung des Beitrags einzelner Ressourcen zum Produkterfolg ableiten. Neben arbeitsrechtlichen und tarifpolitischen Erwägungen müssen an dieser Stelle jedoch modelltechnische Vorbehalte angeführt werden. So unterliegen derartige Überlegungen dem einschränkenden Hinweis, dass jede Modellanalyse und -interpretation Grenzen der Qualität der modellierten Informationen unterliegt. Die grundlegende Erforschung solcher Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung ist Gegenstand der in den folgenden Abschnitten beschriebenen Studien. Dabei gilt, dass je nach Modellierungszweck auch nur Teile dieses Metamodells in Betracht gezogen werden können. Beispielsweise fokussieren die Anwendungen, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden, lediglich prozessrelevante Aspekte.

6.2 Modellierung ohne Software-Unterstützung

Das im vorigen Abschnitt erläuterte theoretische Verständnis des iPeM und des C&C²-A stellt ein Rahmenwerk dar, in dem eine methodische Unterstützung der Produktentstehung erfolgen kann. Als Verständnismodelle können die Ansätze dazu

⁶⁷⁹ Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 48 – das Phasenmodell ist vereinfacht dargestellt

beitragen, konkrete Sachverhalte der Produktentstehung effektiv zu diskutieren. Beispiele sind die Forschung⁶⁸⁰ und Lehre⁶⁸¹ des IPEK – Institut für Produktentwicklung. Eine Anwendung in realen Produktentstehungsprozessen umfasst hingegen je nach Anwendungsfall eine Vielzahl von Aspekten, die zueinander in Beziehung gesetzt werden müssen. Um die kognitiven Einschränkungen des Menschen zu überwinden, dient die explizite Modellierung hierbei zunächst dazu, das Arbeitsgedächtnis zu entlasten.⁶⁸² Im einfachsten Fall kann dies mit Stift und Papier als Werkzeug erfolgen.

In Abschnitt 5.2 wurden erste Anwendungen des iPeM mit einfachen prototypischen iPeM-Implementierungen geschildert. Diese Studien wurden von Studierenden bzw. von Institutsangehörigen durchgeführt. In Ergänzung hierzu werden in diesem Abschnitt zwei Workshops vorgestellt, die mit Industriekunden durchgeführt wurden. Auch in diesen wurde das iPeM „händisch“ angewendet, um Transparenz über die jeweiligen Prozesse zu schaffen. Es zeigte sich, dass auch eine Anwendung ohne fortgeschrittene Software-Werkzeuge zu beachtlichen Erfolgen führen kann. Das positive Feedback der Studienteilnehmer dient dabei als Hinweis für eine praktische Relevanz der Prozessunterstützung mit dem iPeM. Die Studien wurden in Form einer begutachteten Veröffentlichung mit Fachvortrag in der wissenschaftlichen Community diskutiert.⁶⁸³ Im Folgenden werden die Studien und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst.

6.2.1 Produktentstehungsprozess eines Automobilzulieferers

Untersuchungsgegenstand der ersten Studie war der Produktentstehungsprozess eines Automobilzulieferers. Das mittelständische Unternehmen stand vor der Herausforderung, in den offenen Markt einzutreten; zuvor belieferte es vornehmlich staatliche Kunden, was mit deutlich geringerem Kosten- und Zeitdruck einherging. Im Unternehmen existieren Vorgaben, wie der Produktentstehungsprozess durchzuführen sei. Gleichwohl entwickelte sich über die Jahre aber eine tatsächliche Vorgehensweise, die – so die Vermutung des geschäftsführenden Firmeninhabers – teilweise stark von der ursprünglichen Vorgabe abweicht. Um einen konkurrenzfähigen Produktentstehungsprozess zu definieren, sollte zunächst also der tatsächlich gelebte Prozessverlauf ermittelt werden. Daraufhin sollte dieser auf Verbesserungspotentiale untersucht werden.

⁶⁸⁰ s. Albers und Marxen 2012

⁶⁸¹ vgl. Vorlesungen „Produktentstehung – Entwicklungsmethodik“ und „Integrierte Produktentwicklung“ (Albers et al. 2008a)

⁶⁸² vgl. Dörner 1979

⁶⁸³ Albers et al. 2012c in: Tag des Systems Engineering, 07.-09. November 2012, Paderborn

Im Rahmen eines eintägigen Workshops wurde unter Moderation des Autors der vorliegenden Arbeit ein Referenzmodell des „typischen“ Produktentstehungsprozesses erstellt. Die 13 Teilnehmer des Workshops stammten aus allen relevanten Unternehmensbereichen, von Projektleitung, IT, Marketing, Entwicklung und Produktion bis zu Einkauf und Vertrieb. In dieser Studie war der Modellierer gleichzeitig der Moderator des Workshops. Daher hatte er einen merklichen Einfluss auf die Modellerstellung, indem er die Informationsakquise steuerte. Genau dies steht in der betrachteten Studie jedoch auch im Fokus: Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus ist es interessant zu erforschen, wie sich das iPeM eignet, um eine Modellerstellung zu strukturieren.

Mit Hilfe der Metaplantchnik wurden der Reihe nach Informationen abgefragt, die den Subsystemen des iPeM entsprechen. Da die bisherigen Prozessvorgaben auf der Erstellung bestimmter Dokumente basieren, wurde mit der Erfassung des Objektsystems begonnen. Daraufhin wurden die Aktivitäten, die zu den Objekten führen und die Ziele, die diesen Aktivitäten zugrunde liegen, ermittelt. Erst dann wurden die Verantwortlichkeiten abgefragt, um ein möglichst unvoreingenommenes Brainstorming zu sichern. Als Ergebnis entstand das Modell eines Produktentstehungsprozesses, wie ihn die Workshopteilnehmer in ihrer täglichen Arbeit wahrnehmen. Der zuvor unstrukturierte, wenig transparente Produktentstehungsprozess wurde erfolgreich expliziert. Dieses Abbild des aktuellen Ist-Prozesses diente als Grundlage für eine Neustrukturierung des Referenzprozesses im Nachgang des Workshops.⁶⁸⁴

6.2.2 Produktentstehungsprozess eines Herstellers von Investitionsgütern

Eine weitere Studie wurde ebenfalls in Form eines eintägigen Workshops und auf Basis des iPeM durchgeführt. Auch hier war es das Ziel, den tatsächlich gelebten, „typischen“ Produktentstehungsprozess zu erfassen. Da das mittelständische Unternehmen seine Prozesse bereits detailliert beschreiben konnte, lag das Hauptaugenmerk hier darauf, Probleme oder Lücken im Standardprozess zu identifizieren. Die fünf Workshopteilnehmer stammten aus den Unternehmensbereichen Entwicklung und Konstruktion, Projektmanagement, Vertrieb und Service.

Die Teilnehmer der Studie wurden gebeten, den typischen Prozessverlauf aus ihrer Sicht explizit zu modellieren. Im Anschluss wurden die Prozessmodelle der einzelnen Teilnehmer in moderierter Diskussion chronologisch auf ein zwei mal acht Meter großes Whiteboard übertragen. Es traten erhebliche (inhaltliche) Diskrepanzen in der Benennung, Abfolge und Vernetzung der jeweils modellierten Aktivitäten auf.

⁶⁸⁴ vgl. Albers et al. 2012c

Nachdem das gemeinsame Modell konsolidiert worden war, konnte auf dieser Basis jedoch erfolgreich eine Analyse der Information- bzw. Kommunikationsflüsse erfolgen. Außerdem war es durch das generische iPeM-Metamodell möglich, fehlende Aktivitäten aufzudecken (z.B. den SPALTEN-Schritt Tragweitenanalyse). Als hauptsächliche Problemursachen wurden letztlich eine zu späte Einbindung des Kunden in den Bereich Entwicklung und Konstruktion sowie das Fehlen konkreter Meilensteine bestimmt.⁶⁸⁵

6.2.3 Erkenntnisse aus den Anwendungen ohne Software-Unterstützung

In beiden Studien ermöglichte das strukturierte iPeM-Rahmenwerk eine systematische Erfassung prozessrelevanter Informationen auf einer abstrakten Ebene. Für diesen Modellierungszweck erwies sich die iPeM-Anwendung ohne Software-Unterstützung als sehr effektiv. Besonders nützlich erwies sich dabei der zentrale Aktivitätsbegriff im iPeM. Alle Informationen bezüglich Zielen und Randbedingungen, Ressourcen oder Objekten stehen mit Aktivitäten in Beziehung. Je nach Anwendungsfall konnten die Workshops auf Basis dieses Zusammenhangs individuell organisiert werden. Die Teilnehmer beider Studien bestätigten übereinstimmend die Eignung des iPeM für den Zweck der Prozesserschaffung und -strukturierung. Der Aufwand für die Modellierung der relativ abstrakten Referenzprozesse war in beiden Fällen vergleichsweise gering. Die Prozessmodellierung gelang jeweils sehr effizient an nur einem Tag. Solch eine explizite Modellierung von Prozessen ist eine notwendige Voraussetzung für nachfolgende Analyseschritte und Möglichkeiten, Prozesse zu verbessern.

Die Möglichkeiten der expliziten Modellierung ohne Rechnerunterstützung sind jedoch sehr eingeschränkt. So limitiert in den vorgestellten Beispielen z.B. schlicht der verfügbare Platz auf Metaplanwand oder Whiteboard die darstellbare Informationsmenge. In den folgenden Kapiteln werden daher verschiedene Typen von Softwareprogrammen auf ihre Eignung zur Prozessmodellierung untersucht.

6.3 MS Excel in der biotechnologischen Prozessentwicklung

In diesem Abschnitt wird eine Studie, die mit einem verbreiteten Werkzeug für die Tabellenkalkulation durchgeführt wurde, vorgestellt. Tabellenkalkulationsprogramme ermöglichen es, Informationen strukturiert zu erfassen und durch Anordnung in Zeilen und Spalten miteinander in Beziehung zu setzen. Die darstellbare Informationsmenge ist dabei prinzipiell unbegrenzt. Am weitesten ist die Suite

⁶⁸⁵ ebda.

Microsoft Office mit ihrem Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel verbreitet.⁶⁸⁶ Eine erste iPeM-Implementierung in MS Excel kam bereits in Abschnitt 5.2 am Beispiel eines studentischen Projekts zur Anwendung.⁶⁸⁷ Die hier betrachtete Studie basiert auf den gesammelten Erkenntnissen des vorangegangenen Kapitels. In ihr wurden zwei Ziele verfolgt. Zum einen sollte eruiert werden, in welchem Umfang das iPeM in der weit verbreiteten Software MS Excel implementiert werden kann. Zum anderen wurde erforscht, ob und wie gut das iPeM in einer anderen Branche angewendet werden kann. Anstelle eines Produktentwicklungsprojekts handelt es sich in der betrachteten Studie um die Entwicklung eines Prozesses in der Biotechnologie.

6.3.1 Charakteristika und Ziele der Studie in der Biotechnologie

Die Biotechnologie macht sich Mikroorganismen und deren Stoffwechselprozesse zunutze.⁶⁸⁸ Heute werden Mikroorganismen hierfür häufig gentechnisch manipuliert,⁶⁸⁹ um gewünschte Produkte wie z.B. Additive für Lacke herzustellen. In der noch jungen Branche entstehen fortwährend neue biotechnologische Prozesswege und das Innovationspotential steigt monoton an.⁶⁹⁰ In der Biotechnologie arbeiten unterschiedlichste Disziplinen aus Ingenieur- und Naturwissenschaften zusammen. Aufgrund der unterschiedlichen Ausbildungswege besteht keine gemeinsame Sprache.⁶⁹¹ Die ständige Neuentwicklung der Prozesse führt zu einem starken, teils unkoordinierten Wissenszuwachs. Dabei existieren keine methodischen Prozessentwicklungsleitfäden, die spezifisch auf die Biotechnologie zugeschnitten wären.⁶⁹² Insbesondere der Aspekt der sicheren Prozessgestaltung ist in der jungen Branche zu verbessern.

Gemeinsam mit dem Hauptgeschäftsfeld Biotechnologie und Gentechnik eines marktführenden Chemiekonzerns wurde untersucht, welche Unterstützung das iPeM für die Entwicklung biotechnologischer Prozesse leisten kann. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf Möglichkeiten zur Einbindung von Entwicklungsmethoden und zur strukturierten Dokumentation. Der erste Aspekt ist insbesondere durch sehr lange Entwicklungszeiten in der Biotechnologie motiviert.⁶⁹³ Der zweite Aspekt kann in der interdisziplinären und jungen Branche dazu dienen, Erfahrungswissen festzuhalten

⁶⁸⁶ s. webmasterpro 2010

⁶⁸⁷ vgl. Hauenstein 2010 (betreute Abschlussarbeit)

⁶⁸⁸ vgl. Vieweger 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 18, zitiert nach Soetaert und Vandamme 2009

⁶⁸⁹ vgl. Vieweger 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 18, zitiert nach Marison 2010

⁶⁹⁰ vgl. Vieweger 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 1f., zitiert nach Heiden und Zinke 2006 und Wink 2011

⁶⁹¹ vgl. Vieweger 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 1, zitiert nach Nagl und Marquardt 2008

⁶⁹² ebda.

⁶⁹³ vgl. Chiesa und Chiaroni 2005, Otereo und Nielsen 2010

und somit künftige Prozessentwicklungen zu erleichtern. Von besonderem Interesse war überdies die Frage, ob und in wie fern sich das iPeM an eine Anwendung in einer fachfremden Domäne anpassen lässt. Erkenntnisse aus der Studie liefern somit auch Hinweise auf Möglichkeiten der Übertragbarkeit des Modellierungsansatzes.

6.3.2 Charakteristika der iPeM-Implementierung in MS Excel

Das iPeM wurde entwickelt, um die technische Produktentwicklung zu unterstützen. Daher musste das Metamodell zunächst für die Biotechnologie angepasst werden. Es zeigte sich, dass aufgrund des weitaus generischen Charakters des iPeM lediglich die Aktivitäten der Produktentstehung angepasst werden mussten.⁶⁹⁴ Die neu definierten Aktivitäten sind: Marktanalyse, chemische/gentechnische Entwicklung, Genehmigung/Patente⁶⁹⁵, Controlling, Validierung, Fermentation, Aufarbeitung, Formulierung, Vermarktung, Waste Management.

Zur Anwendung des für die Biotechnologie angepassten Metamodells wurde, betreut durch den Autor der vorliegenden Dissertation, ein Werkzeug in MS Excel entwickelt. Es umfasst verlinkte Tabellenblätter, die sich in Zielsystem, Handlungssystem und Objektsystem gliedern. Das Handlungssystem wiederum ist in Aktivitäten, ein Ressourcensystem und ein Phasenmodell unterteilt. Ausgehend von einem Übersichtsblatt wird der Nutzer auf die verschiedenen Arbeitsblätter weitergeleitet. Außerdem befinden sich auf der Übersicht Erklärungen, wie das iPeM anzuwenden ist und aus welchen Elementen es besteht. Dies soll unerfahrenen Entwicklern den Einstieg erleichtern.

Die Problemlösungsaktivitäten sind gemäß der SPALTEN-Systematik gegliedert. Sie ermöglichen eine strukturierte Informationsablage. Im Problemlösungsschritt „Lösungsauswahl“ wurde zusätzlich ein Ampelsystem implementiert. Dieses soll eine schnelle Übersicht von ausgewählten Lösungen (grüne Ampeln) bieten und aufzeigen, an welcher Stelle der Prozessentwicklung keine Lösungsauswahl getroffen wurde (rote Ampeln). Jeder Entwicklungsaktivität sind ferner Methoden zugeordnet und als PDF-Dateien hinterlegt. Gerade unerfahrene Nutzer können hierdurch bei einer methodischen Vorgehensweise unterstützt werden. Das Phasenmodell besteht entsprechend dem iPeM aus drei integrierten Zeitplänen. Diese halten den geplanten Entwicklungsverlauf (Implementierungsmodell), den Zeitplan der realen Durchführung (Anwendungsmodell) und den generischen

⁶⁹⁴ vgl. Vieweger 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 44ff.

⁶⁹⁵ Dieser Punkt ist aufgrund der herausragenden Rolle von geistigem Eigentum in der Biotechnologie separat aufgeführt. (vgl. Vieweger 2012, S. 20)

Zeitplan vergleichbarer, schon erfolgreich abgeschlossener Prozesse (Referenzmodell) fest.⁶⁹⁶

6.3.3 Erkenntnisse aus der Studie in der Biotechnologie

Der subjektive Nutzen, den die Excel-basierte iPeM-Anwendung in der Biotechnologie erbringen kann, wurde in drei Untersuchungen ermittelt.⁶⁹⁷ Zum einen wurde ein realer Entwicklungsprozess über einen Zeitraum von acht Wochen modelliert. Dabei wurde untersucht, wie gut sich das iPeM-Tool eignet, um den laufenden Prozess zu dokumentieren. Ebenfalls ließ sich prüfen, wie gut die bis zu Beginn der Studie bereits erfolgten Prozessschritte retrospektiv erfasst werden konnten. Hierfür fanden ein Projekttreffen mit dem Entwicklerteam und wöchentliche, offene Interviews mit der Projektleiterin statt. Außerdem wurde zusammen mit der Projektleiterin ein beispielhafter kompakter Anwendungsfall definiert und modelliert. Es handelt sich dabei um eine Fragestellung, die im tatsächlichen Prozess aufgetreten war. Anhand dieses Fallbeispiels konnten die Möglichkeiten der methodischen Unterstützung erprobt werden. Für die letzte Untersuchung wurden dem Entwicklungsteam in einer Schulung sowohl iPeM als auch Excel-Tool vorgestellt.⁶⁹⁸ Daraufhin wurden die Studienteilnehmer gebeten, ebenfalls eine beispielhafte Fragestellung aus dem bekannten Prozess mit Hilfe des Tools zu bearbeiten. Das Hauptaugenmerk der Untersuchung lag dabei auf der Benutzerfreundlichkeit und der Logik des Modellaufbaus bezogen auf die biotechnologische Prozessentwicklung. Das Feedback der Studienteilnehmer wurde im Anschluss an den Test in Fragebögen und Interviews eingeholt. Für eine ausführliche Darstellung der Erhebung und eine Interpretation der Erkenntnisse wird auf die Arbeit von VIEWEGER verwiesen.⁶⁹⁹ Im Folgenden werden die Ergebnisse zusammengefasst.

Die erste Teilstudie, in der der Entwicklungsprozess sowohl retrospektiv, als auch fortlaufend erfasst wurde, erwies den Nutzen der iPeM-Implementierung als Dokumentationswerkzeug. Die Informationen konnten strukturiert erfasst und in das Modell eingetragen werden. Das entstandene Modell wurde dem Entwicklungsteam vorgestellt, das dessen Nutzen als nachhaltige Prozessdokumentation bestätigte.⁷⁰⁰

Die zweite Teilstudie, in der eine reale Fragestellung bearbeitet wurde, impliziert den Nutzen durch eine methodische Unterstützung. So wurde von der durchführenden Person über einen Zeitraum von zwei Wochen systematisch nach dem iPeM

⁶⁹⁶ vgl. Vieweger 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 47ff.

⁶⁹⁷ vgl. Vieweger 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 52ff.

⁶⁹⁸ s. ebda. S. 62f.

⁶⁹⁹ ebda. S. 70ff.

⁷⁰⁰ ebda. S. 53ff.

vorgegangen. Das iPeM diene dabei erfolgreich als „roter Faden“ zur Orientierung. Weiterhin war es möglich, die im Tool hinterlegten Methoden gezielt auszuwählen und effektiv auf Basis der situationscharakterisierenden Informationen anzuwenden.⁷⁰¹ Für die Situationsanalyse und Problemeingrenzung wurde der betrachtete Sachverhalt dabei ferner mittels C&C²-A bis auf die molekulare Ebene modelliert und analysiert. Es ergaben sich zwei Lösungsalternativen, die darin bestehen, je ein Wirkflächenpaar hinzuzufügen oder zu entfernen.⁷⁰² Die Erstellung eines Implementierungsmodells und eines Anwendungsmodells erlaubten schließlich einen Soll-Ist-Vergleich, um die Projektplanung hinsichtlich ihrer Effizienz zu überwachen.⁷⁰³

Nachteilig fielen fehlende Möglichkeiten der Filterung von Informationen auf – die gleichzeitige Darstellung aller Informationen macht größere Modelle unübersichtlich. Ebenfalls fehlen in MS Excel Möglichkeiten, den Detaillierungsgrad frei zu wählen („zoomen“).⁷⁰⁴ Weitere Nachteile der Software MS Excel können nur durch aufwändigeres Programmieren in VBA⁷⁰⁵ eingedämmt werden. Dazu zählen erweiterte Möglichkeiten der Verlinkung von Informationen und Möglichkeiten, dynamische Veränderungen im gesamten Modell vorzunehmen.⁷⁰⁶

In der dritten Teilstudie wendeten Entwickler des Industriepartners nach einer kurzen Schulung das Excel-Tool selbst an. Die Auswertung der Fragebögen macht deutlich, dass auch Novizen die in Ziel-, Handlungs- und Objektsystem gegliederte Struktur für sinnvoll halten. Auf Basis des iPeM kann ein gemeinsames Verständnis geschaffen werden. Es wird ein großes Potential zur Prozessdokumentation attestiert. Die Aktivitäten der Prozessentwicklung wurden überwiegend als vollständig angesehen. Zusammen mit den Aktivitäten der Problemlösung erscheinen sie geeignet zu sein, die Entwicklungsarbeit methodisch zu unterstützen. Verbesserungspotential sehen die Studienteilnehmer vor allem bei der Benutzerfreundlichkeit der Software. Das Excel-Tool wurde überdies als nicht intuitiv wahrgenommen und erforderte eine lange Einarbeitungszeit.⁷⁰⁷

6.4 Modellierung auf Basis der Graphentheorie

In Abschnitt 5.2 wurde bereits das komplexe Produktentwicklungsprojekt „Integrierte Produktentwicklung (IP)“ vorgestellt und die Prozessmodellierung ohne erweiterte

⁷⁰¹ ebda. S. 56

⁷⁰² ebda. S. 57ff.

⁷⁰³ ebda. S. 61f.

⁷⁰⁴ ebda. S. 75 und 78

⁷⁰⁵ VBA – Visual Basic for Applications: Eine Skriptsprache zur Steuerung von Abläufen innerhalb der Microsoft-Office-Programme.

⁷⁰⁶ Vieweger 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 81

⁷⁰⁷ ebda. S. 71ff.

Werkzeugunterstützung geschildert. In diesem Abschnitt wird die Modellierung des industrienahen Entwicklungsprozesses eines IP-Teams mit Hilfe einer iPeM-Implementierung im „Cambridge Advanced Modeller (CAM)“ dargelegt und diskutiert. Im Gegensatz zum Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel im voranstehenden Kapitel handelt es sich bei CAM um eine Software, die mit Netzwerkgraphen arbeitet. Dies bietet umfassendere Möglichkeiten des Arbeitens mit vernetzten Informationen.⁷⁰⁸

6.4.1 Charakteristika und Ziele der Studie an einem studentischen Team

Gegenstand dieser Studie ist der Prozess eines Teams des IP-Jahrgangs 2012. Die Aufgabenstellung widmete sich der Erarbeitung neuer Konzepte für Maschinen zur Blechbearbeitung. Die Modellerstellung erfolgte durch eine dritte Person, die permanenten Zugang zum Entwicklungsteam hatte. Die Informationen für die Modellierung entstammen verschiedenen Projektdokumentationen und Interviews mit dem Team; zudem wurde das entstehende Modell regelmäßig mit dem Teamsprecher abgestimmt. Es muss daher beachtet werden, dass die Studie keine ausschließliche Beobachtung darstellt. Es handelt sich um einen sogenannten „Action Research Approach“, bei dem der betrachtete Gegenstand durch die Studie beeinflusst wird.⁷⁰⁹ In diesem Fall ermöglichte das regelmäßige Review des Modells eine regelmäßige Reflektion des Prozesses. Dies hatte, wie im Folgenden gezeigt wird, einen positiven Effekt auf das Projekt.

Ziel der Modellierung war das Testen der iPeM-Implementierung in CAM. Im Fokus lagen dabei die Vollständigkeit der durch die Software bereitgestellten Modellelemente und Verknüpfungstypen sowie die Ergonomie der Software-Anwendung. Neben den Möglichkeiten und Grenzen zur Modellerstellung wurden dabei insbesondere die Möglichkeiten und Grenzen der Wiedergewinnung von Informationen aus dem Modell untersucht.

Betreut durch den Autor dieser Dissertation wurde ein Implementierungsmodell erstellt, in dem geplante Aktivitäten, Ziele und Objekte sowie beteiligte Ressourcen abgebildet werden. Weiterhin wurde ein Anwendungsmodell erstellt, in dem die während des Projektverlaufs tatsächlich durchgeführten Aktivitäten mit zugehörigen Zielen, Objekten und beteiligten Ressourcen repräsentiert sind. Die Modellierung sowohl auf Implementierungs- als auch auf Anwendungsebene hatte das Ziel, die Abweichung von Planung und Durchführung deutlich zu machen. Schließlich wurden neben diesen prozessrelevanten Aspekten noch Modelle zweier Produktprofile und

⁷⁰⁸ vgl. Lindemann et al. 2009 oder Eppinger und Browning 2012

⁷⁰⁹ vgl. Ottoson et al. 2006

der vom Team ausgewählten Produktidee erstellt. Die Modellierung dieser prozess- und produktrelevanten Aspekte in einer gemeinsamen DSM zielte insbesondere darauf ab, Entscheidungen und deren Begründungen in Ziel- oder Objektsystem mit den funktions- und gestaltcharakterisierenden C&C²-Elementen zu verknüpfen.⁷¹⁰

Mit dieser integrierten Modellierung sollten die Interaktionen zwischen den Subsystemen des soziotechnischen Systems der Produktentstehung aufgedeckt und sichtbar gemacht werden. Dies wurde als notwendige Basis betrachtet, um eine Integration von Methoden und Werkzeugen zur Unterstützung der Produktentstehung hinsichtlich der folgenden Aspekte zu erzielen:

- Ressourcenverwaltung auf Basis transparenter, bewertbarer Informationen;
- Qualitätssicherung;
- Projektplanung und -steuerung;
- Informations- und Wissensmanagement (um die richtigen Informationen zur richtigen Zeit und im notwendigen Kontext zur Verfügung stellen zu können);
- Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen.⁷¹¹

Der letztgenannte Punkt ist insbesondere aus der ersten IP-Studie motiviert. Dort waren nur die Subsysteme des iPeM (Ziel, Handlungs- und Objektsystem) modelliert worden. In dem resultierenden Modell fanden sich kaum Aspekte, die Funktionen oder Gestalt des entwickelten Produkts beschreiben (ca. 1 % aller Modellelemente). Von der Integration des C&C²-A in dieser Studie wurden für die Abbildung produktrelevanter Aspekte deutlich bessere Möglichkeiten erwartet. Die Verknüpfung von vornehmlich technischen, produktbeschreibenden Aspekten mit soziotechnischen, prozessbeschreibenden Aspekten kann bspw. dazu beitragen, Entscheidungen explizit nachvollziehbar zu machen (engl.: „traceability“). Aus der integrierten Modellierung kann ferner, wie einleitend in diesem Kapitel geschildert, der Beitrag einer bestimmten Ressource oder Methode zur Entwicklung funktionsrelevanter Eigenschaften und damit letztlich zur Funktionserfüllung des Endproduktes bewertbar gemacht werden. Überdies erwies bereits der vorangehende Abschnitt 6.3 die von ALBERS ET AL. beschriebenen Potentiale des Einsatzes von C&C²-A in der Synthese.⁷¹²

⁷¹⁰ vgl. Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 80ff.

⁷¹¹ vgl. Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 32ff.

⁷¹² vgl. Albers et al. 2008b

6.4.2 Charakteristika der Implementierung in CAM

Der „Cambridge Advanced Modeller“ (CAM) ist ein Java-basiertes Softwaretool zur Modellierung und Analyse der Wechselwirkungen und Abhängigkeiten komplexer Systeme auf Basis der Graphentheorie. Es wurde am Engineering Design Centre (EDC) entwickelt. Die Software steht Forschungseinrichtungen derzeit ohne Lizenzgebühren zur Verfügung. CAM stellt eine modulare, also einfach erweiterbare Softwareumgebung zur Verfügung, mit der vielfältige Modellansätze rechnerbasiert unterstützt werden können.⁷¹³ Damit ist es insbesondere möglich, ohne viel Aufwand für die Programmierung, prototypische Softwaretools zu implementieren.

Hierzu werden neue Elementtypen und -verbindungen mittels so genannter *Paletten* definiert. Dabei werden Textdatei-Templates konfiguriert, in denen die Beschreibung der Elemente und deren optische Repräsentation festgelegt werden. Ferner wird definiert, welche Verbindungen zwischen welchen Elementtypen zulässig sind. Analysefunktionen oder über die Fähigkeit von Paletten hinausgehende Funktionalitäten lassen sich mittels Java Plugins (*Modulen*) hinzufügen. Diese arbeiten entweder im Hintergrund oder z.B. in Form von Menü-Buttons im Tool.

CAM bietet drei Ansichten zur Erstellung und Visualisierung von Modellen komplexer Systeme, die direkt ineinander überführt werden können. Der Nutzer kann frei zwischen den Ansichten *Diagramm* (durch Pfeile verbundene Boxen), *DSM* (Matrix) und *kraftgerichtetem Layout* (gewichtetes Netzwerk) wählen. Wird in einer Ansicht ein Element oder eine Verbindung erstellt, verändert oder gelöscht, wird dieser Eingriff in das Modell automatisch in den anderen Ansichten übernommen.⁷¹⁴






6.4.2.1 Implementierung des iPeM in CAM

Als Modellelemente stehen in CAM die Subsysteme des iPeM zur Verfügung. Sie werden in Tabelle 12 zusammengefasst.

⁷¹³ vgl. Wynn et al. 2010b

⁷¹⁴ vgl. Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 51ff.

Tabelle 12: Übersicht der iPeM-Elemente in CAM⁷¹⁵

iPeM-Element	Symbol	Beschreibung
Ziele		Die Elemente des Zielsystems mit der Möglichkeit einer hierarchischen Anordnung
Aktivitäten		Im Sinne des iPeM können Problemlösungsaktivitäten (SPALTEN) als Unteraktivitäten der Aktivitäten der Produktentstehung modelliert werden. Um dem fraktalen Charakter der SPALTEN-Aktivitäten gerecht zu werden, können diese hierarchisch ineinander geschachtelt werden
SPALTEN-Aktivitäten		
Ressourcen		Elemente des Ressourcensystems. Dazu gehören beispielsweise finanzielle Mittel, Personal, Maschinen, Räume.
Objekte		Die Elemente des Objektsystems in hierarchischer Anordnung, beispielsweise CAD Modelle, Dokumente, Prototypen.

Innerhalb dieser Subsysteme können die jeweiligen Elemente per „drag & drop“ erzeugt und hierarchisch strukturiert werden. Die Implementierung umfasst neben den Modellelementen und deren Repräsentation auch Regeln zur Modellbildung. So wird bspw. beim Versuch, ein Ziel direkt mit einem Objekt zu verknüpfen, automatisch abgefragt, welche Aktivität diese miteinander verbindet.⁷¹⁶ Durch die Definition eines programmunabhängigen Dateiformats auf Basis von XML können iPeM-Modelle ferner mit anderen Softwarelösungen gekoppelt werden.⁷¹⁷

Das iPeM wurde in CAM in drei Modellebenen implementiert. Modellelemente können einem Referenzmodell, einem Implementierungsmodell oder einem Anwendungsmodell zugeordnet werden. Diese Modellebenen werden gleichzeitig dargestellt. Die Integration der drei Ebenen in einem gemeinsamen Modell erweitert die iPeM-Modellierung, wie sie in vorherigen Studien aufgefasst worden war. Anstelle von getrennten Teilmodellen auszugehen, erlaubt es die gemeinsame Modellierung bspw. direkt, Vergleiche ziehen zu können. Damit kann das „adaptive Projektmanagement“, das in Abschnitt 5.3.2.2 zur Steigerung der Prozesssicherheit eingeführt wurde, realisiert werden.⁷¹⁸

⁷¹⁵ Kuhn 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 27 zitiert nach Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 66

⁷¹⁶ Kuhn 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 28

⁷¹⁷ s. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit)

⁷¹⁸ Vgl. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 20

6.4.2.2 Implementierung des C&C²-A in CAM

C&C²-Modelle können in CAM als hierarchisch aufgebaute Teilsysteme und auf diversen Subsheets modelliert werden – bspw. um Sequenzmodelle⁷¹⁹ oder Produktalternativen zu modellieren. CAM ermöglicht die Einbindung von Hintergrundgrafiken, was genutzt werden kann um Gestaltbezüge deutlich zu machen. Folgende C&C²-Elemente stehen für die Modellierung zur Verfügung:

- Komponente (Bauteil),
- Modul (Baugruppe),
- Funktion,
- Connector,
- Wirkfläche,
- Wirkflächenpaar,
- Leitstützstruktur.⁷²⁰

Das grafische, zweidimensionale Modellieren in der Diagramm-Ansicht entspricht dem intuitiven Zeichnen auf einem Blatt Papier. Die Zerlegung von komplexen technischen Systemen in ihre Subsysteme, also die Umsetzung des fraktalen Charakters des C&C²-A, kann durch Öffnen und Schließen der hierarchisch angeordneten Teilsysteme erfolgen. In der Software ist dies durch ein intuitives Doppelklicken möglich.⁷²¹

In CAM können die C&C²-Elemente genau wie iPeM-Elemente per „drag & drop“ kombiniert werden. Hierfür wurde in CAM eine weitere Palette erstellt, mit der Wirkflächen erzeugt werden können. Jede Wirkfläche hat dabei einen *Inner Port* (auf die Innenseite des Bauteils / der Baugruppe gerichtet) und einen *Outer Port* (nach außen gerichtet). Zwei *Outer Ports* lassen sich verbinden und erzeugen so ein Wirkflächenpaar, während durch die Verbindung von zwei *Inner Ports* eine Leitstützstruktur entsteht. Weiterhin enthält die C&C²-Palette eine Bauteil- sowie eine Funktionsbibliothek. Die Bauteilbibliothek ermöglicht die Auswahl und Kombination von Maschinenelementen und erleichtert das Modellieren von Gestaltzusammenhängen. Die Funktionsbibliothek basiert auf einer umfassenden Funktionsbasis⁷²² und ermöglicht eine Funktionsdefinition auf der niedrigsten möglichen Ebene durch eine festgelegte Terminologie. Funktionen werden dabei durch die Kombination

⁷¹⁹ Im C&C²-A stellen Sequenzen Abfolgen von Zuständen dar, die sich z.B. durch Hinzukommen oder Wegfallen eines WFP voneinander unterscheiden lassen – vgl. Albers et al. 2008b.

⁷²⁰ Weitere Elemente wie z.B. Reststruktur können modular erweitert werden.

⁷²¹ vgl. Albers et al. 2011a

⁷²² Hirtz et al. 2002

eines Funktionsterms (z.B. „Wandlung“) mit Flüssen (Ein- und Ausgang) durch Wirkflächenpaare definiert.

Durch ein Plugin ist es möglich, die intuitiv als Diagramm erstellten C&C²-Modelle in eine DSM-Ansicht des iPeM zu laden.⁷²³ Dort können die Funktions- und Gestaltelemente mit Elementen des Ziel- oder des Objektsystems in Bezug zueinander gesetzt werden. So können bspw. die Zusammenhänge von Zielvorgaben und Berechnungsdateien direkt mit dem Ort der Funktionserfüllung im Produkt verknüpft werden.

6.4.2.3 Analysefunktionen in CAM

Eine Unterstützung der Produktentstehung wurde in CAM insbesondere hinsichtlich der Faktoren „Betrachtungstiefe“, „Informationserfassung“ und „Effektive Kommunikation“ verfolgt (vgl. Kapitel 5.2.1). Hierfür wurden Plugins erstellt, die bspw. eine Filterung bzw. Auswahl von anzuzeigenden Elementen ermöglicht. Auf diese Weise kann der Anwender bestimmte Teile des Modells ausblenden, um eine Reduktion der dargestellten Informationsmenge zu erreichen.⁷²⁴ Mit Hilfe eines weiteren Plugins kann durch Klicken auf eine bestimmte Aktivität eine Diagramm-Ansicht generiert werden, die nur noch die mit der gewählten Aktivität verknüpften Ziele und Objekte anzeigt.⁷²⁵ Eine andere Möglichkeit zur Analyse der Modelle stellen sogenannte „Explorer“ dar. In ihnen werden die Teilsysteme des Modells in einer übersichtlichen Baumstruktur dargestellt. Durch Klicken auf ein bestimmtes Element (z.B. ein Ziel oder C&C²-Element) wird der dem Modell zugrundeliegende Netzwerkgraph durchsucht, um direkt oder indirekt damit verknüpfte Elemente (z.B. Objekte, Aktivitäten oder zugehörige Ressourcen) aufzulisten.⁷²⁶

6.4.3 Erkenntnisse aus der Studie an einem studentischen Team

Für eine ausführliche Darstellung der Studie und deren Ergebnisse wird auf die Arbeit von SALOMON verwiesen.⁷²⁷ Im Folgenden werden sie zusammengefasst.

Die DSM des integrierten Gesamtmodells (zahlreiche Aktivitäten entlang der Profil- und Ideenphase inkl. C&C²-Modell der Idee) setzt sich aus 274 mal 274 Elementen und 559 Verknüpfungen zusammen. Weitere, indirekte Verknüpfungen können darüber hinaus durch Matrixmultiplikation berechnet werden. Diese Form der integrierten Modellierung von Prozess und Produkt bietet einige Möglichkeiten zur

⁷²³ s. Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 68

⁷²⁴ s. Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit)

⁷²⁵ Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 86 nach Averbek 2011 (betreute Abschlussarbeit)

⁷²⁶ vgl. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 87f. und Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 62f.

⁷²⁷ s. Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 78ff.

Unterstützung der Produktentstehung. Dabei konnten sowohl die Entwicklung, als auch das Management adressiert werden.⁷²⁸ In der Studie wurden insbesondere positive Effekte auf Projektplanung und -Controlling durch die Möglichkeit eines Soll-Ist-Vergleichs zwischen Implementierungs- und Anwendungsmodell nachgewiesen.⁷²⁹ Weiterhin kann die explizite Abbildung von prozess- und produktrelevanten Aspekten in einer gemeinsamen Darstellung das Ressourcen-Management unterstützen – bspw. durch die Definition von Arbeitspaketen unter expliziter Berücksichtigung der notwendigen Schnittstellen.⁷³⁰ Vor allem schafft die explizite Darstellung von Zielen und Funktionen in separaten, aber miteinander verknüpften Matrixbereichen eine sehr positiv wahrgenommene Transparenz entscheidungsrelevanter Informationen.⁷³¹ Aus Interviews mit dem Projektteam wurde ersichtlich, dass ein reines Funktionsdiagramm⁷³² für diesen Zweck nicht ausreichte. Damit ist diese integrierte Form der Modellierung von Prozess und Produkt geeignet, um auch wichtige Bereiche früher Phasen von Produktentstehungsprozessen, also bevor CAX-Werkzeuge Einsatz finden, grundsätzlich zu unterstützen.

Dennoch wurden auch Grenzen deutlich. In der betrachteten Studie handelte es sich um ein Neuentwicklungsprojekt, bei dem kein Vorgängerprodukt existierte. In diesem Fall erwies sich die Funktionsmodellierung im C&C²-A nach HIRTZ ET AL. in der Profilphase als unzureichend.⁷³³ Wenn noch keine konkreten Aussagen über Funktionszusammenhänge getroffen werden können, scheinen z.B. textbasierte Funktionsbeschreibungen vorteilhafter zu sein. Erst ab der konkreteren Ideenphase können Funktionen gut durch Operationen von eingehenden und ausgehenden Flussgrößen beschrieben werden. Neben dieser konzeptionellen Einschränkung ergeben sich aufwandsbedingte Grenzen. In dieser Studie wurde durch eine dritte Person modelliert. Die Modellierung nahm ca. 50 Stunden ein, wobei festzuhalten ist, dass der Modellierungsaufwand abnimmt, sobald eine gewisse Zahl an Elementen erstellt ist und hauptsächlich nur noch Verknüpfungen eingetragen werden. Aus Gründen der höheren Wahrheitstreue und Aktualität der Informationen wäre eine Modellierung durch die Projektbeteiligten selbst einer Modellierung durch Außenstehende vorzuziehen. Für eine effiziente Informationserfassung gilt es dabei, zwei Aspekte zu bestimmen. Zum einen ist der Fokus, also die Auswahl, welche Informationen benötigt werden, zu definieren. Zum anderen muss der Detaillierungsgrad auf den Modellierungszweck abgestimmt werden. Produktrelevante

⁷²⁸ ebda. S. 96f.

⁷²⁹ ebda. S. 87f.

⁷³⁰ ebda. S. 89ff.

⁷³¹ ebda. S. 91ff.

⁷³² vgl. Pahl und Beitz 1984, Pahl et al. 2007

⁷³³ vgl. Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 95

Informationen entstehen tendenziell iterativ und liegen implizit, also informell, personengebunden und in spezifischen Kontexten vor. Ein Umgang mit alternativen Konzepten im Verlauf eines Produktentstehungsprojekts erhöht die Eigenkomplexität eines integrierten Produkt- und Prozessmodells erheblich. Produktrelevante Aspekte sind deutlich schwerer zu erfassen als prozessrelevante Informationen. Diese werden heute bereits oft explizit erstellt, z.B. in Form von Aufgaben- und Ressourcenplänen. Für sie sind Möglichkeiten der automatischen Informationserfassung zu prüfen. Dies könnte dazu beitragen, den Modellierungsaufwand zu reduzieren und damit eine höhere Anwenderakzeptanz zu erzielen. Gleichzeitig werden dadurch jedoch weitere Aspekte, wie z.B. der Schutz der Mitarbeiter vor einer unzulässigen Überwachung, aufgeworfen.⁷³⁴

Auch technische Grenzen wurden in der Studie offenbar. Eine Darstellung am Bildschirm ist in CAM nur bis 40 mal 40 Matrixelemente lesbar. Dies verdeutlicht die Problematik einer geeigneten Darstellung und begründet die Notwendigkeit der zuvor vorgestellten Möglichkeiten der Filterung.⁷³⁵ Weiterhin liegt der Fokus der Software CAM auf der Erweiterbarkeit und nicht auf der Anwenderfreundlichkeit. Dies erfordert eine lange Einarbeitungszeit für den Modellersteller. Außerdem wird mit zunehmender Modellgröße die Handhabung der Modelle auch auf leistungsfähigen Rechnern schwierig.⁷³⁶ Die fortlaufende Weiterentwicklung von CAM legt überdies nahe, eine professionelle und damit stabile Software zu verwenden. Nicht zuletzt steht aber v.a. die dezentrale Architektur von CAM im Widerspruch zu einer gemeinsamen Nutzung in Teams.⁷³⁷

Abschließend wurde deutlich, dass ein Projekt wie IP nicht auf eine Werkzeugunterstützung wie in dieser Studie angewiesen ist. Die Studierenden haben ein ausreichend gemeinsames Verständnis und können aufgrund der hohen organisatorischen Integration und räumlichen Nähe sehr effektiv kommunizieren – auch ohne explizite Informationsmodelle. Hingegen ist anzunehmen, dass große, verteilte Entwicklungsprojekte von den Potentialen der Prozessunterstützung profitieren können. Für solche Projekte erscheint der Modellierungsaufwand nach Einschätzung der Beteiligten der Studie als gerechtfertigt.⁷³⁸

⁷³⁴ ebda. S. 75ff.

⁷³⁵ vgl. Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 84

⁷³⁶ In der Studie wurde ein Intel® Core™ 2 Duo E4400 (2 mal 2.0 GHz) mit 2 GB Arbeitsspeicher verwendet, der zu 60 % ausgelastet wurde (Salomon 2012, S. 101)

⁷³⁷ Salomon 2012 (betreute Abschlussarbeit), S. 98ff.

⁷³⁸ ebda. S. 96f.

6.5 Graphentheorie-basierte Modellierung im Anlagenbau

Die Modellierung des iPeM auf Basis der Graphentheorie als DSM wurde im voranstehenden Abschnitt in einer angepassten Version der kostenlosen Software CAM vorgenommen. Dabei konnten etliche Potentiale ermittelt werden. Gleichzeitig offenbarten sich jedoch auch Einschränkungen, die teilweise auf den prototypischen Charakter und werkzeugbedingte Eigenheiten der Software zurückzuführen sind. In diesem Abschnitt wird daher eine weitere durch den Autor der vorliegenden Dissertation betreute Studie vorgestellt, in der derselbe Modellierungsansatz in einer kommerziellen Software verwendet wurde: der Software LOOME⁷³⁹ von der TESEON GmbH.⁷⁴⁰

6.5.1 Charakteristika und Ziele der Studie im Anlagenbau

Gegenstand dieser Studie ist im Gegensatz zur Neuentwicklung im voranstehenden Kapitel eine evolutionäre Entwicklung im Sinne der Produktgenerationsentwicklung. Nach CROSS stellt diese Art der Entwicklungsaufgabe die Mehrzahl der Projekte in der Praxis dar.⁷⁴¹ Besondere Bedeutung haben hier daher Aktivitäten der Analyse bestehender Lösungen. Außerdem ist dieses Projekt im Bereich der Verfahrenstechnik angesiedelt. Dies Projekt erlaubt somit Rückschlüsse auf Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung komplexer technischer Systeme, bei denen sich viele Teilsysteme zu einer Großanlage ergänzen. Als Teilsystem wurde in der Studie eine biotechnologische Gasentschwefelungsanlage betrachtet. Im Rahmen des Projekts wurde diese an die Bedingungen des US-amerikanischen Marktes angepasst. Hierbei galt es insbesondere gesetzliche Vorgaben im Zielsystem zu berücksichtigen. Es war das erste Mal, dass das betreffende Unternehmen eine solche Anlage selbst projektierte und nicht auf Dritte zurückgriff. Durch die Modellbildung sollte daher Wissen für zukünftige, effiziente Auslegungen verschiedener Baugrößen derartiger Anlagen explizit verfügbar gemacht werden.

Für die wissenschaftliche Studie sollte die Modellierung Aufschluss über Möglichkeiten und Grenzen hinsichtlich dieses Modellierungszwecks geben. Dabei stand insbesondere die transparente Verknüpfung gestaltbezogener Informationen der Anlage mit Informationen des evolutionären Entwicklungsprozesses im Mittelpunkt. Die Modellierung wurde durch einen Projektteilnehmer im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt.⁷⁴² Anhand zweier Subsysteme konnte eine subjektive

⁷³⁹ Parvan et al. 2010

⁷⁴⁰ Die TESEON GmbH wurde von ehemaligen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Produktentwicklung der TU München gegründet; gemeinsam mit dem Lehrstuhl wurde LOOME entwickelt.

⁷⁴¹ vgl. Cross 2008, S. 91

⁷⁴² s. Kuhn 2012 (betreute Abschlussarbeit)

Bewertung des zugrundeliegenden Modellierungsansatzes und des Werkzeugs LOOMEO abgeleitet werden. So wurde am Beispiel einer Rezirkulationspumpe und eines Tanks erörtert, in wie weit Transparenz über einzelne Designentscheidungen geschaffen werden konnte.

6.5.2 Charakteristika der iPeM-Implementierung in LOOMEO

CAM wird für Forschungseinrichtungen kostenlos bereitgestellt und fortlaufend weiterentwickelt. Es hat nicht den Anspruch einer professionellen Software. Hingegen handelt es sich bei LOOMEO um ein kommerzielles Produkt. Daher bietet es eine deutlich höhere Systemstabilität, einen professionellen Support Service sowie ein ansprechenderes und intuitiveres „look and feel“. Außerdem bietet LOOMEO eine Reihe nützlicher Funktionen wie Mehrfachauswahl, Import aus HTML- oder MS Excel-Format oder Einstellungen zur individuellen Anpassung der Benutzeroberfläche.

Im Gegensatz zum Cambridge Advanced Modeller (CAM), der mit einer integrierten DSM arbeitet, werden in LOOMEO einzelne Domains erstellt, deren Grundstrukturen individuelle Design-Structure-Matrizen sind. Elementtypen (z.B. die Subsysteme des iPeM) werden in dieser Modellierungsphilosophie über die Zugehörigkeit zu einer Domain bestimmt. Die Abhängigkeiten von Elementen aus verschiedenen Domains werden über Domain-Mapping-Matrizen (DMM) dargestellt. In Ergänzung zur Modellierung direkter Abhängigkeiten von DMMs können indirekte Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Domains durch Matrixalgorithmen berechnet werden. Die Zusammenhänge bzw. Abhängigkeiten aller in allen Domains erstellten Elemente können über einen Multi-Domain-Graph dargestellt werden. Darin können Elemente gesucht, ausgewählt und ihre Umgebung analysiert werden. Somit kann geprüft werden, mit welchen anderen Elementen ein betrachtetes Element in einem Zusammenhang steht.⁷⁴³

6.5.3 Erkenntnisse aus der Studie im Anlagenbau

Für eine ausführliche Darstellung der Studie und deren Ergebnisse wird auf die Arbeit von KUHN verwiesen.⁷⁴⁴ Im Folgenden werden sie zusammengefasst.

Die Subsysteme des iPeM und des C&C²-A wurden in LOOMEO in Form der Domänen Ziel-, Handlungs- und Objektsystem sowie C&C²-Element⁷⁴⁵ modelliert. Daraus ergeben sich sehr übersichtlich vier DSM- und zwölf DMM-Ansichten.⁷⁴⁶ Die

⁷⁴³ ebda. S. 29f. und S. 95

⁷⁴⁴ s. ebda. S. 43ff.

⁷⁴⁵ Diese Domäne umfasst die Elemente des C&C²-A entsprechend der Abschnitte 2.4.6.1 und 6.1.

⁷⁴⁶ ebda. S. 48ff.

dem iPeM zugehörigen Domänen repräsentieren alle prozessrelevanten Informationen. Die Domäne des C&C²-A wurde genutzt, um die Funktionen „Entzug des Schwefelwasserstoff (H₂S) aus dem Biogas“ und „Umwandlung von Schwefelwasserstoff (H₂S) zu Schwefelsäure (H₂SO₄)“ zu repräsentieren. Letztere ist insbesondere durch die kritischen Lebensbedingungen der Bakterien bedingt. Daher stehen sie in Bezug zu Zielsysteminhalten wie Biogasstrom, H₂S-Gehalt, oder pH-Wert. Der Ort der Funktionserfüllung ist im C&C²-Modell die Oberfläche der Bakterien Thiobacillus. Bezogen auf die Länge eines einzelnen Bakteriums (ca. 2,5 μm) und der Tankhöhe (10,5 m) wird im resultierenden Modell ein „Zoomfaktor“ von 4.200.000 abgebildet – ein Indiz für das Potential der Durchgängigkeit der Modellierung hinsichtlich des betrachteten technischen Systems.

Der verwendete Modellierungsansatz von iPeM und C&C²-A wurde in der Studie als „äußerst hilfreich“ eingestuft. KUHN ermittelte in Anlehnung an ENDSLEY eine Unterstützung in drei Ebenen des Situationsbewusstseins: die Wahrnehmung der relevanten Elemente und deren Eigenschaften, das Verstehen von Zusammenhängen und das Erkennen von Mustern sowie das Prognostizieren von zukünftigen Zuständen der Elemente als dritte und höchste Ebene des Situationsbewusstseins.⁷⁴⁷

Die kommerzielle Software LOOME0 bietet demnach sehr gute Möglichkeiten der Elementensuche und Filterung der darzustellenden Informationen in DSM-, DMM-, oder Multi-Domain-Graph-Ansichten. Das Programm bietet komfortable Möglichkeiten, Systemzusammenhänge zu analysieren – bspw. durch Erweitern oder Eingrenzen der Systemumgebung, also angrenzender Elemente im Netzwerkgraphen. Entscheidungsbegründungen können durch Verknüpfung von Ziel- und Objektsysteminhalten und Aktivitäten wie z.B. der Tragweitenanalyse explizit repräsentiert werden.⁷⁴⁸ HELLENBRAND beschreibt in Ergänzung zu dieser Studie noch weitere Möglichkeiten der matrixbasierten Modellierung von Prozess und Produkt.⁷⁴⁹

Die Analysefunktionen in LOOME0 unterliegen jedoch Grenzen der Darstellung. So erwies sich die gleichzeitige Anzeige von allen Elementen, die über drei Knoten mit einem ausgewählten Element in Beziehung stehen, als unübersichtlich.⁷⁵⁰ Weiterhin steige mit zunehmendem Detaillierungsgrad die Eigenkomplexität des Modells. Eine gemeinsame Modelnutzung durch mehrere Personen könne also nach Erkenntnis-

⁷⁴⁷ ebda. S. 69 zitiert nach Endsley 2000, S. 5f.

⁷⁴⁸ ebda. S. 50 und 53f.

⁷⁴⁹ vgl. Hellenbrand 2013

⁷⁵⁰ ebda. S. 60

sen dieser Studie nur bis zu einem bestimmten Informationsumfang erfolgen, um Fehlinterpretationen vorzubeugen. Sei die repräsentierte Informationsmenge jedoch zu gering, wäre der Nutzen im Verhältnis zum Modellierungsaufwand kritisch zu betrachten.⁷⁵¹

Letztlich sei erst durch iterative Anwendung von Implementierungs- und Anwendungsmodellen, aus denen sich Referenzmodelle ableiten ließen, eine generische Prozessmodellierung zu erreichen. Diese ermöglichte eine Informationshandhabung mit einem erfolgsversprechenden Verhältnis von Nutzen und Aufwand.⁷⁵² Der Nutzen wurde in dieser Betrachtung in Form eines zeiteffizienten Informationszugangs und durch eine hohe Produktqualität in Folge transparenter Zielbeziehungen zum technischen System charakterisiert. Während der einmaligen Prozessmodellierung im Rahmen der Diplomarbeit wurde die Zeitersparnis als „sehr gering“ und die Qualitätssicherung als „ausreichend“ wahrgenommen. Bei einer Nutzung als Referenzmodell werden beide Aspekte hingegen als „sehr hoch“ eingeschätzt. Der Aufwand wurde untergliedert in einen Anteil der Modellerstellung, -pflege und -erweiterung, sowie einen Anteil der Modellanalyse, also den Verständnisaufwand, um die richtigen Informationen aus dem Modell zu erhalten. Hier steht dem sehr hohen Aufwand bei einmaliger Modellierung ein sehr geringer Aufwand bei existierenden Referenzmodellen gegenüber.⁷⁵³

6.6 Produktentstehungsprozesse als formale Ontologie

Übergeordnetes Ziel der Studie in diesem Abschnitt ist eine Formalisierung des iPeM und seiner Elemente. Hierfür wurde der Modellierungsansatz in Form einer semantischen Ontologie implementiert. Eine Ontologie bietet neben der Möglichkeit, Elemente und deren Beziehungen zueinander zu definieren auch die Option, Regeln vorzusehen – z.B. dass ein Ziel nur über Aktivitäten mit einem Objekt verbunden sein kann. Basierend auf diesen Regeln können Abfragealgorithmen, sogenannte „queries“ definiert werden. Damit können die in den vorigen Abschnitten beschriebenen Filter bzw. Explorer umgesetzt werden. Ein Vorteil von semantischen Technologien ist, dass die darin gehandhabten Daten von Rechnern interpretiert werden können. Die Software „weiß“ also, was z.B. ein Ziel ist und welche Rolle es im System der Produktentstehung spielt.

⁷⁵¹ ebda. S. 68f.

⁷⁵² ebda. S. 73ff. und S. 80f.

⁷⁵³ ebda. S. 81ff.

6.6.1 Charakteristika und Ziele einer akademischen Studie

Als akademisches Beispiel wurde vom Autor der vorliegenden Dissertation eine fiktive Entwicklungsaufgabe mit sehr beschränktem Umfang angenommen: „Skizzieren Sie ein Fahrzeug“. Dieser Vorgang umfasst ausreichend viele Aktivitäten, Teilziele und Zwischenergebnisse sowie organisatorische Fragestellungen (bspw. Kommunikation mit „Vorgesetzten“), um die Funktionalität der Ontologie und der darin abgebildeten Regeln nachzuweisen. Das resultierende Modell umfasst 15 Ziele, acht Objekte (von denen eines die Zeichnung selbst darstellt), vier Ressourcen und zahlreiche Aktivitäten. Sie sind durch entsprechende Attribute spezifiziert und via Relationen miteinander in Beziehung gesetzt. Die Funktionsweise der „queries“ in der Ontologie wurde anhand zweier generischer Anwendungsszenarien verifiziert. Zum einen wurde retrospektiv abgefragt, welche Aktivitäten, Ressourcen und Ziele direkt und indirekt für die Entstehung eines Objekts zugrunde lagen. Damit könnte bspw. eine detaillierte Nachbereitung erfolgen. Zum anderen wurde vorausschauend für eine spezifische Aufgabe ermittelt, welche Aktivitäten und Beteiligte, bzw. Ziele unmittelbar oder mittelbar in Relation standen. Diese Fragestellung ist insbesondere für eine Koordination von Arbeitsschritten notwendig, um z.B. Abstimmungsbedarfe aufzudecken. In beiden Fällen konnten auf Basis der Abfragealgorithmen relevante Systemausschnitte aus der gesamten Datenmenge gefiltert werden.⁷⁵⁴

6.6.2 Charakteristika der iPeM-Implementierung in Ontostudio

Das iPeM wurde in der formalen Ontologiesprache F-Logic und mit Hilfe des kommerziell verfügbaren Ontologieeditors Ontostudio auf Basis von Ontoedit modelliert.⁷⁵⁵ Die resultierende Ontologie umfasst die in Tabelle 13 dargestellten hierarchischen Konzepte, Attribute und Relationen. Aus den Konzepten können durch Attributierung konkrete Entitäten instanziiert werden. Die Attribute können dabei je nach Definition Zahlenwerte oder Texte (String) sein. Die Relationen bilden die Semantik der Ontologie ab. Sie sind anschaulich mit Bezug zu den jeweiligen Verknüpfungszielen tituliert.

⁷⁵⁴ vgl. Albers et al. 2012d

⁷⁵⁵ vgl. Sure et al., 2002

Tabelle 13: Konzepte, Attribute und Relationen der Ontologie des iPeM

Konzepte	Attribute	Relationen
iPem_BasicElement	ActivityBestpracticeInformation	ActivityhasInputObject
Activity	ActivityDateEnd	ActivityhasInputObjective
GenericActivity	ActivitydateStart	ActivityhasOutputObject
MacroActivity	ActivitySuitableMethod	ActivityhasOutputObjective
MicroActivity	DigitalDocumentWikipediaLink	ActivityhasprecedentActivity
Object	DigitalModelPDMLink	ActivityhasResources
DigitalDocument	DigitalDocumentFileSystemLink	ActivityisofTypeMacroactivity
DigitalModel	iPem_BasicElementDescription	ActivityisofTypeMicroActivity
PhysicalDocument	MicroActivityAbbreviation	ActivityisofTypeSubMicroActivity
PhysicalModel	ObjectiveContent	
Objective	xActivityDuration	
Resource		

Um den Modellierungsaufwand gering zu halten, werden weitere Relationen auf Basis von Regeln automatisch hinzugefügt. Diese indirekten Relationen sind durch ein vorangestelltes „x“ gekennzeichnet:

- xActivityhasconsecutiveActivity;
- xObjectiscreatedbyRessource;
- xActivityDuration;
- xObjectisinfluencedbyObjective;
- xObjectisInputofActivity;
- xObjectisOutputofActivity;
- xObjectiveInfluencesObject;
- xObjectiveisInputofActivity;
- xObjectiveisOutputofActivity;
- xObjectiverequiresResource;
- xResourcecontributesoActivity;
- xResourcecontributesoObject;
- xResourcecontributesoObjective.⁷⁵⁶

⁷⁵⁶ vgl. Albers et al. 2012d

6.6.3 Erkenntnisse aus der akademischen Studie

Die Studie wurde in Form einer begutachteten Veröffentlichung mit Fachvortrag in der wissenschaftlichen Community diskutiert.⁷⁵⁷ Sie zeigt, dass eine formale Repräsentation des iPeM als Ontologie möglich ist. Vor allem konnte das Potential semantischer Technologien durch die automatisch erstellten indirekten Relationen nachgewiesen werden. Die Funktionsweise beispielhafter „queries“ zur Filterung der Informationsbasis wurde ebenfalls positiv verifiziert.⁷⁵⁸

Eine Anwendung der verwendeten Software in realen Produktentstehungsprozessen ist jedoch aufgrund verschiedener Aspekte nicht ratsam. So handelt es sich bei Ontostudio bspw. um eine Einzelplatzinstallation, was ein Arbeiten im Team erschweren würde. Ihr vorrangiges Ziel ist die Bereitstellung einer Oberfläche, mit der Ontologien formal definiert werden können. Das bedeutet, dass das Hauptaugenmerk auf der Erstellung des formalen Gerüsts eines Metamodells liegt. Das Anlegen konkreter Instanzen von Modellelementen, wie es das Modellieren eines Produktentstehungsprozesses erfordert, ist vergleichsweise unkomfortabel. In der Studie erwies es sich als langwierig, Attribute und Relationen von einzelnen Instanzen einzutragen. Das verwendete Werkzeug kann damit nicht als technische Umsetzung für reale Produktentstehungsprojekte herangezogen werden.

6.7 Modellierung in einer Plattform zum kollaborativen Arbeiten

Bislang wurden nur Software-Werkzeuge betrachtet, die in der Praxis als Einzelplatzinstallationen verwendet werden. Für die Teamarbeit – insbesondere bei räumlich verteilten Entwicklungsprojekten – ist jedoch eine zentrale Datenhaltung vonnöten. In diesem Abschnitt wird die serverbasierte Plattform MS SharePoint als Beispiel eines professionellen Werkzeugs aus der verbreiteten MS Office Suite kurz vorgestellt. Eine ausführliche Beschreibung folgt in Kapitel 7.1. In der nachfolgend beschriebenen Studie wurde das iPeM für die Projektplanung genutzt. Auf Basis der modellierten Informationen war es möglich, die Aktivitätenverteilung und zeitliche Implementierungsmodelle der betrachteten Entwicklungsprozesse abzubilden.⁷⁵⁹

6.7.1 Charakteristika und Ziele der Studie mit studentischen Teams

Bisher wurde in den Studien im Rahmen der Veranstaltung „Integrierte Produktentwicklung (IP)“ immer nur ein Team betrachtet. Darin wurden die Ziele verfolgt, die Ganzheitlichkeit des Modellierungsansatzes iPeM (Abschnitt 5.2) oder die Möglichkeiten von Matrixalgorithmen (Abschnitt 6.4) zu untersuchen. In der Studie

⁷⁵⁷ Albers et al. 2013 in: 23rd CIRP Design Conference, 11.-13. März 2013, Bochum

⁷⁵⁸ ebda.

⁷⁵⁹ ebda.

dieses Abschnitts sollten die Prozesse aller sieben Teams des Jahrgangs 2012 modelliert werden. Die Zielsetzung des Autors dieser Dissertation hierbei war es, die durchgängige Vergleichbarkeit der jeweiligen Implementierungsmodelle untereinander und zu dem generellen IP-Referenzprozess aufzeigen. Die siebenfache Informationsakquise und Modellerstellung stellte dabei eine besondere Herausforderung dar. Um den Aufwand realistisch zu halten, konnte keine Modellierung auf Basis von Interviews erfolgen, sondern eine automatisierte Lösung mit einer Softwareplattform zum kollaborativen Arbeiten musste realisiert werden. Hierfür wurde MS SharePoint zur Aufgabenplanung verpflichtend eingesetzt. Die Teams wurden angehalten eine aktivitätenbasierte Modellierung ihrer Projektplanung vorzunehmen. Darin vernetzen die Aktivitäten als zentrale iPeM-Elemente die jeweils zugrundeliegenden Ziele, verwendeten Ressourcen und angewandten Methoden, sowie resultierenden Objekte. Die entstehenden sieben Implementierungsmodelle wurden für eine vergleichende Gegenüberstellung exportiert und nach den Inhalten der iPeM-Aktivitätenmatrix gefiltert. Eine grafische Darstellung in MS Excel erwies sich als einfache Möglichkeit mit den komplexen Informationen umzugehen. Anhand dieser Analyse konnte die erste Hypothese der Einzigartigkeit der Produktentstehung bestätigt werden. Außerdem zeigte sich, dass die durchgeführte iPeM-Modellierung bereits granular genug war, um belastbare Vergleiche der Prozesse anzustellen.⁷⁶⁰

6.7.2 Charakteristika der iPeM-Implementierung in MS SharePoint

Zur Unterstützung der Produktentwicklung im Team müssen alle Mitglieder mit den gleichen Daten arbeiten und Änderungen sofort verteilt werden. Dies wird durch MS SharePoint in Form einer zentralen Koordinierungsstelle umgesetzt, die alle Projektdaten speichert und verteilt. Vorteil einer zentralen Lösung ist der Überblick, der bei zentraler Datenhaltung über den Projektzustand gewonnen werden kann, der einfache Abgleich von Aktualisierungen und der geringe Wartungsaufwand. Als Nachteil ist anzuführen, dass eine alleinige Zentrale bei einem Ausfall ein Arbeiten unmöglich macht, was erweiterte Sicherheitsvorkehrungen erforderlich macht.⁷⁶¹

Zur Datenspeicherung und Datenverwaltung basiert MS SharePoint auf einer Datenbank. Diese ermöglicht als Hauptfunktionen die Auslieferung bestimmter Datensätze auf Anfrage und die Möglichkeit des Einpflegens von Änderungen in den Datenbestand. Daneben werden zusätzlich die Sicherstellung der Datenintegrität und Datensicherheit, Koordinierung von Zugriffen mit demselben Ziel und die dazugehörige Transaktionsverwaltung gewährleistet.⁷⁶²

⁷⁶⁰ ebda.

⁷⁶¹ vgl. Spengler 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 23f.

⁷⁶² ebda. S. 24f.

Die graphische Benutzeroberfläche (engl.: „graphical user interface – GUI“) von MS SharePoint basiert auf Webseiten und Nutzerdialogen (s.a. Abbildung 27). Darin werden für die Projektplanung auf Basis von Aktivitäten deren Beginn und Ende, Vorgänger und Nachfolger, zugewiesene Ressourcen, vernetzte Ziele und Objekte sowie Erkenntnisse und verwendete Methoden abgefragt. Eine Darstellung der Implementierungsmodelle kann in Form von Balkendiagrammen oder Listen erfolgen. Ferner lassen sich die Daten mit MS Outlook koppeln und dort in einem Kalender anzeigen.

6.7.3 Erkenntnisse aus der Studie mit studentischen Teams

Die sieben Implementierungsmodelle umfassen im Schnitt 130 Aktivitäten, denen durchschnittlich 82 Ziele zugrunde liegen. Insbesondere lassen sich große Unterschiede der Häufigkeitsverteilung der Aktivitäten und der zeitlichen Verläufe der individuellen Produktentstehungsprozesse festhalten (Abbildung 24). Dies ist insofern bemerkenswert, als dass alle Entwicklungsprojekte dieselbe Aufgabe unter denselben Randbedingungen verfolgten.

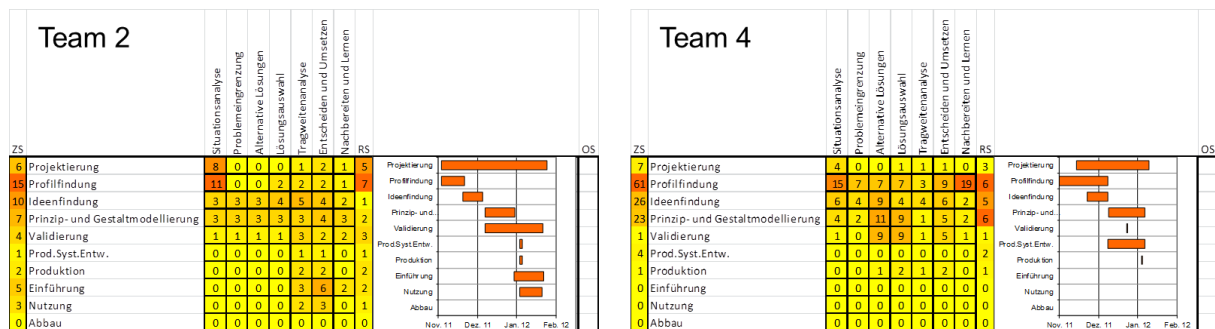


Abbildung 24: Vergleich zweier Teams – Farbskalen indizieren die Anzahl der Elemente⁷⁶³

In einer abstrakten Betrachtung folgten alle Modelle dem vorgegebenen Referenzprozess. Besonders deutlich wird dies, wenn die einzelnen Phasenmodelle aufaddiert werden – das resultierende Balkendiagramm in Abbildung 25 deckt sich mit dem vorgeschlagenen Muster; jedoch resultiert es aus den individuellen Projektplanungen unter den spezifischen Einflüssen der jeweiligen Teams. Und in diesen zeigen sich sehr anschaulich die individuell verschiedenen Vorgehens- und Planungsweisen auf unterschiedlichen Detaillierungsstufen. Alle Teams schlossen ihre Projekte ungeachtet der Unterschiede erfolgreich ab und konnten gleich mehrere Erfindungsmeldungen für sich in Anspruch nehmen.

⁷⁶³ vgl. Albers et al. 2013

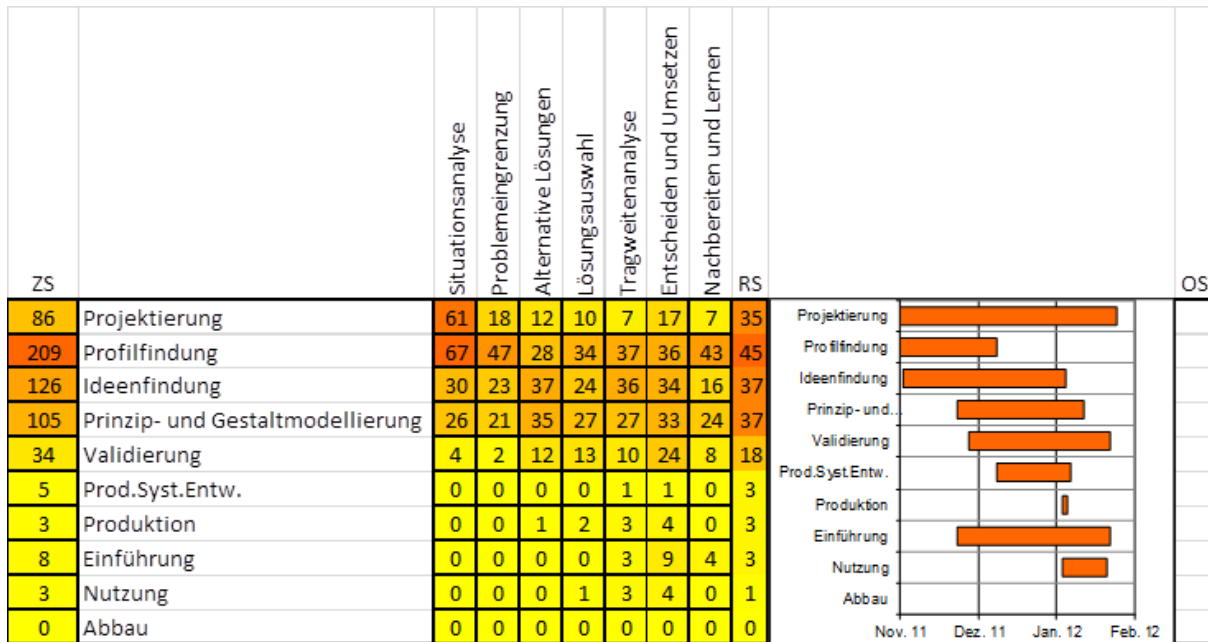


Abbildung 25: Summe der Häufigkeitsverteilungen und resultierendes Phasenmodell⁷⁶⁴

Die Studie wurde in Form einer begutachteten Veröffentlichung mit Fachvortrag in der wissenschaftlichen Community diskutiert.⁷⁶⁵ Zusammenfassend lässt sich die Eignung des iPeM-Ansatzes zur durchgängigen, d.h. vergleichbaren Repräsentation von Entwicklungsprozessen auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen festhalten. Die resultierenden Modelle sind detailliert genug, um individuelle Unterschiede aufzuweisen. Auf Basis der generalisierten iPeM-Struktur erlauben sie dabei jedoch pragmatische, zeiteffiziente Analysen.⁷⁶⁶

Die Anwendung von MS SharePoint erwies sich als gangbarer Weg, mehrere Projekte parallel und während laufender Prozesse durch die Beteiligten selbst modellieren zu lassen. Grundsätzliche Funktionalitäten wie die redundanzfreie, in Archiven gesicherte Datenhaltung oder die Möglichkeit der Erstellung nutzerfreundlicher GUIs sprechen für die Nutzung serverbasierter Werkzeuge. In der betrachteten Studie war es möglich, die Serverplattform direkt in die tägliche Arbeit (hier: der Prozessplanung und -Überwachung) einzugliedern. Durch die Informationsakquise ohne dritte Personen besteht insbesondere die Möglichkeit, einer Verfälschung während der Erhebung von Informationen entgegenzuwirken.

Jedoch zeigte die Studie auch, dass die Arbeit mit MS SharePoint z.T. als ein bürokratischer Zwang aufgefasst wurde. Es bestätigt sich, dass ein Unterstützungswerkzeug nur bei unmittelbar erfahrbarem Mehrwert eine breite Akzeptanz finden

⁷⁶⁴ ebda.

⁷⁶⁵ Albers et al. 2012d in: 14th International DSM Conference, 13.-14. September 2012, Kyoto, Japan

⁷⁶⁶ vgl. Albers et al. 2013

kann. Schlimmstenfalls kann eine nachlässige Modellpflege zu unbrauchbaren Daten oder gar zu erfolgsgefährdenden Fehleinschätzungen eines Projektstands führen.

6.8 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der sechs präskriptiven Studien zusammengefasst und für die weitere Arbeit interpretiert. Tabelle 14 zeigt zunächst eine Übersicht der Einschätzung von Nutzen und Aufwand in den vorangehend vorgestellten Studien auf Basis der in Kapitel 5 bestimmten, generischen Teilaspekte von Nutzen und Aufwand. Diese werden in vier Kategorien bewertet: „sehr gut erfüllt“ bzw. „nachgewiesen“ (↑), „mäßig erfüllt“ (↗), „schlecht erfüllt“ (↘) und „nicht erfüllt“ bzw. „nicht nachweisbar“ (↓). Eine Zelle ohne Eintrag zeigt an, dass der betreffende Aspekt in der jeweiligen Studie nicht betrachtet wurde.

Tabelle 14: Erkenntnisse über Nutzen und Aufwand in den präskriptiven Vorstudien

		Kapitelnummer	6.2.1	6.2.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7
		Werkzeug	Pinnwand	Whiteboard	Excel	CAM	LOO-MEO	Onto-studio	Share-Point
Nutzen	Verständnis		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↗
	Sicherheit				↑	↑	↑		
	Effektivität		↑	↑	↑				
	Effizienz		↑	↑	↑				
	Nachhaltigkeit				↑		↑		
Aufwand	Informationsakquise		↑	↑	↘	↘	↘		↑
	Modellierung		↑	↑	↘	↗	↗	↘	↗
	Administration		↘	↘	↘	↗	↗	↗	↗
	Info.-Gewinnung		↘	↘	↘	↑	↑	↑	↑
Umfang/Gegenstand der Studie			Referenzprozess	Referenzprozess	Case (Teilproblem)	zwei Projektphasen	evolutionäre Entw.	akad. Beispiel	sieben Prozesse
Detaillierungsgrad			niedrig	niedrig	hoch	hoch	hoch	mittel	niedrig

In den Studien wurden Prozessmodelle für sehr verschiedene Zwecke erstellt. Daher sind die Einschätzungen immer im jeweiligen Kontext zu interpretieren. Eine vergleichende Gegenüberstellung der Bewertungen in Tabelle 14 ist nicht zulässig. Die letzten beiden Tabellenzeilen geben die charakteristischen Unterschiede der Studien wieder.

Generell zeigen alle Studien, dass eine Prozessmodellierung auf Basis des iPeM zu einem verbesserten Verständnis und zu einer erhöhten (subjektiv wahrgenommenen) Sicherheit führen kann. Für Modellierungszwecke, die eine überschauende

Perspektive gesamter Entwicklungsprozesse erfordert, werden Effektivität und Effizienz des Modellierungsansatzes als sehr positiv wahrgenommen. Am Beispiel der Modellierung ohne Software-Werkzeuge wird dies daran deutlich, dass sehr zufriedenstellende Industrieworkshops an nur einem Tag durchgeführt werden konnten. Auch der Aspekt der Nachhaltigkeit der Entwicklungsarbeit konnte in einigen Studien durch die Möglichkeiten der Dokumentation im Kontext impliziert werden.

Insbesondere hinsichtlich der jeweils betrachteten Informationsumfänge und Detaillierungsgrade werden jedoch auch Grenzen der Prozessmodellierung auf Basis der bisherigen Umsetzungen offenbar. Deutlich ist dies an den Einschätzungen der Aufwände für Informationsakquise, Modellierung, Modelladministration und Informationsgewinnung zu sehen. Dass der empfundene Aufwand bei der graphenbasierten Modellierung geringer ist, liegt an den Filtermöglichkeiten und Unterstützungsfunktionalitäten durch die jeweiligen Werkzeuge. Erweiterte Möglichkeiten zur Filterung und Modellanalyse bot auch die ontologiebasierte Umsetzung. Im Falle von MS SharePoint ist v.a. der geringe Aufwand der Informationsakquise in Anbetracht dessen hervorzuheben, dass die Prozesse von gleich sieben Teams parallel modelliert wurden. Außerdem stellt das serverbasierte Werkzeug die einzige Möglichkeit dar, ein Prozessmodell durch mehrere Teammitglieder zugleich zu pflegen.

Bezüglich der getesteten Software-Werkzeuge lässt sich für die Entwicklung eines „Produktivsystems“ folgern, dass eine serverbasierte Lösung mit zentraler Datenhaltung einen vielversprechenden Ansatz für eine praktische Anwendung darstellt. Um die Handhabung großer Informationsmengen zu erleichtern, sind bei weiteren Umsetzungen Aspekte der Nutzerakzeptanz von großer Bedeutung. Diese sind in der Gestaltung der Nutzeroberfläche und durch Einbindung des Unterstützungswerkzeugs in die operative Prozessarbeit zu berücksichtigen. Auf Basis der gesammelten Erkenntnisse aus den Vorstudien wurde für die Hauptstudien zur detaillierten Evaluation der Erfolgskriterien aus Abschnitt 5.4 eine erweiterte Implementierung des iPeM in MS SharePoint vorgenommen. Sie wird im nächsten Kapitel vorgestellt und im Rahmen zweier Anwendungsbeispiele veranschaulicht.

7 Hauptstudien

In diesem Kapitel wird eine Operationalisierung des iPeM in einem „Produktivsystem“ erläutert. Dabei handelt es sich um eine Implementierung, in die die gesammelten Erkenntnisse aus den Vorstudien von Kapitel 6 eingeflossen sind. Unter den gegebenen Voraussetzungen stellt diese Form der iPeM-Umsetzung einen Prototyp dar, bei dem davon ausgegangen wird, dass er ausreichend anwendbar ist, um in den nachfolgend beschriebenen Hauptstudien zu einer ersten belastbaren Evaluation der Erfolgskriterien aus Kapitel 5 zu führen.

Entsprechend dem zugrunde gelegten Forschungsdesign dieser Arbeit erlaubt diese Evaluation detaillierte Aussagen über das Verhältnis von Nutzen und Aufwand – dem in Kapitel 5 identifizierten Schlüsselfaktor dieser Dissertation. Im nachfolgenden Kapitel werden diese Erkenntnisse genutzt, um für folgende Arbeiten Schlüsse zu ziehen, die sowohl zu einer Weiterentwicklung des Modellierungsansatzes, als auch zu elaborierteren Werkzeugunterstützungen führen sollen.

Hierfür wurden die Vorteile der bisher getesteten Werkzeuge und iPeM-Umsetzungen in dem „Produktivsystem“ kombiniert. Gleichzeitig wurden identifizierte Einschränkungen softwaretechnisch abgemildert oder umgangen. Die Implementierung wurde in einer umfangreichen akademischen Studie sowie in einem Industrieprojekt mit enger umrissenem Fokus angewandt und anhand der Erfolgsfaktoren reflektiert. Zunächst werden nachfolgend detaillierte Charakteristika des verwendeten Werkzeugs ergänzend zu Abschnitt 6.7.1 diskutiert. Daraus wird ersichtlich, warum und wie die Implementierung des „Produktivsystems“ in MS SharePoint erfolgte.

7.1 Charakteristika der Software-Implementierung

MS SharePoint vereint etliche der in den Vorstudien bestimmten Vorzüge, der dort getesteten Softwaretools. Insbesondere die Ziele der zentralen, sicheren Datenhaltung mit komfortablen Möglichkeiten, den Informationszugriff auszugestalten, machen die serverbasierte Anwendung zu einer aussichtsreichen Plattform für eine iPeM-Umsetzung.

7.1.1 Charakteristika von MS SharePoint Server

MS SharePoint Server stellt eine einheitliche Weboberfläche dar, in der Portale zur werkzeugtechnischen Unterstützung von Unternehmensprozessen eingebunden werden können. Darin werden verschiedene Anwendungen und Datenquellen zusammengeführt und bieten zahlreiche Dienstanwendungen und Funktionen. Dazu

gehören Websites und Wikis, Dokumentenmanagement, die Integration von MS Office-Produkten (z.B. MS Word, MS Excel, MS Project) sowie erweiterte Suchfunktionen und die Möglichkeit, Workflows für Geschäftsprozesse zu definieren.⁷⁶⁷ MS SharePoint Server ist geeignet, umfangreiche PDM/PLM-Funktionen zu realisieren. Zudem erlaubt es, Intranets oder Extranets auf SharePoint-Basis bis hin zu umfangreichen Dokumentenmanagement- oder Collaboration-Lösungen breitzustellen. So können unter einem Portal Daten aus unterschiedlichen Bereichen (z.B. auch CAD) integriert werden. Insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen besteht damit ein günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis für die SharePoint Server-Lizenzen. Insgesamt wird MS SharePoint als zukunftsweisende Unternehmensplattform angesehen.⁷⁶⁸

Neben der Bereitstellung von Daten über Netzwerk und Internet sind für die Implementierung von iPeM und C&C²-A weitere Möglichkeiten von MS SharePoint Server von Bedeutung. So unterstützt das Werkzeug mit eindeutigen Nutzeranmeldungen eine umfangreiche Rollen- und Rechteverwaltung. Dies kann genutzt werden, um bspw. individuelle Sichten zu erzeugen. Das Content-Management unterstützt die gleichzeitige Bearbeitung von Inhalten durch Ein- und Auschecken von Dateien. Für die anwendergerechte Gestaltung der graphischen Benutzeroberfläche (GUI) können die zahlreichen werksseitigen Vorlagen um netzwerkbasierte Zusatzfunktionen – sogenannte WebParts – ergänzt werden. Damit können beliebige extern erstellte Programmteile integriert werden. Schließlich ermöglicht das Serverportal auch das sichere mobile Arbeiten, indem sich Nutzer über eine Internetverbindung und ein VPN-Netzwerk⁷⁶⁹ anmelden. Dies macht die Arbeit mit MS SharePoint flexibel und erlaubt bspw. Heimarbeit oder den Serverzugriff während eines Kundenbesuchs.

Die Inhalte werden in einzelnen Websites strukturiert und dargestellt. Diese umfassen:

- Dokumentenbibliotheken;
- Wikibibliotheken;
- Bildbibliotheken;
- allgemeine benutzerdefinierte Listen;
- Listen mit speziellen Funktionen, darunter:
 - Ankündigungslisten;

⁷⁶⁷ Microsoft 2013

⁷⁶⁸ vgl. Steck 2009

⁷⁶⁹ VPN – virtual private network ist eine Schnittstellentechnologie zum sicheren Datenaustausch.

- Aufgabenlisten;
- Kalender;
- Diskussionsforen.⁷⁷⁰

Für die werkzeugtechnische Umsetzung von iPeM und C&C²-A in MS SharePoint Server wurde das Objektsystem als Dokumentenbibliothek implementiert. Diese kann in einem Windows-Ordner geöffnet werden und erlaubt gängige Operationen wie das Kopieren, Einfügen oder Umbenennen. Für die Implementierung des Aktivitätensystems wurde eine Aufgabenliste gewählt. Diese ermöglicht u.a. das Zuweisen einzelner Aktivitäten zu Nutzern, sodass diese sich z.B. per Email über den Status der Aufgabe benachrichtigen lassen können (MS-Outlook-Kopplung). Außerdem kann die Aufgabenliste mit MS Project gekoppelt werden oder aber direkt in MS SharePoint als Balkendiagramm angezeigt werden (s. Abbildung 26, Screenshot Nr. 3). Ziel- und Ressourcensystem wurden als benutzerdefinierte Listen angelegt, um sie mit Attributen und Relationen gemäß dem Metamodell aus Abbildung 22 versehen zu können. Dies umfasst auch Vernetzungen zwischen den einzelnen Listen, die in Form einer dem SharePoint-Server zugrunde liegenden Ontologie definiert wurden. Weiterhin fanden für die Implementierung die Kalenderliste und eine Wikibibliothek Verwendung. Letztere wurde genutzt, um ein Glossar und eine Methodenbibliothek anzulegen. Alle Bibliotheken und Listen können in MS SharePoint nach den Attributen ihrer Inhalte gefiltert werden. Dies erlaubt z.B. die Implementierung der in den Abschnitten 6.4.2.3 und 6.5.3 beschriebenen Filterfunktionen. So kann bspw. das Aktivitätensystem nach Aktivitäten, denen ein bestimmtes Ziel zugeordnet ist, durchsucht werden.

7.1.2 Umsetzung der grafischen Benutzerschnittstelle

Die grafische Darstellung erfolgt im Browser des Nutzers. Auf dem Zentralrechner (Server) wird die Datenstruktur gelesen und die berechnete Darstellung im .aspx-Format über das Netzwerk übermittelt. Die Dateien von Typ .aspx enthalten statisches (X)HTML Markup sowie die sogenannten Web Controls und User Controls, die gemäß der serverseitig hinterlegten Logik auf dem Webserver verarbeitet und als dynamischer (X)HTML-Code ausgegeben werden. Der Browser interpretiert die Daten und generiert die Anzeige. Der Nutzer bedient die Browser-Software mit Maus und Tastatur, wobei sowohl bei der Eingabe als auch der Ausgabe weitere Möglichkeiten wie z.B. eine Braille-Zeile oder Audiosysteme zur Ausgabe oder Texterkennung zur Eingabe existieren.⁷⁷¹

⁷⁷⁰ s. Micka 2011 und Boddenberg 2012

⁷⁷¹ nach Spengler 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 37

Abbildung 26 vermittelt beispielhaft in Form dreier Screenshots einen Eindruck, wie die Browser-Anzeige in MS SharePoint implementiert wurde. Deren Inhalte werden im folgenden Abschnitt erläutert. Vergrößerte Abbildungen sind in Anhang A dargestellt.

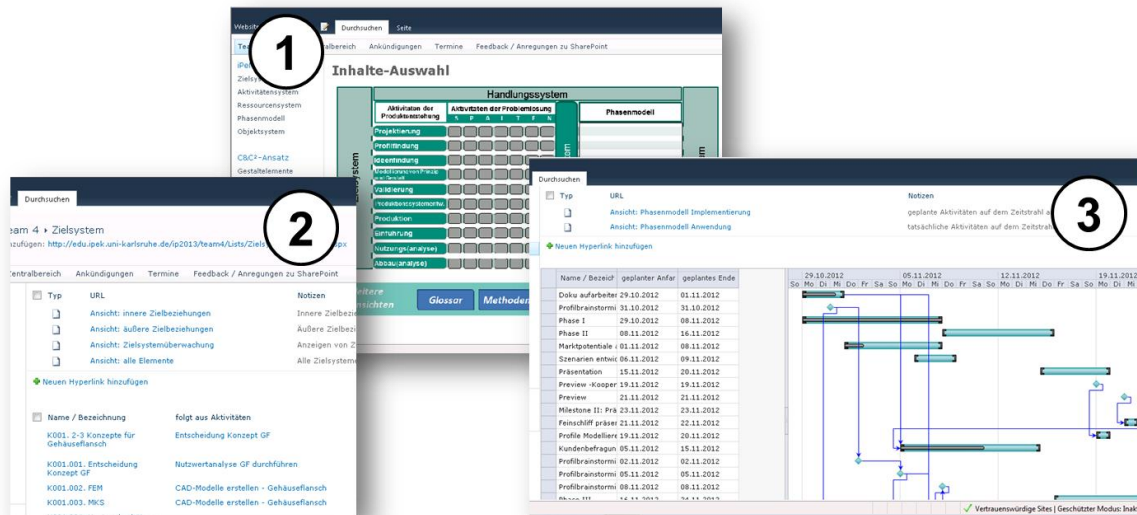


Abbildung 26: Beispielhafte Ansichten und Nutzerdialoge in der SharePoint-GUI (1: Website, 2: Liste, 3: Balkendiagramm)

7.1.3 Funktionsumfang der Implementierung

Die erste Anzeige ist der schematische Darstellung des iPeM nachempfunden und dient als Startbildschirm. Der Nutzer kann die iPeM-Elemente anklicken und wird auf verlinkte Unterseiten weitergeleitet. So hat er intuitiv Zugriff auf das Zielsystem (Abbildung 26, Screenshot Nr. 2) und das Objektsystem sowie auf das Handlungssystem. Dieses gliedert sich in das Ressourcensystem und die Aktivitäten. Letztere können als Implementierungs- oder Anwendungsmodell entweder in Form eines Balkenplans dargestellt werden („Phasenmodell“, s. Screenshot Nr. 3), oder als filterbare Listen. Da jede Aktivität ferner einem Feld in der Aktivitätenmatrix des iPeM zugeordnet wird, können auch diese Attribute gefiltert werden. Der Nutzer kann dies besonders intuitiv tun, indem er auf das betreffende Matrixfeld auf dem Startbildschirm klickt. Beispielsweise führt die Anwahl des Matrixfelds „Ideenfindung – Alternative Lösungen“ direkt zu einer Ansicht, in der alle Aktivitäten dieses Typs, sowie alle damit verbundenen Ziele, Ressourcen und Objekte aufgelistet sind.

SharePoint „kennt“ den jeweils angemeldeten Nutzer und seine frei definierbare Rolle. Dies wurde genutzt, um personalisierte Ansichten zu realisieren. So gibt es neben der Ansicht, die alle Elemente zeigt, auch die Möglichkeit, nur „meine Aufgaben“ anzeigen zu lassen. Weiterhin können geplante und tatsächlich

durchgeführte Aktivitäten bzw. deren Start und Dauer angezeigt oder auch in einem Soll-Ist-Vergleich gegenübergestellt werden. Projektleitern sollen diese individuellen Arbeitsansichten helfen, sich schnell einen Projektüberblick zu verschaffen; Sachbearbeiter sollen damit in der Lage sein, nicht benötigte Informationen auszublenden und nur noch die wesentlichen Elemente und deren Schnittstellen zu betrachten. Neben diesen Möglichkeiten kann ein gezielter Informationszugriff auch über die allgemeine Suchfunktion von MS SharePoint erfolgen, die auf Metadaten wie Name, Dateigröße oder Erstellungsdatum basiert.

Zusätzlich zur gerade beschriebenen Auswahl von iPeM-Inhalten wurden zwei weitere Funktionen implementiert.⁷⁷² So kann der „Betriebsmodus“ des Startbildschirms zur Glossar-Ansicht geändert werden. Analog zu den Inhalten können darin erläuternde Wikiseiten zu den einzelnen iPeM-Elementen aufgerufen werden. Diese Hilfsfunktion richtet sich insbesondere an unerfahrene Nutzer. Außerdem wurde eine Methodenbibliothek angelegt. Darin sind verschiedenste Methoden der Produktentwicklung (kreative, diskursive und recherchierende Methoden) ausführlich beschrieben und mit Hinweisen zur Durchführung oder weiterführender Literatur versehen. Auch für diese Funktion liefert die Aktivitätenmatrix eine ordnende Struktur, denn die Methoden sind nach ihrer Eignung für die jeweiligen Matrixfelder hinterlegt.

Um das Anlegen neuer Elemente des Ziel-, Aktivitäten-, Ressourcen- oder Objektsystems zu vereinfachen, wurden hierfür auf dem Startbildschirm weitere Verknüpfungen in Form von Buttons vorgesehen. Ein Klick darauf öffnet direkt einen Nutzerdialog, in dem die benötigten Informationen (Attribute und Verknüpfungsquellen bzw. -ziele des neuen Elements) abgefragt werden. Abbildung 27 veranschaulicht dies am Beispiel des Nutzerdialogs für eine neue Aktivität. Darin werden z.B. Name und Beschreibung, Vorgänger, zugehörige Ziele, Start-/Enddatum oder freie Kommentare, die Erfahrungswissen explizit machen, abgefragt. Um die Eingabe möglichst einfach zu gestalten, sind je nach Information z.B. Einfach- oder Mehrfachauswahl vorgegebener Optionen, Freitexteingaben oder auch das Hochladen von Bildern oder anderen Dateien möglich. Außerdem werden Pflichtfelder und fakultative Eingaben unterschieden.

⁷⁷² vgl. Spengler 2011 (betreute Abschlussarbeit)

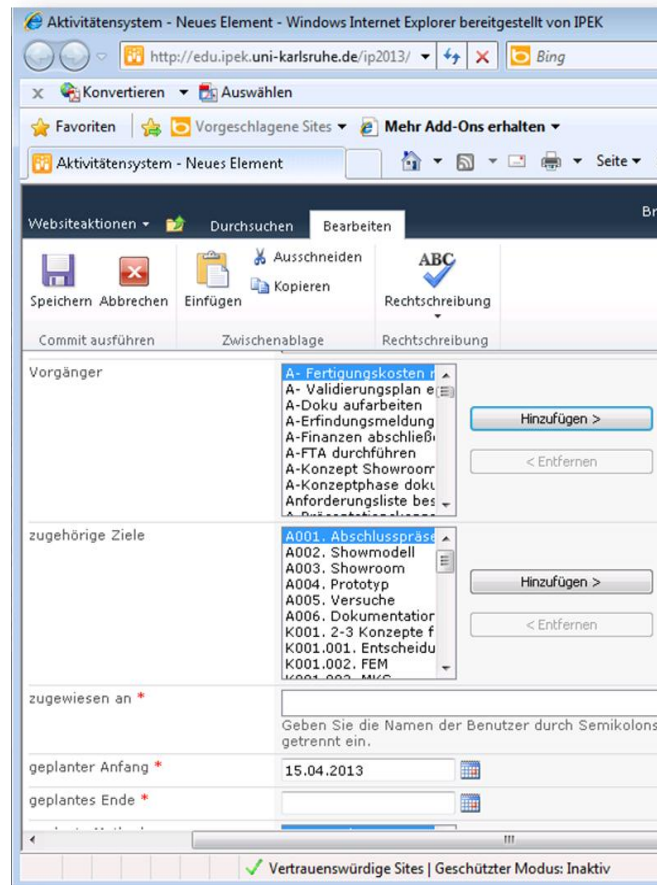


Abbildung 27: Dialogfenster zum Anlegen einer Aktivität

Neben den bislang beschriebenen Möglichkeiten der Prozessmodellierung mit dem iPeM wurde auch die Produktmodellierung mit dem C&C²-A implementiert. Hierfür können die Nutzer Grafiken der zu betrachtenden technischen Systeme hochladen. Gestaltelemente, Funktionen, Wirkflächen und Wirkflächenpaare, Leitstützstrukturen, Connectoren, Reststruktur und Begrenzungsflächen werden in Form von Listen eingetragen. Die C&C²-Elemente haben neben Namen und Beschreibung jeweils Verknüpfungen zu Elementen des Ziel- oder Objektsystems. Damit wird auf eine integrierte Modellierung von Prozess und Produkt abgezielt (vgl. Abbildung 23). Entsprechend dem Metamodell in Abbildung 22 sind die Elemente weiterhin auch untereinander vernetzt. So setzen sich Funktionen durch Connectoren, Leitstützstrukturen und Wirkflächenpaare zusammen. Letztere bestehen aus genau zwei Wirkflächen. Wirkflächen und Leitstützstrukturen sind jeweils einem Gestaltelement zugeordnet.

7.2 Anwendung in „Integrierte Produktentwicklung (IP)“

In diesem Abschnitt wird die erste Hauptstudie vorgestellt. Dabei wurde wie bereits in den Studien der Abschnitte 5.2 und 6.4 das komplexe, industienahe Projekt „Integrierte Produktentwicklung (IP)“ betrachtet. Im Jahrgang 2013 adressierte die

Aufgabenstellung neue Lösungen für die Schnittstellengestaltung mechanischer Antriebskonzepte. Im Rahmen von IP finden, wie zuvor beschrieben, parallel sieben Entwicklungsprozesse in einer realitätsnahen Umgebung und unter realitätsnahen Randbedingungen statt. Da die beteiligten Entwickler in den Räumlichkeiten des IPEK – Institut für Produktentwicklung – arbeiten und dessen Infrastruktur nutzen, ist zu jeder Zeit eine sehr gute Beobachtbarkeit gesichert. Somit sind mit IP jährlich sieben real-komplexe Prozesse in einem Umfang für die Forschung zugänglich, wie er in Forschungsstudien mit Industriepartnern kaum erzielbar wäre.

7.2.1 Charakteristika und Ziele der Studie

Anhand dieser Studie sollten detaillierte Aussagen über die Erfolgsfaktoren der Prozessmodellierung (vgl. Abschnitt 5.4) getroffen werden können. Dafür wurden die studentischen Teams vom Autor dieser Arbeit dazu angehalten, ihre Entwicklungsprozesse mit Hilfe der zuvor beschriebenen Implementierung von iPeM und C&C²-A in MS SharePoint abzubilden. Die Modellierung umfasst hierbei sowohl die Planung (Implementierungsmodell), als auch die Dokumentation der tatsächlichen Anwendung (Anwendungsmodell). Dabei kann das Entwicklungsgeschehen detailliert festgehalten werden, indem z.B. Verantwortlichkeiten, Methodeneinsatz, Entscheidungsbegründungen etc. repräsentiert werden.

Den Studierenden wurde ein Handout mit den wesentlichen Funktionalitäten der iPeM-Umsetzung in MS SharePoint zur Verfügung gestellt und in einer Saalübung erläutert, damit alle Probanden einen vergleichbaren Kenntnisstand hatten. Um kontinuierlich Erkenntnisse über die Anwendbarkeit der Implementierung zu sammeln, wurden regelmäßige Teambesprechungen durchgeführt. Darin wurde jeweils ein generelles Stimmungsbild gebildet. Ferner war es den Studierenden jederzeit möglich, Rückfragen an den Forschungsprojektleiter zu stellen, die z.B. die SharePoint-Technik betreffen. Detaillierte Informationen über die subjektiv wahrgenommenen Stärken und Schwächen des Unterstützungswerkzeugs wurden durch regelmäßige Fragebögen nach jedem Projektmeilenstein gesammelt. Dabei wurden Projektphasen mit intensiver SharePoint-Nutzung und mit geringerer SharePoint-Nutzung (z.B. Recherche-Phase⁷⁷³) unterschieden. Während des Projektverlaufs wurden vergleichbare Fragen gestellt, um Rückschlüsse auf Lernkurven ziehen zu können. Detaillierte Fragen zu einzelnen SharePoint-Seiten (u.a. Zielsystem, Objektsystem, C&C²-A) wurden zusätzlich zu den Projektphasen auch in Fragebögen nach Workshops, die im Rahmen der Lehrveranstaltung IP

⁷⁷³ In der Recherchephase des IP-Projekts nutzten die Teams nicht ihre jeweiligen Arbeitsbereiche in MS SharePoint, sondern pflegten ein teamübergreifendes Wiki, um die Informationen einzutragen.

gehalten wurden, erörtert und mit den Studierenden diskutiert. In den themenbezogenen Workshops *Target Costing*, *QFD* und *FMEA* wurden die Studierenden hierfür angehalten, Teile ihres (in MS SharePoint dokumentierten) Prozesses zugrunde zu legen. In den Fragebögen wurde dann bspw. nach dem empfundenen Nutzen durch die explizite Modellierung von Zielsystemen gefragt. Schließlich wurde in Form eines halbtägigen Workshops eine zusammenfassende Erörterung der iPeM-Implementierung auf Basis der six-thinking-hats Methode nach DE BONO durchgeführt. Darin wird ein bestimmter Sachverhalt (hier: „Das iPeM wurde zur Unterstützung der Produktentwicklung in MS SharePoint implementiert.“) aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Diese einzelnen Aspekte sind Information, Empfinden, Kritisches, Positives, Kreativität und Überblick. Insbesondere wird durch den bewussten Wechsel dieser Argumentationspositionen verhindert, dass nur eine einseitige Betrachtung erfolgt.⁷⁷⁴ Im Rahmen von IP, wo die Studierenden auch ECTS-Punkte für ihre Studienleistungen bekommen, erscheint diese Methode ein geeigneter Weg zu sein, um unvoreingenommene Aussagen zu erhalten. Die Ergebnisse sind in Anhang B zusammengestellt.

Bei allen Formen der Prozessbeobachtung muss beachtet werden, dass die Untersuchung der sieben Teams keine statistisch relevanten Aussagen rechtfertigen kann. Sie dienen lediglich einer ersten Evaluation der Erfolgsfaktoren nach der „Design Research Methodology“ (DRM). Im Ausblick dieser Arbeit werden daher umfangreichere Studien mit einer größeren Zahl von Probanden vorgeschlagen.

7.2.2 Identifizierte Möglichkeiten der Prozessmodellierung

In diesem Abschnitt werden die Erkenntnisse bezüglich identifizierter Möglichkeiten der Prozessmodellierung in IP zusammengestellt. Sie bilden eine Interpretation der Ergebnisse aus den im vorigen Abschnitt geschilderten Untersuchungsmethoden durch den Autor. Die Aufschlüsselung der einzelnen Aspekte folgt den in Abschnitt 5.4 identifizierten Erfolgsfaktoren.

Wie auch in den Studien des vorigen Kapitels zeigte sich, dass die Prozessmodellierung mit dem systemischen iPeM-Ansatz bei allen Beteiligten zu einem gemeinsamen Verständnis und einem guten Gesamtüberblick von ihrem Projekt führte. Aus der Interpretation der Untersuchungsmethoden ergibt sich weiterhin, dass die Umsetzung in MS SharePoint grundsätzlich gut geeignet ist, Informationen strukturiert abzulegen und sie gezielt wiederzufinden. Durch die Modellierung durch die Probanden selbst, geschieht die Informationsakquise während der laufenden Entwicklungsarbeit und stellt in der Wahrnehmung der Studienteilnehmer keinen

⁷⁷⁴ vgl. de Bono 1990

Mehraufwand dar. Die Dokumentation des Entwicklungsprozesses ist in Form der Zusammenhänge von Ziel-, Handlungs- und Objektsystem, der Veranschaulichung der übergeordneten Vorgehensweise im Phasenmodell sowie der abstrakten Verknüpfung produkt- und prozessrelevanter Informationen gut im iPeM abbildbar. Ferner lassen sich ergänzende Anmerkungen, in denen Erfahrungswissen (z.B. best practices) expliziert werden können, explizit ablegen und mit den Randbedingungen des jeweiligen Kontextes in Beziehung bringen. Hierbei erscheint insbesondere die Verknüpfung der Teilsysteme des ZHO-Modells als hilfreich, da durch die iPeM-Logik ein intuitives Informationsmanagement möglich wird. Durch die situative Bereitstellung geeigneter Entwicklungs- oder Managementmethoden kann ferner eine direkte Unterstützung einzelner Aktivitäten erzielt werden. Hierbei sind Glossar und Methodenbibliothek gleichermaßen nützlich – v.a. für subjektiv unsichere Probanden. Dies und die Möglichkeit auf zuvor gespeicherte best practices zuzugreifen kann insgesamt zu einer Steigerung der Effektivität der Prozessarbeit führen. Grundsätzlich sahen die Studienteilnehmer ein großes Potential einer serverbasierten Unterstützungslösung auf Basis des iPeM; insbesondere für umfangreiche Entwicklungsprojekte bzw. größere Unternehmen.

7.2.3 Identifizierte Grenzen der Prozessmodellierung

Während im voranstehenden Abschnitt Nutzenpotentiale dargestellt wurden, werden nun die Erkenntnisse bezüglich identifizierter Grenzen der Prozessmodellierung in IP zusammengestellt. Auch hierbei handelt es sich um eine Interpretation der Ergebnisse aus den in Abschnitt 7.2.1 geschilderten Untersuchungsmethoden durch den Autor. Die Aufschlüsselung der einzelnen Aspekte erfolgt wiederum entsprechend der Erfolgsfaktoren aus Abschnitt 5.4.

Demnach traten v.a. Defizite hinsichtlich der Effizienz der iPeM-Anwendung mit MS SharePoint auf. Während die Repräsentation abstrakter Zusammenhänge sehr gut gelingt, gilt es in zukünftigen Arbeiten Lösungen zu finden, um mit wenig Aufwand auch z.B. alternative Entwicklungspfade repräsentieren zu können. Auf der konkreten Produktebene sind die Informationselemente und deren vielfältigen Verknüpfungen nicht mehr zufriedenstellend zu modellieren. Die Modelladministration ist v.a. bei dynamischen Änderungen von Zielen oder Produktmerkmalen im Prozessverlauf sehr zeitaufwändig. Die Handhabung tief reichender Hierarchien wird durch modellierungstechnische Aspekte erschwert. So ist die Möglichkeit, Informationen alphabetisch zu sortieren, für große Mengen an repräsentierten Elementen nicht mehr hilfreich. Auch die Filterfunktionen in MS SharePoint litten unter dieser Restriktion ab einer kritischen Zahl von Modellelementen. Ferner zeigte sich in den Studien, dass sich durch eine Darstellung von Ziel-, Handlungs- und Objektsystem sowie insbesondere bei der C&C²-Modellierung als gerichtete Graphen anstelle von

Listen eine Verbesserung der Intuitivität und damit eine erhöhte Nutzerakzeptanz erzielen ließen. Die gegenwärtige Implementierung fand in der Studie keine breite Nutzerakzeptanz und einige Studienteilnehmer pflegten MS SharePoint nur „weil sie es mussten“ (s.a. Abschnitt 6.4.3).

7.3 Anwendung in der Gerätekonstruktion

In der zweiten Hauptstudie wurde die integrierte Modellierung von Prozess und Produkt im Rahmen einer vom Autor der vorliegenden Dissertation betreuten Diplomarbeit mit einem Industriepartner durchgeführt.⁷⁷⁵ Dabei wurde das Ziel verfolgt, die Optimierung eines handgeführten Geräts durch die Modellierung zu unterstützen. Ausgehend von einem im Markt befindlichen Gerät wurde das Modell dazu genutzt, die Aktivitäten der Analyse und der Synthese systematisch zu unterstützen. Es sollten Konzepte entwickelt werden, um ein ungewünschtes Phänomen im Betriebsverhalten des Geräts in einer optimierten Nachfolgerversion zu mindern. Dabei galt es immer auch, die wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen im Auge zu behalten. Die Studie sollte einerseits Rückschlüsse auf Möglichkeiten und Grenzen der integrierten Modellierung von Prozess und Produkt mit iPeM und C&C²-A in der gewählten Implementierung geben. Andererseits sollte die Anwendung im Kontext einer realen Fragestellung eines Industriepartners Aussagen über die praktische Relevanz des Ansatzes implizieren.

7.3.1 Charakteristika und Ziele der Studie

Die Modellierung wurde entwicklungsbegleitend von einer Person durchgeführt. Es handelt sich um eine sogenannte *teilnehmende Beobachtung* bei der der Beobachter Einblicke in die Entwicklung erhält, die ihm als Außenstehendem verschlossen bleiben würden.⁷⁷⁶ Über einen Zeitraum von sechs Monaten entstanden so ein Implementierungs- und Anwendungsmodell mit allen relevanten Aktivitäten, Zielen und Objekten, sowie mehrere abstrakte, mit dem Prozess verknüpfte C&C²-Modelle. Die modellierten Informationen fokussieren die Produktentstehungsaktivität „Modellierung von Prinzip und Gestalt“ und darin die SPALTEN-Aktivitäten von der Situationsanalyse bis zur Tragweitenanalyse.

Die kontinuierliche Selbstbeobachtung diente einer subjektiven Evaluation der Implementierung von iPeM und C&C²-A in MS SharePoint. Dabei wurden die Möglichkeiten und Grenzen systematisch hinsichtlich der eigentlichen Modellierung und der Modelladministration sowie der Ganzheitlichkeit, Durchgängigkeit und Anwendbarkeit des zugrundeliegenden Ansatzes in der SharePoint-Implementierung

⁷⁷⁵ vgl. Serf 2013 (betreute Abschlussarbeit)

⁷⁷⁶ vgl. Bortz und Döring 2006, S. 267

untersucht. Für eine ausführliche Darstellung der Studie und deren Ergebnisse wird auf die Arbeit von SERF verwiesen.⁷⁷⁷ Im Folgenden werden die identifizierten Möglichkeiten und Grenzen zusammengefasst.

7.3.2 Identifizierte Möglichkeiten der Prozessmodellierung

Die Möglichkeiten, die eine Anwendung des iPeM einschließlich des Problemlösungsprozesses SPALTEN in Verbindung mit dem C&C²-Ansatz für Produktentwicklungsprozesse bietet, wurden durch den Probanden wie folgt identifiziert: So sei auch hier zunächst die gute Strukturierung des Entwicklungsgeschehens durch die Modellierung hervorzuheben. Zu jedem Zeitpunkt sei eine gute Orientierung gewährleistet; Ziele und deren Ursprünge lägen jederzeit transparent vor. Ferner werde durch SPALTEN ein strukturiertes, methodisches Vorgehen gefördert. Im Rahmen der Studie sei SPALTEN erfolgreich fraktal angewendet worden, d.h. einzelne Problemlösungsschritte wurden als eigener Problemlösungsprozess detailliert. Die Modellierung von Ziel- und Objektsystem sei gut gelungen und habe eine durchgängige Nachverfolgung erlaubt. Auch die Produktmodellierung mit C&C²-A habe ein Systemverständnis (durch Analyse) und eine systematische Synthese merklich unterstützt.

Unter dem Aspekt der Ganzheitlichkeit seien die im iPeM vorgesehenen Elemente umfänglich und auch in ihren Verknüpfungen geeignet, die Produktentstehung adäquat abzubilden. Entscheidungsfindung und Nachvollziehbarkeit würden gleichermaßen unterstützt werden. Auch für neue Teammitglieder wird darin eine Chance zu effektiven wie effizienten Einarbeitung gesehen. Die Software biete ausreichend gute Möglichkeiten zur Modellierung. Hier sei insbesondere die Möglichkeit des Ein- und Auscheckens von Dokumenten im Objektsystem zu erwähnen.

Unter dem Aspekt der Anwendbarkeit ver helfe die Implementierung in MS SharePoint insgesamt zu einer guten Modellhandhabung. Es sei festzuhalten, dass die Arbeit erleichtert werde, wenn eine bestimmte Zahl von Elementen erst einmal modelliert und v.a. noch Verknüpfungen einzutragen seien. Die Filtermöglichkeiten hätten sich als hilfreich erwiesen. Überdies eigne sich die Implementierung gut für die Analyse von Produktzusammenhängen. Die durch das System vorgegebene Modellierungsreihenfolge (Gestaltelement – Wirkfläche – Wirkflächenpaar – Leitstützstruktur – Funktion) sei bei der Analyse intuitiv und fördere das Verstehen eines technischen Systems. Bei der frühen Synthese habe sich dieses Vorgehen jedoch als hinderlich erwiesen, da ohne Gestaltbezug entsprechend der Logik der Software noch keine abstrakte Funktionsmodellierung erfolgen konnte.

⁷⁷⁷ s. Serf 2013 (betreute Abschlussarbeit), S. 83ff.

Die Durchgängigkeit schließlich werde durch die Struktur des zugrundeliegenden Metamodells gefördert. In der Studie sei dies sowohl in der Planung, als auch in der Durchführung des Entwicklungsprojekts deutlich geworden. Im Rahmen dieser Arbeit sei auch die Aktualisierung von Ziel- und Objektsystem gut gelungen. Eine durchgängige Modellnutzung von verschiedenen Personen oder Unternehmensbereichen konnte im Rahmen der Studie mit nur einem Probanden jedoch nicht erörtert werden.⁷⁷⁸

7.3.3 Identifizierte Grenzen der Prozessmodellierung

Bei der Repräsentation des Entwicklungsprozesses wurde jedoch deutlich, dass der Detaillierungsgrad mit zunehmender Betrachtungstiefe nicht mehr zufriedenstellend abgebildet werden kann. In der vorliegenden Studie erfolgte der Großteil der Entwicklungsarbeit innerhalb der Problemlösungsschritte einer einzigen Aktivität der Produktentstehung („Modellierung von Prinzip und Gestalt“). Die Darstellung im Phasenmodell, die nur die Aktivitäten der Produktentstehung über einem Zeitstrahl erlaubt, habe, so die Reflektion des Probanden, nicht ausgereicht, um die konkreten Tätigkeiten zu dokumentieren. Es fehle eine ergänzende Darstellung der Aktivitäten der Problemlösung um diese feingranularen Iterationen transparent zu machen.

Hinsichtlich produktrelevanter Aspekte sei in der Studie als schwierig erkannt worden, mit der aktuellen Implementierung des C&C²-Ansatzes den Zwischenschritt zwischen sehr abstrakten Modellen hin zu sehr konkreten Modellen durchzuführen. Das Hauptproblem bestehe darin, dass die möglichen Varianten (d.h. alternative Lösungen) in MS SharePoint nicht in einem einzigen Modell abgebildet werden könnten. Aus diesem Grund müsse zu einem bestimmten Zeitpunkt auf das Konkretisieren eines allgemeinen Modells verzichtet werden und es werde nur das Konzept, das für die Weiterverfolgung ausgewählt worden sei, konkret in einem C&C²-Modell umgesetzt – anstatt auch parallel alle Alternativen zu modellieren. Weiterhin erfordere die aktuelle werkzeugtechnische Umsetzung dann aber so detailliert mit allen zugehörigen Wirkflächen und übrigen C&C²-Elementen zu modellieren, dass das tatsächliche iterative Arbeiten in der pragmatischen Umsetzung nicht mehr vollständig im Modell nachvollzogen wurde.

Generell fiel es in der Studie schwer, zwischen wichtigen und nebensächlichen Details zu unterscheiden. Oft seien daher Elemente im Modell angelegt worden, die später nicht mehr benötigt und nicht mehr verwendet wurden. Dadurch sei das resultierende Modell unübersichtlich und komplex geworden. Die Prozessmodellierung erhöhe zwar das grundsätzliche Verständnis vom System der

⁷⁷⁸ vgl. Serf 2013 (betreute Abschlussarbeit), S. 84ff.

Produktentstehung und könne helfen, technische oder organisationale Teilaspekte detailliert zu analysieren; jedoch erfordere eine effiziente Modellierung Erfahrungswerte bezüglich des verkürzenden Merkmals der Modellierung – die Kompetenz der Modellnutzer ist demnach eine entscheidende Größe der Prozessmodellierung.

Weitere Schwierigkeiten wurden mit Bezug auf technische Aspekte festgestellt. So sei in der gewählten Implementierung kein gleichzeitiges Hochladen mehrerer Dateien möglich, was zu Zeitverlusten führe. Pflichtfelder der einzelnen iPeM-Elemente in MS SharePoint erforderten z.T. Angaben, die zu einem gegenwärtigen Prozesszeitpunkt noch nicht detailliert bekannt seien (bspw. bei der Aktivitätenplanung). Abhilfe könnten bei derartigen Problemen flexiblere Modalitäten bei der Eintragung von Informationen schaffen. Ferner werde etwa bei der C&C²-Modellierung oder am Beispiel der Aktivitätenplanung deutlich, dass größere Änderungen unkomfortabel und zeitaufwändig seien. So sei bei verknüpften Aktivitäten bei Änderung eines Startdatums bspw. jeder Folgeschritt manuell anzupassen, weil keine automatische Aktualisierung erfolge. Infolge dieser Schwierigkeiten griff der Proband auf andere Werkzeuge zurück; in diesem Beispiel auf MS Project. Ein weiterer technischer Aspekt, der ein effizientes Arbeiten behindere, sei die Notwendigkeit, alle Verknüpfungen manuell doppelt einzutragen zu müssen (im Quellen- und im Senkenelement) – in der gegenwärtigen SharePoint-Implementierung werden hierbei keine automatischen Vervollständigungen vorgenommen.⁷⁷⁹

7.4 Zusammenfassung

Um Aussagen über generellen Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung zu treffen wurden sieben akademische Projekte und ein industrielles Projekt detailliert untersucht. Diese Studien führen dabei nicht zu statistisch verallgemeinerbaren Ergebnissen. Stattdessen dienen die Erkenntnisse der Identifikation der wesentlichen Faktoren für weitere Arbeiten auf dem Weg zu einer umfassenden Unterstützung der Produktentwicklung.

In diesem Abschnitt werden die Erkenntnisse aus den beiden Hauptstudien zusammengefasst. Dazu werden die Erfolgskriterien aus Abschnitt 5.4 auf Basis der Erkenntnisse aus den Hauptstudien evaluiert. Insgesamt ergibt sich daraus eine Zusammenfassung der Stärken und Schwächen der Prozessmodellierung auf Basis des iPeM, die im folgenden Kapitel den Ausgangspunkt für eine Diskussion und Erweiterung des Modellierungsansatzes darstellt.

⁷⁷⁹ vgl. Serf 2013 (betreute Abschlussarbeit), S. 90ff.

7.4.1 Evaluation der Erfolgskriterien

Die Erfolgskriterien aus Abschnitt 5.4 orientieren sich an den zuvor geschilderten Wirkungsbereichen der Prozessmodellierung, die aufeinander aufbauen. Sie sind in Tabelle 15 in einer Übersicht zusammengestellt. Kriterium k.1.1. fordert, dass der Modellierung als Grundlage eines gemeinsamen Verständnisses ein Metamodell – hier: das iPeM – zugrunde liegt. Die Gruppe der Kriterien k.2.x. adressiert notwendige Voraussetzungen hinsichtlich der Informationsbasis, während die übrigen Kriterien den Erfordernissen einer effektiven und effizienten Modellierung Rechnung tragen.

Tabelle 15: Erfolgskriterien der Prozessmodellierung

Kriterium	Erläuterung
k.1.1.	formal definiertes Metamodell liegt vor
k.2.1.	Informationen entsprechen dem Modellierungszweck
k.2.2.	Informationsumfang entspricht dem Modellierungszweck
k.2.3.	Informationen können zweckgemäß erhoben werden
k.2.4.	Informationsgüte ist zweckgemäß
k.2.5.	zeitlicher Aufwand der Informationsakquise
k.3.1.	Aspekte sind systematisch und in sich konsistent strukturiert
k.3.2.	Aspekte sind systematisch und untereinander konsistent strukturiert
k.3.3.	zeitlicher Aufwand der Modellierung
k.3.4.	Informationstreue des Modells
k.4.1.	Speichervermögen und Sicherheit/Zuverlässigkeit
k.4.2.	differenzierte Rollen/Sichten
k.4.3.	Anforderungen an Nutzer
k.4.4.	Darstellung (Anmutung und Performance)
k.4.5.	zeitlicher Aufwand für die Modellpflege
k.4.6.	automatisierbare Modellprüfung/-korrektur
k.5.1.	Informationsgüte bei Zugriff ist zweckgemäß
k.5.2.	zeitlicher Aufwand für die Informationsgewinnung

Abbildung 28 zeigt die Ergebnisse der Evaluation der Erfolgskriterien nach den beiden Hauptstudien. Darin sind sie in folgender Skala aufgetragen: Das Kriterium wird nicht erfüllt (0), es wird teilweise, aber schlecht erfüllt (1), es wird teilweise, aber gut erfüllt (2) oder es wird ohne Einschränkung erfüllt (3). Im Beispiel der Gerätekon-

struktion erweisen sich leichte Einschränkungen bei der Informationsakquise. Diese Aspekte unterlagen, wie in Abschnitt 7.2 geschildert, bei der prozessparallelen Modellierung in IP keiner Einschränkung. In der Evaluation der übrigen Kriterien folgt aus beiden Hauptstudien übereinstimmend ein großes Potential der strukturierten Modellierbarkeit der Produktentstehung auf Basis des iPeM. Abstriche sind in der Bewertung der Umsetzung der Implementierung zu machen. Auch hier führen die Studien übereinstimmend zu dem Schluss, dass zwar eine ganzheitliche und durchgängige Modellierung in der Theorie möglich ist; jedoch machen technische Erschwernisse eine Arbeit mit der werkzeugtechnischen Unterstützung bisweilen ineffizient, was subjektiv z.T. bis zu einer Ablehnung des Systems führte.

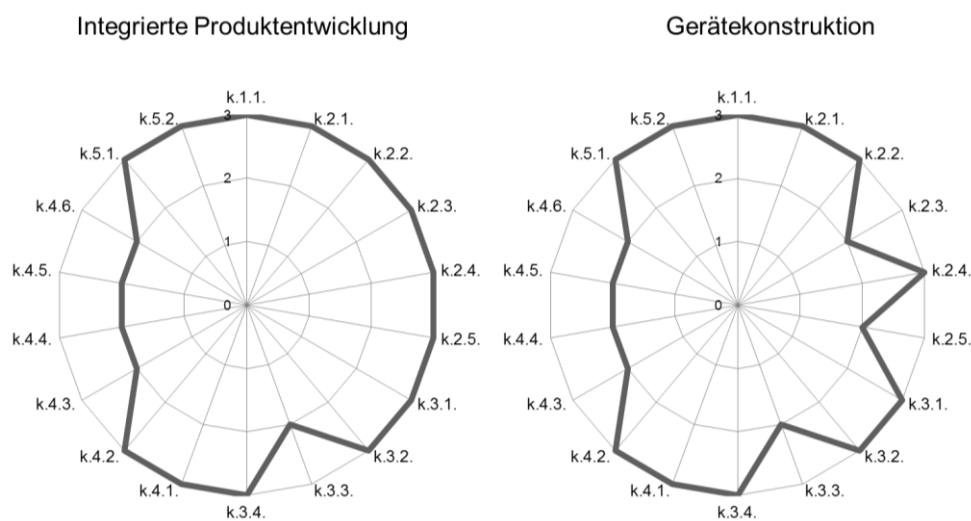


Abbildung 28: Evaluation der Erfolgskriterien in den Hauptstudien

7.4.2 SWOT-Analyse der iPeM-Modellierung

Ein kohärentes Bild der Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung auf Basis des iPeM kann in Form einer SWOT-Analyse⁷⁸⁰ veranschaulicht werden.

Stärken:

Die Modellbildung sehr abstrakter und sehr detaillierter Aspekte ist gut mit dem implementierten Modellierungsansatz möglich. Generell können unter dem Aspekt der Ganzheitlichkeit durch das iPeM-Metamodell alle relevanten Aspekte der Produktentstehung repräsentiert werden. Die Anwendung dieses Ansatzes in der Praxis verhilft den Beteiligten allgemein zu einem sehr guten Grundverständnis der vorliegenden Sachverhalte. Relevante Elemente und deren Zusammenhänge werden transparent abgebildet. Dies ermöglicht jederzeit eine umfassende

⁷⁸⁰ vgl. Abell und Hammond 1979

Orientierung. Ferner bietet die strukturierte Prozessrepräsentation die Möglichkeit einer situationsspezifischen, methodischen Unterstützung.

Schwächen:

Die Abbildung abstrakter und detaillierter Aspekte in einem gemeinsamen Modell scheitert an der Eigenkomplexität eines solchen Modells. Folglich ist eine Durchgängigkeit nicht auf allen Betrachtungsebenen gegeben. Lediglich im eingeschränkten Fokus einer frühen und abstrakten Entwicklungsphase lassen sich produkt- und prozessrelevante Zusammenhänge nachvollziehbar repräsentieren.

Chancen:

Hierin liegt jedoch eine große Chance im Vergleich zu anderen Ansätzen aus dem Stand der Forschung. Die integrierte Beschreibung des Kontextes der Produktentstehung durch iPeM und C&C²-A erlaubt sowohl eine abstrakte Übersicht, als auch eine detaillierte Betrachtung. Ferner sind beide Ansätze fraktal, lassen sich folglich auf verschiedenen Betrachtungsebenen selbstähnlich und mit wenigen Grundelementen repräsentieren. Durch die systemische Modellierung kann dadurch grundsätzlich eine durchgängige hierarchische Strukturierung mit Berücksichtigung aller notwendigen Schnittstellen erfolgen. Jedoch ist eine Anwendbarkeit mit verfügbaren Werkzeugen derzeit nur bei starker pragmatischer Verkürzung gegeben.

Risiken:

Daher besteht bei einer werkzeugtechnischen Umsetzung grundsätzlich das Risiko, dass der implementierte Unterstützungsansatz aufgrund der repräsentierten Modellkomplexität keine Akzeptanz findet. Diese bringt einen hohen Aufwand der Informationsakquise, der Modellierung, der Administration und des Informationszugriffs mit sich. Bei den untersuchten Werkzeugen äußert sich dies v.a. in technischen Unzulänglichkeiten der Nutzerinteraktion und in einer als unzureichend empfundenen Visualisierung der Modellinhalte mit den verfügbaren Werkzeugen.

Die Modellbildung kann also für individuelle Modellierungszwecke einen hohen Nutzen mit sich bringen. Diese individuellen Zwecke äußern sich nach STACHOWIAK in individuell pragmatisch verkürzten Modellen.⁷⁸¹ Für diese können anwendungsorientierte Werkzeuge entwickelt werden, wie sie bspw. in Form professioneller CAD-Werkzeuge eine weite Verbreitung finden.⁷⁸² Ein allumfassendes Modell aber, das beliebigen Zwecken gerecht werden soll, muss hingegen an seiner Eigenkomplexität scheitern.

⁷⁸¹ vgl. Stachowiak 1973

⁷⁸² vgl. Gausemeier et al. 2006

8 Implikationen

Die Prozessmodellierung mit dem iPeM weist grundlegende Potentiale auf, die bislang bei einer Anwendung in der Praxis jedoch aufgrund der Komplexität der Produktentstehung nicht durchgängig ausgeschöpft werden können. In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse aus den durchgeführten Studien interpretiert und hinterfragt. Ausgehend von dieser Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung wird ein Weg aufgezeigt, um die ganzheitliche Erfassung explizit vernetzter Informationen zu einer durchgängigen und damit letztlich anwendbaren Unterstützung der Produktentwicklung weiterzuentwickeln.

8.1 Diskussion und Interpretation der Studien

Die SWOT-Analyse macht ein Dilemma deutlich. So ergeben sich aus der Modellierung der Produktentstehung zwar zahlreiche Vorteile; jedoch kommen mit dem Fortschreiten der Modellierung negative Faktoren zum Tragen, die eine Anwendung aus Sicht der Nutzer ineffizient und mühsam machen. In diesem Abschnitt wird daher zunächst näher untersucht, worauf diese Einschränkungen zurückzuführen sind.

8.1.1 Qualitative Darstellung von Nutzen und Aufwand

Um die einleitend dargestellte Problematik zu erörtern, wird sie in diesem Unterabschnitt graphisch veranschaulicht. Hierfür werden folgende Annahmen getroffen: Zunächst wird für die weiteren Überlegungen davon ausgegangen, dass sich Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung qualitativ als kontinuierliche Funktionen darstellen lassen. Weiterhin wird vorausgesetzt, dass eine Abbildung von Nutzen und Aufwand als Funktion des Modellierungsfortschritts erfolgen kann. Dabei wird der Modellierungsfortschritt m als Zahl der modellierten Elemente, der dadurch abgebildeten Diversität an Informationen, deren Detaillierungsgrad, bzw. als Intensität der Modellnutzung aufgefasst. Darunter fällt auch die Güte der modellierten Information (bspw. durch Automatismen zur Gewährleistung von Redundanzfreiheit). Außerdem werden die Erkenntnisse aus den voranstehenden Studien dahingehend zusammengefasst, dass die jeweiligen Nutzen- und Aufwandstreiber zu einem resultierenden Gesamtnutzen $N_{ges}(m)$ und einen Gesamtaufwand $A_{ges}(m)$ aggregiert werden. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich aus den durchgeführten Studien die in Abbildung 29 illustrierte qualitative Darstellung von Nutzen und Aufwand der Prozessmodellierung.

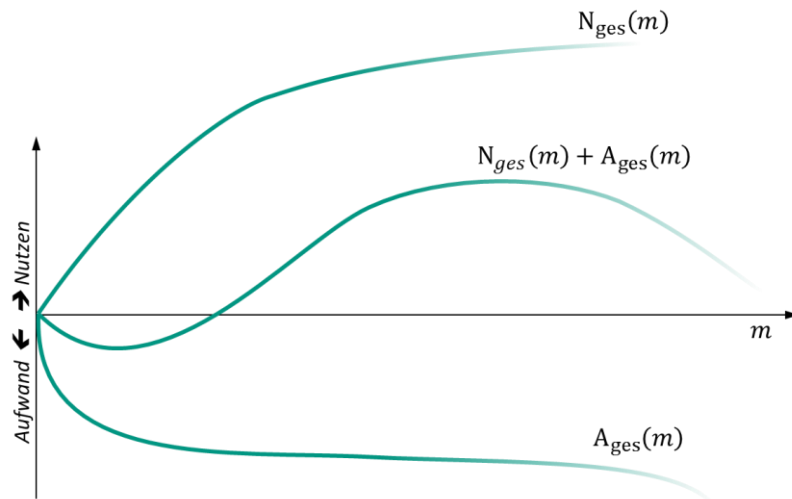


Abbildung 29: Qualitative Darstellung von Nutzen und Aufwand

Die obere Kurve $N_{ges}(m)$ in Abbildung 29 repräsentiert den kumulierten Nutzen der Prozessmodellierung. Der Ursprung des Kurvenverlaufs bei $N_{ges}(0) = 0$ impliziert, dass ein Nutzen der Prozessmodellierung erst mit der Eintragung von Informationen in ein Modell wirksam wird. Demnach sind die Aspekte der grundlegenden Aus- und Weiterbildung aus Abschnitt 5.3.1.1 nicht Gegenstand dieser Betrachtung. Diese Einschränkung wird getroffen, da der Nutzen einer persönlichen Bildung durch Interpretation eines Metamodells v.a. soziopsychologischen Einflussfaktoren unterliegt, die nicht im Kern der vorliegenden Dissertation stehen. Für die qualitative Darstellung sollen stattdessen die Potentiale konkreter Aspekte wie der Steigerung von Effektivität oder Effizienz zugrunde gelegt werden (s. Abschnitt 5.3.2). In den durchgeführten Studien wurden im Verlauf einer Modellierung generell zunächst entweder relevante Aspekte eines Entwicklungsproblems (bottom-up), oder aber übergeordnete Zusammenhänge (top-down) modelliert. Die Erfahrungen aus den geschilderten Studien legen daher einen zunächst steil ansteigenden und dann allmählich abflachenden Kurvenverlauf nahe. Der Betrag des anfänglichen Steigungswinkels der Kurve $N_{ges}(m)$ folgt aus dem individuellen Vermögen der Modellnutzer, aus diesen ersten Informationszusammenhängen ein Grundverständnis und damit die Basis für sämtliche weitere Schritte zu ziehen. Der absolute Nutzen steigt im weiteren Kurvenverlauf mit zunehmender Modellierungstiefe nur noch geringfügig an und nähert sich einem Grenzwert bzw. einem absoluten Maximum. Diese sind erreicht, wenn die Eintragung weiterer Informationen keine weitere Aussagekraft für den betrachteten Modellierungszweck hat.

Als Analogiebeispiel für diesen Kurvenverlauf des Nutzens $N_{ges}(m)$ kann das Laden eines Plattenkondensators dienen. Die Ladung der Platten nimmt auch hier rasch zu und nähert sich dann in einer abklingenden e-Funktion einem Grenzwert – der maximalen Ladung – an. Parameter wie die Quellenspannung, der Plattenabstand

oder auch ggf. ein Vorwiderstand bestimmen den individuellen Kurvenverlauf in diesem physikalischen Versuch. In der Produktentstehung unterliegen der Steigungswinkel und das Maximum der Kurve ebenfalls inneren (Vernetzung, Dynamik etc.) und äußeren Einflussparametern (Geografie, Kultur etc.), die sich analog zu Abschnitt 2.4.2 aus der vorliegenden Projektsituation ergeben. Es muss das Ziel einer (Unternehmens-)Organisation sein, alle Voraussetzungen zu schaffen, um eben diese Parameter für ihre Prozesse zu optimieren – bspw. durch eine entsprechende Informations- oder auch Personalpolitik.

In der Prozessmodellierung resultiert der steigende Nutzen mit zunehmendem Modellierungsfortschritt bspw. aus wachsenden Möglichkeiten der Modellinterpretation und -analyse.⁷⁸³ Bis zur Annäherung an den Grenzwert, kann je mehr Informationen in hohem Detaillierungsgrad erfasst werden, z.B. zuverlässiger geplant werden, Änderungsauswirkungen können besser bestimmt werden oder präzisere Entscheidungsgrundlagen können zurate gezogen werden. Gleichzeitig steigen allerdings auch der Erfassungs-, Modellierungs- und Administrationsaufwand sowie der Aufwand, Informationen wiederaufzufinden, mit steigendem Modellierungsfortschritt an.

Der kumulierte Aufwand wird durch die untere Kurve in Abbildung 29 dargestellt. Ihr charakteristischer Verlauf erklärt sich mit einem zunächst hohen Installationsaufwand für die Infrastruktur, in der der gewählte Modellierungsansatz werkzeugtechnisch umgesetzt wird. Dies kann auch die Einarbeitung unerfahrener Beteiligter in den Modellierungsansatz und das Werkzeug betreffen. Die allmähliche, weitere Zunahme des Aufwands entspricht der kontinuierlichen Modellpflege. Diese ist den Erfahrungen der Studien zufolge näherungsweise linear, bis bei Überschreiten einer kritischen Zahl modellierter Elemente und deren Verknüpfungen wiederum eine starke Zunahme des Aufwands resultiert. Dies ist administrativen und technischen Problemen geschuldet, die eine Visualisierung und Handhabung großer Modelle zu einer Herausforderung für Werkzeug und Werkzeuganwender machen.

Die resultierende Kurve, die qualitativ für die Summe bzw. das Verhältnis von Nutzen und Aufwand steht, hat also einen Wendepunkt. Im dargestellten Kurvenverlauf überwiegt der anfängliche Aufwand den Nutzen, so dass die resultierende Kurve im zweiten Quadranten entspringt. Im Fall einer vorhandenen Infrastruktur und erfahrener Modellnutzer kann auch ein Kurvenursprung in ein positives Verhältnis von Nutzen und Aufwand vorliegen. Aufgrund des begrenzten Nutzens und des unbegrenzten Aufwands wird der Kurvenverlauf bei großem Modellierungsfortschritt

⁷⁸³ vgl. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 44f.

jedoch immer eine Nullstelle rechts des Ursprungs und einen Abfall in ein ungünstiges Verhältnis von Nutzen und Aufwand haben.

8.1.2 Forderung der suffizienten Modellierung

Als Konsequenz dieser qualitativen Betrachtung lässt sich folgende Hypothese festhalten: Sowohl eine zu oberflächliche, als auch eine zu detaillierte bzw. zu umfangreiche Modellierung verfehlen das Ziel einer effektiven und effizienten Unterstützung der Produktentstehung. Eine *ausreichend* umfängliche Modellierung muss im Kurvenbereich zwischen den Nullstellen der resultierenden Kurve liegen. Demnach muss es Ziel einer Prozessmodellierung sein, unter Berücksichtigung projektinterner- wie externer Einflussparameter *Suffizienz* zu erreichen – und nicht etwa so viel wie irgend möglich in einem Modell repräsentieren zu wollen.

In der Produktentstehungspraxis finden verschiedenste Modelle Anwendung. Sie dienen in den unterschiedlichsten Unternehmensbereichen jeweils individuellen Zwecken in Entwicklung oder Management (vgl. Abschnitt 2.4). Weiterhin wurden einzelne, meist kommerzielle Software-Werkzeuge entwickelt, die abgestimmt auf die individuellen Ziele eine z.T. sehr effektive und effiziente Arbeit ermöglichen (vgl. Abschnitt 2.5). Das Ziel der modellbasierten Unterstützung der Produktentstehung kann unter der Forderung einer *suffizienten* Modellierung nun nicht darin liegen, all diese Funktionalitäten in einem einzigen Modell zu vereinen. Aus der detaillierten Erörterung von Nutzen und Aufwand verbietet sich die Strategie, ein allumfassendes Modell aufstellen zu wollen. Stattdessen gilt es, wie in den Grundlagenkapiteln dargelegt, eine kompetente kooperative Produktentstehung zu realisieren. In dieser sollen bewusst individuelle, domänenspezifische Werkzeuge und Modellierungsansätze eingesetzt werden. Jedoch erfordert die Komplexität einer kooperativen Produktentstehung eine Abstimmung dieser Kompetenzen auf persönlicher wie auf organisatorischer Ebene. Demnach ist ein Rahmen erforderlich, der eine kohärente Integration der spezifischen Modelle ermöglicht – indem die relevanten Schnittstelleninformationen miteinander in Beziehung gesetzt werden. Diese Integration kann nicht explizit in inhaltlicher Form, sondern muss implizit und auf Basis eines gemeinsamen Verständnisses über die relevanten Zusammenhänge und Schnittstellen der betreffenden Informationen erfolgen.

Die durchgeführten Studien erweisen das Potential von iPeM und C&C²-A als zentrale Ansätze der „Karlsruher Schule“ für eine Unterstützung der Produktentstehung. Der Nutzen wurde im Rahmen dieser Arbeit durch die integrierte Betrachtung prozess- und produktrelevanter Aspekte gegenüber dem Stand der Forschung, in dem diese bislang isoliert behandelt werden, erweitert. Diese Möglichkeit zur ganzheitlichen Repräsentation der Produktentstehung motiviert die Erweiterung des Modellierungsansatzes durch die Entwicklung eines Metamodells,

das den Rahmen für eine integrative Modellierung der Produktentstehung unter dem Aspekt der Suffizienz bildet. Im folgenden Abschnitt wird hierfür das Konzept der transsubjektiven Modellierung eingeführt.

8.2 Konzept der transsubjektiven Modellierung

In den präskriptiven Studien der vorangehenden Kapitel wurde gezeigt, dass ein absolutes Modell, das sämtliche Informationen der Produktentstehung umfasst, nicht realisiert werden kann. In diesem Abschnitt wird mit der transsubjektiven Modellierung deshalb ein Konzept eingeführt, das eine explizite Repräsentation aller Informationen und deren Relationen auf inhaltlicher Ebene obsolet macht. Es dient stattdessen dazu, spezialisierte Modelle auf Basis eines gemeinsamen Metamodells implizit miteinander in Beziehung setzen zu können. Dieser domänen- bzw. situationsunabhängige Verständnis- bzw. Modellierungsrahmen umfasst hierfür lediglich die minimal notwendigen, übergreifenden Metamodellelemente und -relationen. Seitens der operativen Projektarbeit wird so eine übergreifende Kooperation möglich, indem die Beteiligten ihre jeweiligen Ergebnisse im übergeordneten, situationsspezifischen Kontext der Produktentstehung verorten und aufeinander abstimmen können. Seitens der strategischen Unternehmensführung und der Administration dient das erweiterte Verständnis durch die transsubjektive Modellierung der Gestaltung von Schnittstellen, um unternehmensinterne wie -externe Potentiale zu vernetzen und eine kompetenzbasierte, durchgängige Produktentstehung zu verwirklichen.

Hierfür wird im Folgenden als notwendige Grundlage ein fraktales Metamodell der Produktentstehung präsentiert. Es umfasst die relevanten Elemente von der Perspektive eines gesamten Unternehmens bis hin zu der einzelner Personen. Weiterhin umfasst es auf Basis von iPeM und C&C²-A domänenunabhängige Metamodelle für die integrative Repräsentation prozessrelevanter und produktrelevanter Aspekte. Die für eine kooperative, suffiziente Modellierung notwendige Durchgängigkeit wird zum einen durch die Fraktalität und die geringe, aber umfängliche Anzahl der notwendigen Metamodellinformationen erreicht. Zum anderen beschreibt das Metamodell für die transsubjektive Modellierung die erforderlichen generischen Schnittstellen, auf deren Basis beliebige Produktentstehungsprozesse individuell ausgestaltet werden können. Schließlich wird durch ein im darauffolgenden Abschnitt vorgestelltes generelles Vorgehensmodell die Umsetzung der transsubjektiven Modellierung unter dem Aspekt der Anwendbarkeit in der Praxis vorbereitet. Zunächst wird im nächsten Abschnitt der Begriff der Transsubjektivität erläutert.

8.2.1 Transsubjektivität

MEBOLDT betont die Bedeutung intersubjektiver Mentalmodelle als notwendige Voraussetzung für ein gemeinsames Modellverständnis.⁷⁸⁴ Die in dieser Arbeit durchgeführten Studien belegen, dass das iPeM einen Rahmen darstellt, der zu einem solchen gemeinsamen Modellverständnis führen kann. Gleichzeitig wurde jedoch deutlich, dass ein gemeinsames absolutes Modell in einer explizit vorliegenden Form aufgrund seiner Eigenkomplexität nicht für ein gesamtes Produktentstehungsprojekt repräsentiert werden kann. Während bei einer absoluten Modellierung alle inhaltlichen Informationen zu repräsentieren sind, kommt der transsubjektive Ansatz lediglich mit einer expliziten Verknüpfung der Metadaten aus. Folglich gilt es hier, individuelle, explizit vorliegende Teilmodelle in einem übergeordneten Rahmen der Produktentstehung zu verorten und zu einem pragmatischen Gesamtmodell zusammenzusetzen. Dieser Vorgang kann wiederum implizit und daher suffizient für jeden Beteiligten stattfinden; nur projektrelevante Schnittstelleninformationen sind zu externalisieren. Im Sinne der Erkenntnistheorie handelt es sich für Einzelne um eine subjektive Modellbildung, wie sie im Konstruktivismus beschrieben wird.⁷⁸⁵ Ein gewissermaßen vergleichbares Konzept ist das sogenannte *transactive memory* (vgl. Abschnitt 5.2.1.6). Hierbei wird davon ausgegangen, dass Teammitglieder Wissen bei anderen Teammitgliedern „auslagern“, um die Gesamtmenge an beherrschbarem Wissen zu steigern.⁷⁸⁶ Das Konzept der transsubjektiven Modellbildung fordert für eine erfolgreiche Produktentstehung, dass die subjektiven Teilmodelle vor einem gemeinsamen Hintergrund von einem Kollektiv interpretiert werden können.⁷⁸⁷ Dieser Hintergrund muss folglich für alle Beteiligten kohärent sein; aufgrund der subjektiv verschiedenen Erfahrungswelten und Ausbildungshintergründe, kann er in der Produktentstehung jedoch nicht identisch sein. Nicht ein intersubjektiv geteilter, sondern ein transzendenter Bezugsrahmen wie ihn bspw. iPeM und C&C²-A als übergeordnete Metamodelle für die Produktentstehung darstellen, ermöglichen die Überwindung subjektiver bzw. domänenspezifischer Grenzen der mentalen Modellbildung. In Abbildung 30 ist die Abgrenzung von Trans- und Intersubjektivität veranschaulicht.

⁷⁸⁴ Meboldt 2008, S. 104

⁷⁸⁵ vgl. Fees und Thommen 2013

⁷⁸⁶ vgl. Wegner 1986

⁷⁸⁷ vgl. Blinne und Seubold 2013

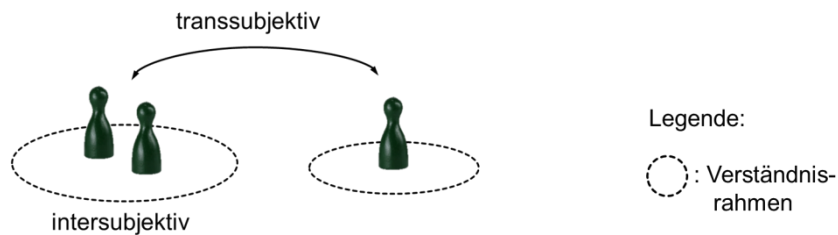


Abbildung 30: Abgrenzung der transsubjektiven von der intersubjektiven Modellbildung

Dieses Verständnis wird von RATHGEBER im Rahmen der Kognitionswissenschaften in zwei Perspektiven spezifiziert. So ermögliche die Transsubjektivität eine „Fundamentierung für eine rationale Gestaltung einer Diskussion“⁷⁸⁸ mit dem Ziel einer „subjektunabhängigen Auffindung eines Konsenses“⁷⁸⁹. Ferner ermögliche sie das Auffinden und Bestimmen „personen- und kontextinvarianter Bestimmungsstücke“ – hier im Rahmen spezifisch wissenschaftlicher Wissensspektren.⁷⁹⁰ HELLENBRAND unterscheidet mit Bezug auf BENEKE die transdisziplinäre Produktentwicklung von ihrem interdisziplinären Pendant. Dabei würden bei ersterer fachliche Grenzen aufgelöst, während letztere lediglich eine gemeinsame Bearbeitung derselben Aufgabe darstelle, „wobei ein Austausch zwischen den Disziplinen erfolgen kann aber nicht muss“.⁷⁹¹ Dieses Analogiebeispiel verdeutlicht auch den Unterschied zwischen trans- und intersubjektiver Modellierung – während erstere subjektive Grenzen überwindet, erfordert letztere einen gemeinsamen Verständnishintergrund. Eine Forderung, die in der komplexen Produktentstehung auf der Ebene gesamer Unternehmen unrealistisch sein muss. Das Konzept der transsubjektiven Modellierung stellt hingegen domänenspezifische Methoden und Techniken mit ihren resultierenden Inhalten in den Kontext der übergeordneten Produktentstehungsprojekte. Das fraktale Metamodell auf Basis der „Karlsruher Schule“ ist ein generelles Rahmenwerk für ein kohärentes, personen- bzw. disziplinunabhängiges Verständnis und die Verknüpfung individueller Partialmodelle bzw. deren Schnittstelleninformationen über subjektive Erfahrungshintergründe hinaus. Es wird im folgenden Abschnitt erläutert.

8.2.2 Ein fraktales Metamodell der Produktentstehung

Den Ansätzen der „Karlsruher Schule“ liegt der Grundgedanke der Selbstähnlichkeit bereits zugrunde.⁷⁹² In den Studien der voranstehenden Kapitel wurde der fraktale Charakter von C&C²-A und SPALTEN teilweise zur Lösung individueller Probleme

⁷⁸⁸ vgl. Rathgeber 2010, S. 36, zitiert nach Lorenzen und Schwemmer 1973

⁷⁸⁹ vgl. Rathgeber 2010, S. 39, zitiert nach Gethmann 1979

⁷⁹⁰ vgl. Rathgeber 2010, S. 39, zitiert nach Gutmann 1996

⁷⁹¹ Hellenbrand 2013, S. 13

⁷⁹² vgl. Albers et al. 2009 und Albers et al. 2010a

genutzt. Im Unterschied zu dem Metamodell, das in Abschnitt 6.1 vorgestellt wurde, stellt die Fraktalität im Metamodell für die transsubjektive Modellierung jedoch den Schlüssel zur Ableitung durchgängigkeitsrelevanter Schnittstellen dar.

Abbildung 31 zeigt die Gesamtansicht des fraktalen Metamodells in UML-Notation und illustriert die darin umfassten Bereiche des Systems der Produktentstehung. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Modellbereiche und ihr Gesamtzusammenhang im Detail erläutert und illustriert. Eine vergrößerte Darstellung des Gesamtmodells zeigt Anhang C.

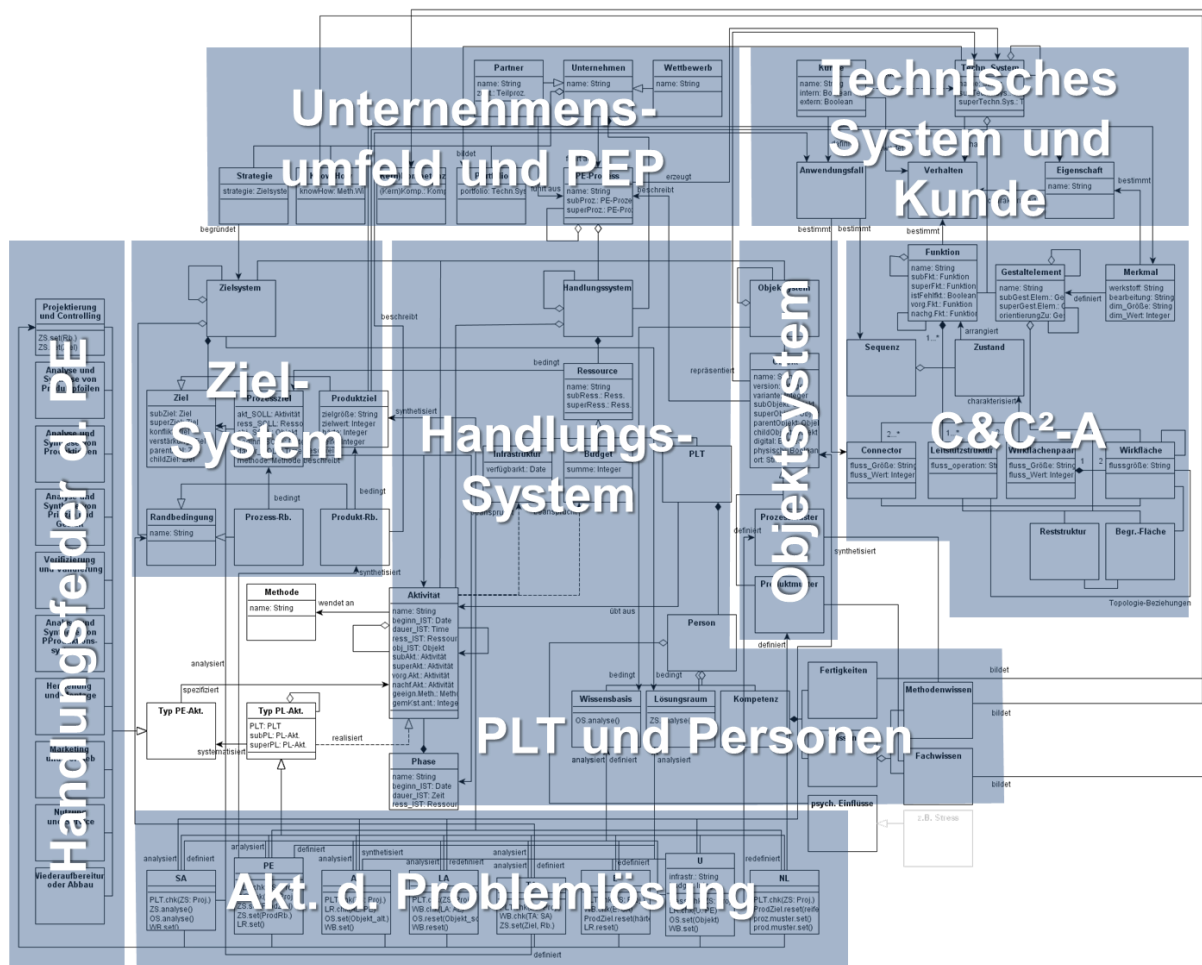


Abbildung 31: Gesamtansicht des fraktalen Metamodells für die transsubjektive Modellierung (vgl. Anhang C)

8.2.2.1 Interaktion des Kunden bzw. Nutzers mit dem technischen System

Im oberen rechten Bereich des Metamodells in Abbildung 31 und in Anhang C sind der Kunde bzw. der Nutzer und dessen Wahrnehmung des Produkts dargestellt.⁷⁹³ In einer allgemeinen Betrachtung kann es sich bei einem Kunden um einen

⁷⁹³ Für eine erleichterte Lesbarkeit wird auf die korrekte Bezeichnung der Metamodellelemente als Klassen, die z.B. Nutzer oder technisches System repräsentieren, verzichtet.

Endverbraucher bzw. -anwender handeln, um einen Geschäftskunden („Business to Business“) oder aber auch um eine Person oder Gruppe innerhalb des eigenen Unternehmens. Dies ist der Fall, wenn das technische System oder Teile davon für im Prozess nachgelagerte Unternehmenseinheiten erstellt werden.

Die Kundenwahrnehmung stellt ein subjektives Messglied für eine formale Verifikation von (geäußerten und nicht geäußerten) Anforderungen dar.⁷⁹⁴ Als solches ist eine Produktbewertung aus der Perspektive unternehmensinterner, oder -externer Kunden fundamental für die zentrale Aktivität „Validierung“. Erst durch Validierung (von Objekten) entsteht das notwendige Wissen für eine kontinuierliche Fortentwicklung des Zielsystems.⁷⁹⁵ Die Rolle des Kunden bzw. Nutzers im System der Produktentstehung wurde bereits in Abschnitt 2.4.6.4 diskutiert. Erst durch die Antizipation des Kundenwunsches bzw. seiner subjektiven Bewertung des technischen Systems ist ein Handlungssystem in der Lage, eine systematische Produktentwicklung zu betreiben. Im Sinne des „test-based development“ (engl.: „testbasierte Entwicklung“) werden hierbei Zielsysteme konkretisiert, indem ein anvisiertes Systemverhalten formuliert wird. Dieses gilt es, durch konstruktive Beeinflussung des Gestaltungsraums zu realisieren. Abbildung 32 verknüpft die schematische Darstellung des Wechselspiels von Produktentwicklung und Validierung mit den betreffenden Entitäten des Metamodells. Demnach repräsentieren Objekte wie z.B. CAD-Daten oder Berechnungen das technische System, während die übrigen Entitäten durch das Zielsystem beschrieben werden.

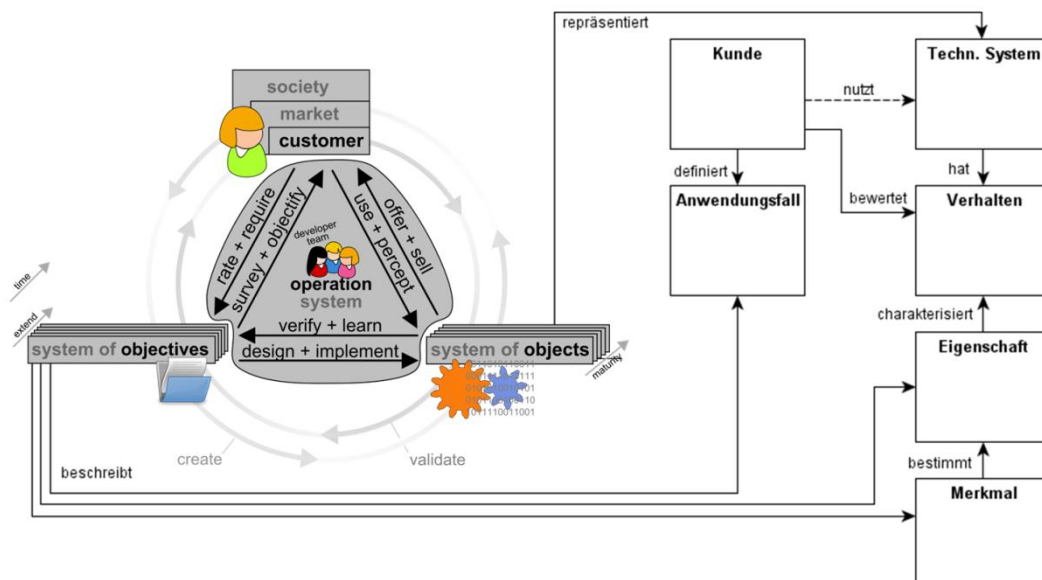


Abbildung 32: Rolle des Kunden im System der Produktentstehung

⁷⁹⁴ vgl. Albers et al. 2011c

⁷⁹⁵ vgl. Albers und Braun 2011 nach Albers 2010

Kunden bzw. Nutzer nehmen das Verhalten eines Produkts oder Teilsystems in partikulären Situationen wahr. Situationscharakterisierende Randbedingungen können entweder implizit vorliegen, oder sie sind durch einen Anwendungs- bzw. Testfall explizit definiert. Die Bewertungen des Produktverhaltens sind subjektiv und unterliegen der Erwartungshaltung der Nutzer an das Produkt. Grundsätzlich kann ein Produkt negativ bewertet werden, wenn seine Ausprägungen einem Anwendungsfall nicht genügen („schlechtes Produkt“) oder aber wenn ein an sich „gutes“ Produkt in einem nicht vorgesehenen Anwendungsfall eingesetzt wird. Zum Beispiel kann ein Laptop auch als „Türkeil“ verwendet werden. In der Produktentwicklung ist es daher notwendig, insbesondere die vorgesehenen Anwendungsfälle (engl.: „Use-Cases“) eines Produkts im Zielsystem zu beschreiben (z.B. als Produktprofil). Voraussetzung für eine Validierung schließlich, ist die Ableitung geeigneter Testfälle (engl.: „Test-Cases“) nebst charakterisierender Testkriterien.

Das Verhalten eines technischen Systems besteht im Allgemeinen in phänomenologischen Antworten auf äußere Anregungen. Diese werden als Wirkung bzw. Effekt wahrgenommen. Sie können mittelbar oder unmittelbar messtechnisch bestimmt werden. Ein einfaches Beispiel ist die Reflektion von Licht bestimmter Wellenlänge („Das System hat eine Farbe.“); einen komplexeren Sachverhalt stellt z.B. das Triebstrangphänomen einer Rupschwingung dar. Hier erlauben Vibrationen am Human Machine Interface⁷⁹⁶ eine Bewertung durch den Fahrer (z.B. durch subjektive Bewertung nach der ATZ-Skala⁷⁹⁷). Das Systemverhalten ist generell auf physikalische (und/oder chemische) Ursachen zurückzuführen. Nach WEBER können diese als Funktionseigenschaften oder Gestaltmerkmale betrachtet werden.⁷⁹⁸ Sie sind im Gegensatz zum Verhalten eines technischen Systems objektiv bestimmbar. Für eine zielorientierte Produktentwicklung sind ihre Ausprägungen ebenfalls im Zielsystem zu beschreiben.⁷⁹⁹ Im folgenden Abschnitt werden die Metamodell-elemente erläutert, die eine formale Beschreibung dieser Aspekte erlauben. Sie bilden die Grundlage für alle Aktivitäten der Analyse und Synthese.

8.2.2.2 Orte der Funktionserfüllung in der Analyse und Synthese

Aktivitäten der Analyse und Synthese sind von zentraler Bedeutung für die Produktentwicklung. Sie werden in den kommenden Abschnitten im Detail beschrieben. In diesem Abschnitt wird eine grundlegende Systematik auf Basis des C&C²-A (s. Abschnitt 2.4.6.1) vorgestellt. Sie dient dazu, technische Systeme in

⁷⁹⁶ Human Machine Interface – HMI: Benutzerschnittstelle zwischen technischem System und Anwender.

⁷⁹⁷ vgl. Aigner 1982

⁷⁹⁸ Weber et al. 2004, s.a. Albers und Sadowski 2013

⁷⁹⁹ vgl. Albers und Muschik 2010b

Teilsysteme und deren elementare Bestandteile herunter zu brechen. Damit wird es möglich, den zu betrachtenden Systemausschnitt („System-of-Interest“) für beliebige Entwicklungsprobleme passend einzugrenzen. Gleichzeitig wird sichergestellt, dass alle Schnittstellen zu den umliegenden Systemelementen berücksichtigt werden.⁸⁰⁰ Das abstrakte Verhalten technischer Systeme wird dabei systematisch in Beziehung zu konkreten Eigenschaften und Merkmalen gesetzt. Damit kann der vom Entwickler beeinflussbare Designraum explizit zugänglich gemacht und strukturiert werden.

Abbildung 33 zeigt den Ausschnitt des Metamodells für die Beschreibung technischer Systeme. Das Verhalten eines technischen Systems wird demnach durch dessen Funktion bzw. Sequenzen von Funktionsfolgen bestimmt. Eine Funktion kann in dieser Betrachtung auch eine Fehlfunktion sein. Also eine ungewünschte, eine fehlende⁸⁰¹, eine unter- oder übererfüllte Funktion sein. Um Funktionen qualitativ oder quantitativ beschreiben zu können, besitzen Connectoren und Wirkflächenpaare in der gezeigten UML-Darstellung des fraktalen Metamodells Attribute, die ein- und ausgehende Flussgrößen beschreiben. Weiterhin können Attribute von Leitstützstrukturen Operationsterme beschreiben, die diese Flussgrößen manipulieren, d.h. z.B. Wandeln (vgl. Abschnitte 6.1 und 6.4.2.2).⁸⁰² Die „Funktionsqualität“ im Urteil des Kunden unterliegt dabei charakteristischen Eigenschaften. Wie zuvor beschrieben, ist die Wahrnehmung der Güte der Funktionserfüllung abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall. Daher bestimmt der Anwendungsfall ein- und ausgehende Flussgrößen, die über Connectoren zur Umwelt in das betrachtete System eingeleitet werden.

Die funktionscharakterisierenden Eigenschaften sind auf Merkmale zurückzuführen, die wiederum die Gestalt definieren. Diese wird durch deren Topologie bestimmt, also durch Lagebeziehungen zwischen den C&C²-Elementen. Weiterhin umfasst die Gestaltung die Werkstoffauswahl und Definition der Werkstoffbearbeitung sowie die Dimensionierung inklusive der Definition von Toleranzen von Leitstützstrukturen, Reststrukturen, Wirkflächen und Begrenzungsflächen. Entwickler können nur diese Aspekte aktiv beeinflussen; Funktionen und deren charakterisierende Eigenschaften resultieren passiv aus der Gestaltung von Flächen und Strukturen sowie deren Assemblierung. Es liegt in der Verantwortung bzw. der Kompetenz eines Systemkonstruktors, die Funktions-Gestalt-Zusammenhänge derart zu entwickeln, dass ein technisches System so mit seiner Umwelt interagieren kann, dass das resultierende Verhalten dem Kundenwunsch entspricht.

⁸⁰⁰ vgl. Albers et al. 2008b

⁸⁰¹ Eine fehlende Funktion ist in der Systemanalyse relevant. Sie ist durch Fehlen mindestens eines Connectors, Wirkflächenpaars, oder einer Leitstützstruktur gekennzeichnet.

⁸⁰² Die zugrundeliegende Funktionsbibliothek geht auf HIRTZ ET AL. zurück (s. Albers et al. 2011a).

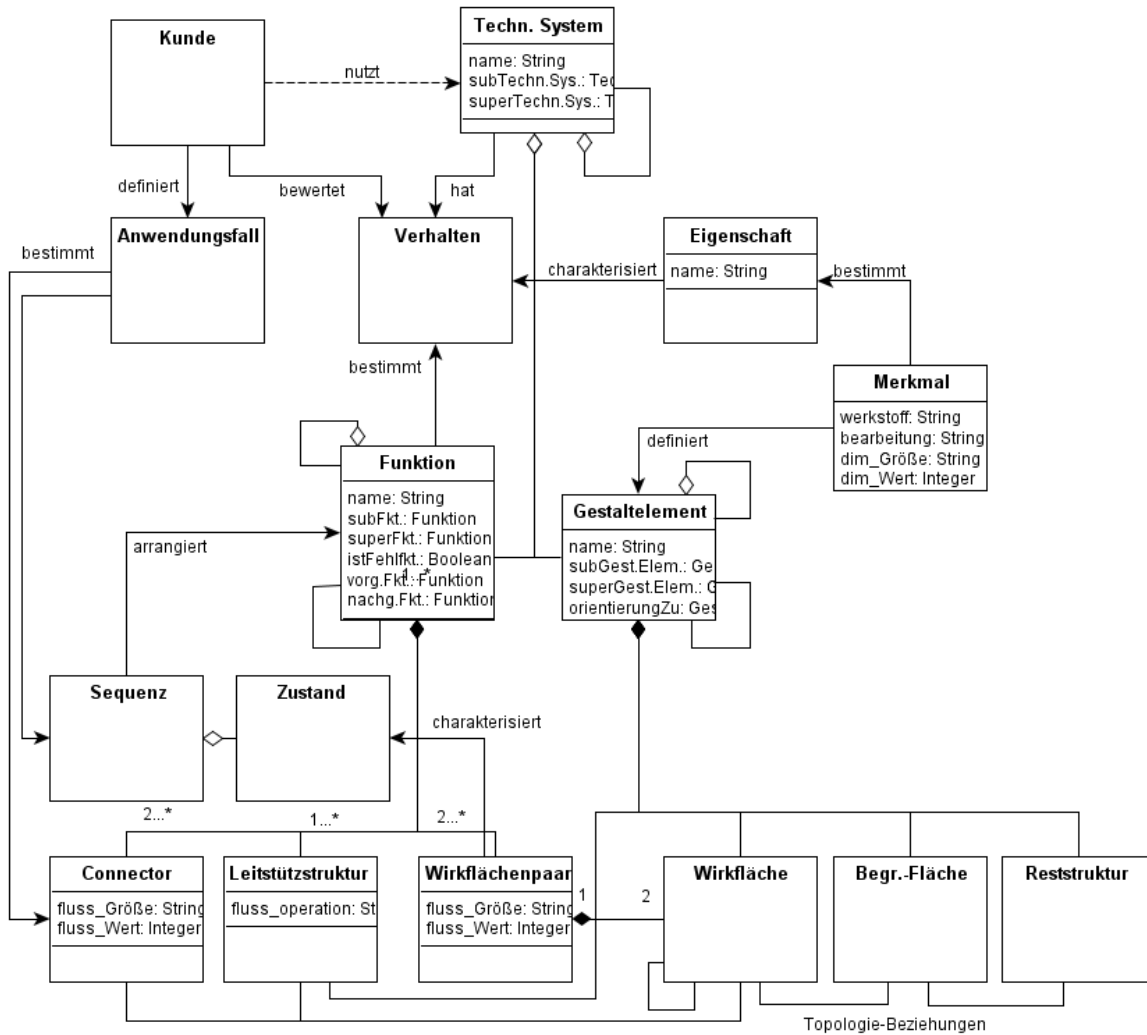


Abbildung 33: Metamodellausschnitt zur Beschreibung technischer Systeme

Ein wichtiger Unterschied zum Metamodell aus Abschnitt 6.1 (s. Abbildung 22) ist der fraktale Charakter der Produktmodellierung. Sowohl das technische System, als auch Funktion und Gestalt besitzen Selbstzyklen, sind folglich mit sich selbst assoziiert. Dies erlaubt die Modellierung von Hierarchien. Teilsysteme können voneinander abgegrenzt und durch eigene Funktions-Gestalt-Zusammenhänge repräsentiert werden. In einer integrativen Produktentstehung ist es damit möglich, individuelle Arbeitspakete formal zu trennen und dabei trotzdem Transparenz bezüglich aller relevanten Schnittstellen zu bewahren.

8.2.2.3 Systemtripel ZHO

Die Modellierung von Ziel-, Handlungs- und Objektsystem unterscheidet sich von Abbildung 22 aus Abschnitt 6.1 neben dem Detaillierungsgrad des Metamodells ebenfalls in ihrer Fraktalität. Wie auch der Produktentstehungsprozess selbst, sind die Teilsysteme des Systemtripels ZHO im Metamodell für die transsubjektive Modellierung fraktal (vgl. Anhang C). Sie bilden sich ebenso wie das technische System selbstähnlich und hierarchisch ab. Ergänzend zur Produktmodellierung

erlaubt die Prozessmodellierung also ihrerseits die Definition und formale Unterscheidung sowie Integration individueller Arbeitspakete.

Das Zielsystem gliedert sich in Ziele und Randbedingungen.⁸⁰³ Diese sind wiederum unterteilt und beschreiben entweder prozess- oder produktrelevante Aspekte. Prozessziele beschreiben Sollwerte für die Aktivitäten, die im nächsten Abschnitt erläutert werden. Dies umfasst geplante Aktivitäten, deren Beginn und Dauer, sowie zugewiesene Ressourcen, geplante Methoden oder erwartete Ergebnisse. Prozessziele unterliegen einschränkenden Prozessrandbedingungen wie z.B. der Verfügbarkeit von Ressourcen in einem bestimmten Produktentstehungsprozess. Die Summe aller Prozessziele für einen Teilprozess formuliert dessen Implementierungsmodell. Ist sie für beliebige Teilprozesse innerhalb gemeinsamer Randbedingungen gültig, handelt es sich um ein Referenzmodell (vgl. Abschnitt 2.4.6.5). Produktziele beschreiben Eigenschaften und Merkmale des technischen Systems durch Zielgrößen und -werte. Sie besitzen die Attribute Härte und Reife⁸⁰⁴, die ebenfalls im Folgenden erläutert werden. Produktziele unterliegen Produktrandbedingungen, die insbesondere die antizipierten Anwendungsfälle des technischen Systems beschreiben (s.o.).

Das Handlungssystem wird in Anlehnung an ROPOHL durch das System der Ressourcen und das System der Aktivitäten gebildet.⁸⁰⁵ Ressourcen können entweder Infrastruktur (z.B. Prüfstände), Budget bzw. ein Anteil eines Gesamtbudgets oder Problemlösungsteams sein. Letztere werden im übernächsten Abschnitt detailliert betrachtet. Zunächst sind Aktivitäten Gegenstand des folgenden Abschnitts.

Objekte, die das Objektsystem konstituieren, besitzen u.a. Attribute, die sie nach Versionen und Varianten unterscheiden lassen. Sie können in digitaler oder physischer Form vorliegen und verschiedenen Speicher- oder Ablageorten zugewiesen sein. Damit kann insbesondere ein Produktdatenmanagement realisiert werden.

8.2.2.4 Aktivitäten im System der Produktentstehung

In Kapitel 6.1 wurde die zentrale Rolle von Aktivitäten im System der Produktentstehung hervorgehoben. Durch Analyse und Synthese von Elementen in Ziel- und Objektsystem erfolgt durch sie die eigentliche Produktentstehung. Aktivitäten können je nach Modellierungszweck durch Attribute, wie z.B. einen Gemeinkostenanteil,

⁸⁰³ Randbedingungen (engl.: „constraints“) bedingen Ziele im Zielsystem (vgl. Albers und Muschik 2010b)

⁸⁰⁴ s. Albers et al. 2012a

⁸⁰⁵ vgl. Ropohl 2009, S. 101ff.

spezifiziert werden. Insbesondere in Ergänzung zu den in Prozesszielen formulierten Sollwerten kann durch Attributierung von Ist-Werten (z.B. Beginn und Dauer, Ressourcenverwendung oder resultierenden Objekten) ein Anwendungsmodell repräsentiert werden. Durch eine Formulierung von Erfahrungswissen (z.B. geeignete Methoden) kann ein Teil der Kompetenzen eines Unternehmens in Aktivitäten strukturiert explizit gemacht werden.

Im iPeM ist die Klassifizierung von Aktivitäten nach inhaltlich zusammengehörigen Abschnitten von Produktentstehungsprozessen charakteristisch. Im Kontext der Produktentwicklung sind die Aktivitäten der Produktentstehung wie folgt zu interpretieren: In der Projektierung werden alle prozessrelevanten Entscheidungen aus Sicht des Projektmanagements getroffen. Dies bedeutet, dass auf Basis einer Analyse von Prozessrandbedingungen Prozessziele, wie z.B. eine Phasenfolge und Ressourcenallokation für ein initiales Zielsystem, definiert werden. Die übrigen Aktivitäten der Produktentstehung sind in diesem Kontext der Produktentwicklung zugehörig. Dabei werden in der Profilfindung im Wechselspiel mit der Analyse der Nutzung abstrakte Produktziele und -randbedingungen formuliert, die Anwendungsfälle und Funktionseigenschaften beschreiben. In der Ideenfindung, der Modellierung von Prinzip und Gestalt und der Validierung werden diese iterativ konkretisiert. Dies erfolgt, bis die Definition von Gestaltmerkmalen ausreicht, um zusammen mit der Produktionssystementwicklung das System zu realisieren. Teilsysteme können dabei sowohl unternehmensintern als auch -extern entwickelt oder gefertigt bzw. montiert werden. Das Simultaneous Engineering⁸⁰⁶ fordert, dass Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung parallel erfolgen. Dies ist dadurch zu begründen, dass Wirkflächenpaare, die in der Produktion oder Montage relevante Funktionen bewirken, bereits in der Entwicklung berücksichtigt werden müssen. Somit stellt die Aktivität „Produktion“ – in der Betrachtung des iPeM aus Sicht der Produktentwicklung – eine Informationsquelle für die Produktentwicklung dar („Design for Manufacturing“). Analog können in der Produktgenerationsentwicklung Informationen, die aus den Aktivitäten „Einführung“ (z.B. Verkaufsschwerpunkte) und „Abbau“ herrühren als Produktrandbedingungen im Zielsystem (DfX) aufgefasst werden. In diesem Verständnis wird die folgende Nomenklatur für die Aktivitäten der Produktentstehung vorgeschlagen. Im Konzept der transsubjektiven Modellierung handelt es sich bei den Aktivitätsclustern um „Handlungsfelder der Produktentstehung“ (vgl. Anhang C).

⁸⁰⁶ s. Abschnitt 2.4.5.1

Sie lauten:

- Projektierung und Controlling;
- Analyse und Synthese von Produktprofilen;
- Analyse und Synthese von Produktideen;
- Analyse und Synthese von Prinzip & Gestalt;
- Verifizierung und Validierung;
- Analyse und Synthese von Produktionssystemen;
- Herstellung und Montage;
- Marketing und Vertrieb;
- Nutzung und Service;
- Wiederaufbereitung oder Abbau.

Durch die Handlungsfelder werden Tätigkeitsschwerpunkte abgegrenzt, denen typischerweise von Fachleuten unterschiedlicher Ausbildungshintergründe nachgegangen wird. Projektierung und Controlling umfassen demnach vorwiegend managementorientierte Tätigkeiten. Verifizierung und Validierung stellen – wo sie über Aktivitäten der Tragweitenanalyse hinausgehen – Handlungsfelder von Berechnungs- oder Versuchingenieuren dar. Die übrigen Felder sind im Fokus der vorliegenden Arbeit engere Handlungs- bzw. Betrachtungsgegenstände der Produktentwicklung.⁸⁰⁷

Eine detaillierte Betrachtung der Aktivitäten der Problemlösung folgt in Abschnitt 8.2.3, in dem ein generelles Vorgehensmodell eingeführt wird. Zunächst wird jedoch die Rolle der Menschen im Zentrum der Produktentstehung betrachtet.

8.2.2.5 Personen im System der Produktentstehung

Das kleinste Problemlösungsteam (PLT) ist ein einzelner Mensch. Personen (in der Rolle von Entwicklern oder Managern) verüben die Tätigkeiten, aus denen Produktentstehungsprozesse resultieren. Bezugnehmend auf ALBERS ET AL. werden Personen eine Wissensbasis und ein Lösungsraum zugeschrieben.⁸⁰⁸ Im fraktalen Metamodell (vgl. Anhang C) werden Personen darüber hinaus zwei weitere Aspekte zugeschrieben. Um im Folgenden das generelle Vorgehensmodell für Aktivitäten der Analyse und Synthese aufstellen zu können, sind dies Begabung bzw. Kompetenz sowie psychologische Einflussfaktoren.

⁸⁰⁷ Entsprechend Abschnitt 3.4 wird in dieser Dissertation die Perspektive der Produktentwicklung eingenommen. Aus Sicht anderer Domänen (bspw. Vertriebswirtschaft) sind die Handlungsfelder der Produktentstehung alternativ zu interpretieren.

⁸⁰⁸ s. Abschnitt 2.4.6.1 und Albers et al. 2012a, S. 8

Für den ingenieurwissenschaftlichen Bereich wurden von HOFFMANN ET AL. Deskriptoren beschrieben, um den komplexen Sachverhalt der Kompetenz bestimmbar zu machen.⁸⁰⁹ Die Arbeiten gründen auf fundamentalen Erkenntnissen der Lerntheorie.⁸¹⁰ Demnach erfolgt die Fortentwicklung der Problemlösungsfähigkeit eines Individuums in zyklischen Schritten.⁸¹¹ Die Kompetenz wird dabei als höchste von drei Stufen angesehen. Sie ermöglicht die Anwendung und Weiterentwicklung deklarativen, prozeduralen Wissens zu kanonischem bzw. strategischem Wissen. Dies sei von Fertigkeiten und (Fach-)Wissen zu unterscheiden. Fertigkeiten stellen trainierte Fähigkeiten dar, die Tätigkeiten unter Verwendung impliziten Wissens ermöglichen. In den Ingenieurwissenschaften sei damit die Anwendung von Wissen auf bekannte Aufgaben und Problemstellungen gemeint. Charakteristisch sei für derartige Fälle, dass eine Reflektion über die Problemsituation nicht notwendigerweise stattfinden muss. HOFFMANN ET AL. veranschaulichen dies am psychomotorischen Beispiel des Fahrradfahrens. Wissen im Sinne von gelernten, zugreifbaren Informationen über Fakten, deren assoziierten Kontext und die Regeln, die die Beziehung der Fakten zu Kontexten definieren, bildet die Grundlage für Fertigkeiten und Kompetenzen.⁸¹²

Neben Wissen, Fertigkeiten und Kompetenzen zeichnen sich Menschen durch Fantasie und Kreativität aus. Dies macht es bei der ingenieurwissenschaftlichen Problemlösung möglich, Ergebnisse zu erreichen, die über Erwartungen hinausgehen, die auf Basis eines bisherigen Kenntnisstands angenommen wurden. DEIGENDESCH diskutiert den Aspekt der Kreativität im Kontext der Produktentwicklung.⁸¹³ Das kreative Potential unterliegt psychologischen Einflüssen, die individuell für beteiligte Personen oder gegebene Situationen sein können.⁸¹⁴ Dies sind zum einen Persönlichkeitsmerkmale⁸¹⁵ und zum anderen externe Einflussfaktoren wie z.B. Stress.⁸¹⁶

Die hier besprochenen Aspekte erlauben es im Folgenden, Rückschlüsse auf die Eignung einer Person für eine Problemstellung in der Produktentwicklung zu ziehen. Zunächst wird der Blick aber von einzelnen Individuen zur Gesamtheit eines Unternehmens gewendet.

⁸⁰⁹ Hoffmann et al. 2010

⁸¹⁰ vgl. Gagné et al. 1988, Kolb 1984 und Race 2001

⁸¹¹ s. Hoffmann 2005

⁸¹² Hoffmann et al. 2010, S. 4

⁸¹³ vgl. Deigendesch 2009

⁸¹⁴ vgl. Rhodes 1961

⁸¹⁵ s. Schuler und Görlich 2007, S. 14 und Holm-Hadulla, 2005, S. 36

⁸¹⁶ s. Segler 2000 oder Sommer und Grosser 1996

8.2.2.6 Unternehmen im System der Produktentstehung

Während Personen in der Produktentstehung Teilsysteme von Zielen verfolgen bzw. fortentwickeln und Teilsysteme von Objekten dafür nutzen oder erzeugen, gilt für Unternehmen eine weitere Perspektive: Unternehmen können im Wettbewerb zueinander stehen oder miteinander kooperieren. Gemäß dem fraktalen Metamodell für die transsubjektive Modellierung der Produktentstehung führen sie als übergeordnete Handlungssysteme Produktentstehungsprozesse oder Teile davon aus (vgl. Anhang C). MUSCHIK beschreibt, wie sich Zielsysteme der Produktentstehungsprozesse aus der jeweiligen Unternehmensstrategie und Einflussfaktoren der Produktentstehung wie z.B. Ökonomie oder Ökologie ableiten.⁸¹⁷ Sie lassen sich bis auf kohärent zusammenhängende Teilzielsysteme auf der Ebene individueller, am Prozess beteiligter Personen herunterbrechen. Gleichermaßen werden Teilobjektsysteme zum Gesamtportfolio eines Unternehmens aggregiert. Dies umfasst neben dessen Produktpalette auch sämtliche Produktdatenbestände in Form von CAX-Daten, explizit vorliegenden Berechnungen, Informationssammlungen etc.⁸¹⁸ Neben diesen explizit vorliegenden Informationen bestimmen insbesondere implizite Kapazitäten die Innovationsleistung bzw. den Wert eines Unternehmens. Für die transsubjektive Modellierung wird die Annahme getroffen, dass sich die individuellen Wissensbasen und Lösungsräume der Problemlösungsteams zum unternehmensweit kumulierten Know-How und zu den insgesamt darstellbaren Kompetenzen ergänzen. Damit lassen sich betriebswirtschaftliche Erfolgsfaktoren, die in der Literatur als „Humankapital“⁸¹⁹ oder „Kernkompetenzen“⁸²⁰ beschrieben werden, anthropozentrisch erklären. Mit dem fraktalen Metamodell ist es möglich, ein generelles (personen- und technologieunabhängiges) Vorgehensmodell der Produktentstehung aufzustellen. Damit wird mit dem folgenden Abschnitt eine Basis für eine individuelle und kohärente Anwendung der transsubjektiven Modellbildung bereitgestellt.

8.2.3 Konzept eines generellen Vorgehensmodells

In Abschnitt 8.2.2.4 wurden die Aktivitäten der Produktentstehung als Gruppen inhaltlich zusammengehöriger Tätigkeiten in Produktentstehungsprozessen dargestellt. Die Unterscheidung dieser Handlungsfelder dient der ordnenden Strukturierung des übergeordneten Prozessgeschehens. Sie erlaubt es bspw. die Aktivitäten zeitlich zusammengehöriger Prozessabschnitte zu Phasen zusammenzu-

⁸¹⁷ vgl. Muschik 2011

⁸¹⁸ s. Gausemeier et al. 2006, S. 224f.

⁸¹⁹ vgl. Clar et al. 1997

⁸²⁰ vgl. Prahalad und Hamel 1990

fassen und inhaltlich zu gliedern. Die eigentliche Prozessarbeit erfolgt in den Aktivitäten der Problemlösung.⁸²¹

8.2.3.1 Produktentstehung als Problemlösung

Die Aktivitäten der Problemlösung dienen einer kontinuierlichen Verringerung von Unsicherheit. Diese rührt daher, dass Merkmale und Eigenschaften eines zu entwickelnden Systems zu Beginn eines Prozesses nicht feststehen und entscheidungsrelevantes Wissen erst kontinuierlich mit der fortschreitenden Entwicklung erarbeitet werden kann. Dieser Sachverhalt wird als sogenannter „Reifegrad“ bezeichnet. Dabei kann es sich um den Entwicklungsfortschritt gesamter Produkte, oder im Sinne des fraktalen Metamodells auch um einzelne Teilsysteme und die sie beschreibenden Modelle handeln. Hierbei handelt es sich um ein iteratives Vorgehen, in dem sich Analyse, Synthese und Entscheidung permanent abwechseln.⁸²²

Während die Synthese von Zielvorgaben zu Entwicklungsergebnissen in zahlreichen Ansätzen für die Modellierung von Produktentstehungsprozessen beschrieben wird (vgl. Abschnitt 2.4), trägt die zusätzliche Einbeziehung von Analysetätigkeiten auch insbesondere der Vorgehensweise der an den Prozessen beteiligten Personen Rechnung. Erst durch kontinuierliche Iterationen von Analyse und Synthese können eine Wissensbasis aufgebaut, bzw. ein Lösungsraum eingegrenzt werden, die eine reifegradbasierte Produktentstehung ermöglichen.⁸²³ Mit diesem Grundverständnis können Entscheidungsbegründungen und deren Hintergründe explizit modelliert werden.

Im fraktalen Metamodell werden produkt- und prozessrelevante Aspekte über zugehörige Zielsystem- und Objektsystemelemente miteinander in Beziehung gebracht. Deren Ursprung lässt sich mit Hilfe der SPALTEN-Systematik feingranular benennen. Gleichzeitig genügen dem Metamodell jedoch diese wenigen Elemente, um eine ganzheitliche Repräsentation der Produktentstehung zu gewährleisten. Ausgehend von der Erklärung genereller Entwicklungszusammenhänge von Analyse und Synthese im erweiterten ZHO-Modell (vgl. Abschnitt 2.4.6.3) wird im Folgenden ein deskriptives Modell eingeführt, das die grundlegenden Iterationen und deren Ursachen in der transsubjektiven Produktentstehungspraxis beschreibt.

⁸²¹ vgl. Albers und Braun 2011

⁸²² vgl. Albers et al. 2012a und Ehrlenspiel 2007, S. 245

⁸²³ Albers et al. 2012a, S. 8

8.2.3.2 Generelles Vorgehensmodell der Produktentstehung

Im vorangehenden Abschnitt wurde ein Grundverständnis der Produktentstehung als Problemlösung formuliert. Auf dieser Basis wird im Folgenden ein generelles Vorgehensmodell eingeführt. Es beschreibt das algorithmische Zusammenwirken der Aktivitäten der Problemlösung, das in gleicher Art und Weise in allen Aktivitäten der Produktentstehung angewendet werden kann. Abbildung 34 zeigt einen Ausschnitt des Metamodells, der die Zusammenhänge des generellen Vorgehensmodells mit Ziel-, Handlungs- und Objektsystem abbildet. Ausgehend von Analysen des Ziel- und Objektsystems in der Situationsanalyse werden in den weiteren Aktivitäten systematisch Wissensbasis und Lösungsraum (weiter-)entwickelt. Dies erfolgt durch strukturierte Tätigkeiten der Analyse und Synthese in den jeweiligen Problemlösungsschritten (verdeutlicht durch die nicht-orthogonalen Pfeile in Abbildung 34). Hervorzuheben sind dabei die Definition von Produktzielen und -randbedingungen in der Problemeingrenzung, die Generierung und Eingrenzung einer Lösungsvielfalt in den Schritten der Lösungssuche und -auswahl sowie die Definition neuer Ziele und Randbedingungen durch die Tragweitenanalyse. Im Schritt Entscheiden erhalten Produktziele die notwendige Härte für die darauffolgende Umsetzung.⁸²⁴ In ihr werden neue Objekte generiert. Im letzten Schritt (Nachbereiten und Lernen) werden gegebenenfalls Muster (best- oder worst-practices) für Produkt oder Prozess explizit gemacht. Alle Schritte dienen einer reifegradbasierten Projektsteuerung, die nachfolgend in Tabelle 16 zusammengefasst wird.

⁸²⁴ Entgegen dem Metamodell aus Abschnitt 6.1 und Tabelle 3 wird im Metamodell für die transsubjektive Modellierung der Produktentstehung zwischen „Entscheiden“ und „Umsetzen“ unterschieden. In der Praxis der Produktentstehung werden diese Tätigkeiten unter Zuhilfenahme verschiedener Methoden und insbesondere von verschiedenen Problemlösungsteams ausgeführt.

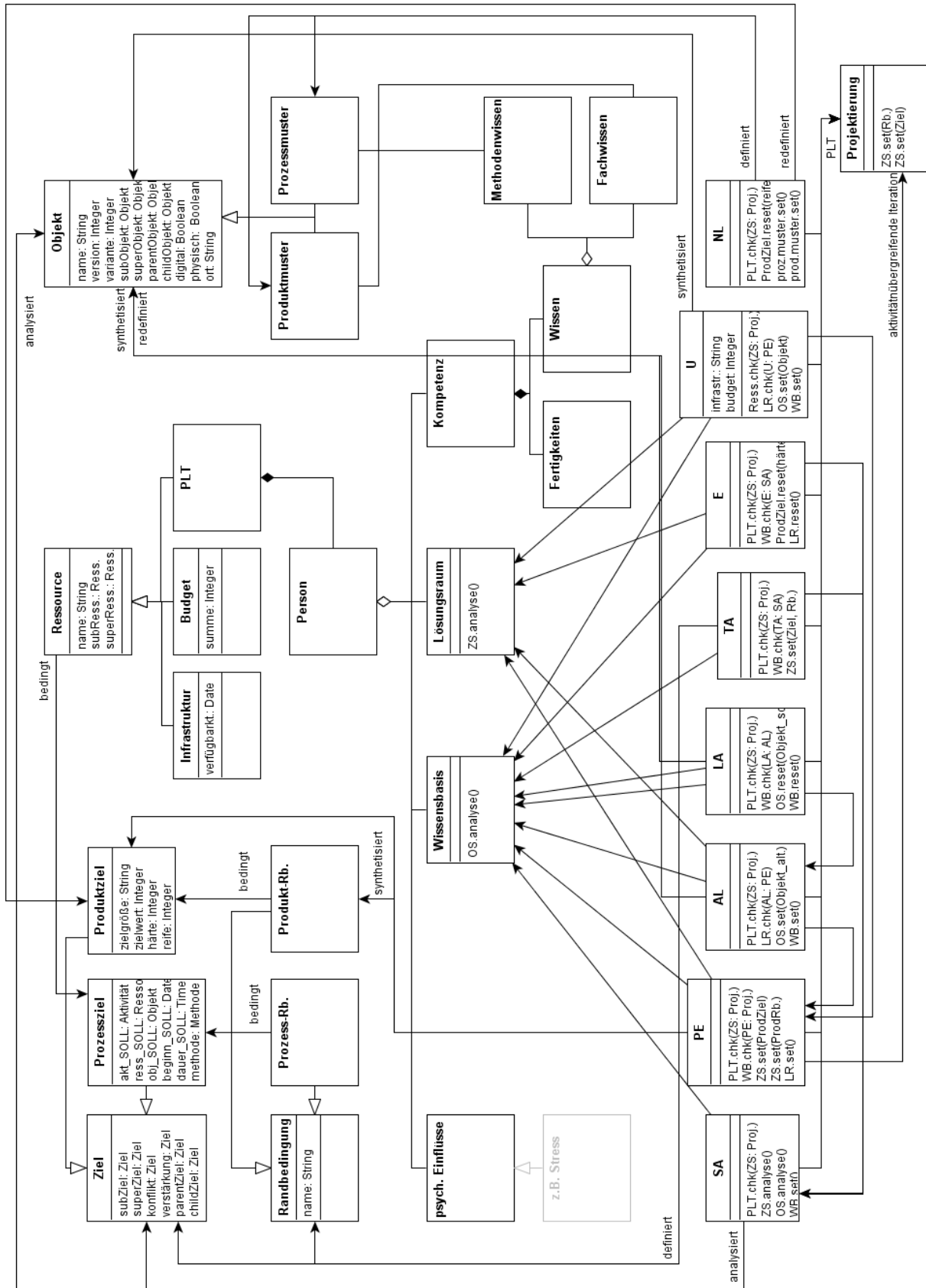


Abbildung 34: Metamodellausschnitt des generellen Vorgehensmodells

Mit dem generellen Vorgehensmodell werden v.a. drei wesentliche Aspekte des in Abschnitt 5.3.2 aufgestellten potentiellen Nutzen der Modellierung von Produktentstehungsprozessen aufgegriffen.

1. Inhaltliche Planung, Durchführung und Nachbereitung

Zum einen stellt die Gliederung von Aktivitäten in Problemlösungsschritte gleichzeitig ein deskriptives Modell (was ist – warum – zu tun?) und ein präskriptives Modell (wie ist dabei schrittweise vorzugehen?) für die inhaltliche Umsetzung der Aktivität dar. Dies betrifft die grundsätzliche Vorgehenssystematik, die Zuweisung prinzipiell geeigneter Methoden und Werkzeuge sowie die Verortung von Erfahrungswissen.⁸²⁵

2. Organisatorische Planung und „adaptives Projektmanagement“

Darüber hinaus begründet die wiederkehrende Überprüfung des Problemlösungsteams bei der Anwendung der SPALTEN-Systematik in Produktentstehungsprozessen das Wechselspiel der Aktivität Projektierung mit den übrigen Aktivitäten der Produktentstehung. So wird in jedem Problemlösungsschritt die Eignung des zugewiesenen Problemlösungsteams auf der Basis dessen Kompetenz und psychologischen Zustands überprüft (s. Abschnitt 8.2.2.5). Wird festgestellt, dass ein Problemlösungsteam für die anstehende Entwicklungsaktivität nicht geeignet ist, muss in der Aktivität Projektierung aus Sicht des Managements eine Personalentscheidung getroffen werden, d.h. Teile eines Teams oder ein gesamtes Team werden für eine Teilaktivität ausgetauscht bzw. ergänzt. In Praxis der Produktentstehung werden in kritischen Projektsituationen bspw. externe Berater mit eingebunden. Eine Anpassung des Handlungssystems kann auch hinsichtlich der zugewiesenen Ressourcen in Form von Infrastruktur und Budget erfolgen oder aber auch durch Anpassung zeitlicher oder inhaltlicher Vorgaben der Prozessziele (s. Abschnitt 8.2.2.3).

3. Prozessbewertung und -steuerung auf Basis messbarer Kriterien: Iterationen

Ebenso wie die wiederkehrende Überprüfung des Problemlösungsteams findet nach der SPALTEN-Systematik zu jedem Problemlösungsschritt ein Informationscheck statt. In diesem wird überprüft, ob die vorliegenden Informationen ausreichen, um den anstehenden Schritt umzusetzen.⁸²⁶ Mit dem Metamodell für die transsubjektive Modellierung ist es möglich, diesen Mechanismus detaillierter zu beschreiben und zudem dessen Auswirkung auf Iterationen herzuleiten. So werden in den Informationschecks Wissensbasis und Lösungsraum des Problemlösungsteams überprüft. Diese gehen auf Analysen von Ziel- und Objektsystem zurück. Je nachdem, welche Informationen als unzureichend für das Treffen von Entscheidun-

⁸²⁵ vgl. Albers und Meboldt 2006 und Albers und Braun 2011

⁸²⁶ vgl. Albers et al. 2005 und Albers und Braun 2011

gen erkannt werden, ergibt sich also die Notwendigkeit, jene Aktivitäten iterativ zu wiederholen, die die betreffenden Informationen erbringen können. Der erforderliche Reifegrad für eine Entscheidung muss demnach vorliegen, bevor eine ausreichende Härte für die darauffolgenden Entwicklungsschritte festgestellt werden kann. MEBOLDT ET AL. stellen fest, dass Iterationen innerhalb einer Phase wertvolle und notwendige Zyklen seien, die zu einem Erkenntnisgewinn führen könnten. Um wissensbasierte Entscheidungen zu ermöglichen, solle möglichst frühzeitig eine (realitätsnahe) Validierung der qualitativen Funktionserfüllung erfolgen. Ziel sei es, kostspielige Iterationen, die im Gegensatz dazu über einzelne Phasen hinweg erfolgen müssen, zu vermeiden.⁸²⁷

Das Anstoßen von Iterationen ist am unteren Bildrand von Abbildung 34 repräsentiert. Während nach links gerichtete Pfeile Iterationen innerhalb einer Aktivität der Produktentstehung bewirken, führt ein Informationsmangel in der Problemeingrenzung zu Folgeschritten, die außerhalb der aktuellen Aktivität liegen. Tabelle 16 listet auf, was in den Informationschecks der Aktivitäten der Problemlösung jeweils überprüft wird, auf welche Entitäten die jeweiligen Schritte einen Einfluss haben und welche Iterationen durch sie jeweils angestoßen werden können.

Tabelle 16: Aktivitäten der Problemlösung und resultierende Iterationen

Akt. d. PL	Überprüfungsgegenstand und ggf. resultierende Iteration (⇒)
SA	Analyse v. ZS und OS, Definition WB ⇒ Projektierung
PE	Analyse WB; Synthese v. Zielen u. Definition LR ⇒ Projektierung
AL	Analyse LR; Synthese alternativer Objekte u. Def. WB ⇒ PE
LA	Analyse WB; Aktualisierung OS u. Redefinition WB ⇒ AL
TA	Analyse WB u. ggf. Synthese v. Zielen neuer Aktivitäten ⇒ SA
E	Analyse WB u. Def. der Zielhärte; Redefinition LR ⇒ SA
U	Analyse LR; Synthese Objekt(e) u. Definition WB ⇒ PE
NL	Aktualisierung der Zielreife u. ggf. Def. von Mustern ⁸²⁸ ⇒ Projektierung

⁸²⁷ vgl. Meboldt et al. 2012

⁸²⁸ Erfahrungswissen kann in Form von Prozess- oder Produktmustern explizit im Objektsystem gespeichert werden (s. Deigendesch 2009).

9 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem abschließenden Kapitel werden die wesentlichen Teilprobleme, die mit der vorliegenden Dissertation gelöst wurden, zusammengefasst. Zudem werden in einem Ausblick Forschungsdesiderate benannt, für die im Rahmen dieser Arbeit eine konzeptionelle Basis geschaffen wurde. Diese liegt in Form eines fraktalen und durchgängigen Metamodells für die transsubjektive Modellierung der Produktentstehung vor. Darin wird eine Strukturierung der relevanten Aspekte der Produktentstehung als zentrales Merkmal und notwendige Voraussetzung für einen erfolgreichen Umgang mit der Komplexität der Produktentstehung vorgestellt. Durch ein generelles Vorgehensmodell wird ferner die Grundlage eines anwendungsorientierten Ansatzes für eine modellbasierte und reifegradbasierte Unterstützung der Produktentwicklung bereitgestellt.

Zielsetzung der Dissertation waren eine umfängliche Erforschung des pragmatischen Merkmals der Prozessmodellierung und von Mitteln, dieses werkzeugtechnisch umzusetzen. In der Zusammenfassung der Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt zunächst die spezifizierten Potentiale von Nutzen und Aufwand reflektiert. Nach einer Zusammenstellung der im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten Studien werden die Erkenntnisse aus diesen rückblickend in Form der Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung mit dem iPeM zusammengeführt. Eine Zusammenfassung des Konzepts der transsubjektiven Modellierung führt zu einem Fazit dieser Arbeit. Ein Ausblick auf Folgearbeiten schließt das Kapitel und die Dissertation.

9.1 Spezifikation von Nutzen und Aufwand

In Ergänzung zu zahlreichen Literaturarbeiten im derzeitigen Forschungsstand wurden in Kapitel 5 anhand von sechs deskriptiven Studien aus der Perspektive der Produktentwicklung folgende Kategorien von Nutzen und Aufwand ermittelt:

Nutzen kann sich aus einer geeigneten Form der Prozessmodellierung zunächst in Form eines verbesserten Verständnisses des Gesamtzusammenhangs der betrachteten Gegenstände ergeben. Dies umfasst produkt- und prozessrelevante Aspekte integrativ. Die mentale Antizipation eines gemeinsamen Kontextes stellt weiterhin die Basis für Nutzenpotentiale hinsichtlich erhöhter Sicherheit, gesteigerter Effektivität und Effizienz sowie einer nachhaltigeren Prozess- und Wissensarbeit in der Produktentstehung dar. Diese Potentiale können sich neben einem individuellen und organisationalen Lernzuwachs sowohl in der Planung, der Durchführung als auch in der Nachbereitung individueller Projekte erweisen.

Der Umfang, in dem der Nutzen erfolgsrelevant abgeschöpft werden kann, unterliegt einschränkenden Faktoren hinsichtlich des **Aufwands**, der mit einer Prozessmodellierung einhergeht. Dieser lässt sich gliedern in Teilaspekte der Informationsakquise, der Modellierung und der Modelladministration und schließlich in Aufwände, auf die modellierten Informationen wieder gezielt zuzugreifen.

9.2 Durchgeführte Studien

Für die Spezifikation von Nutzen und Aufwand sowie die Herleitung genereller Erfolgsfaktoren und -kriterien wurden folgende Projekte analysiert:

- die Entwicklung eines Geräts für die Freizeitindustrie;
- die problemorientierte Weiterentwicklung von Schleppstangen;
- die Erarbeitung neuer Lösungen für die Papieraufbereitung;
- die Weiterentwicklung einer Lenkung und eines Feder-Dämpfer-Systems;
- die kooperative Entwicklung eines Fahrzeugs für die Individualmobilität; sowie
- die Auslegung einer Traktionsbatterie für elektromotorisch betriebene Kfz.

Möglichkeiten einer Optimierung des Verhältnisses von Nutzen und Aufwand wurden mit verschiedenen Werkzeugen sukzessive in neun explorativen Studien ergründet:

- die Bestimmung des Anwendungsmodells eines Fahrzeugzulieferers;
- die Bestimmung des Referenzmodells eines Herstellers von Investitionsgütern;
- die Modellierung einer biotechnologischen Prozessentwicklung;
- die Entwicklung neuer Lösungen für die Blechbearbeitung;
- die Anpassung einer verfahrenstechnischen Anlage auf einen neuen Zielmarkt;
- das akademische Beispiel einer Repräsentation des iPeM als Ontologie;
- die Modellierung sieben paralleler studentischen Entwicklungsprojekte;
- die Entwicklung neuer Lösungen für mechanische Antriebskonzepte; und
- die Optimierung eines handgeführten Geräts.

9.3 Möglichkeiten und Grenzen der Prozessmodellierung

In den Studien erwies sich das Potential einer Modellierung auf Basis der Ansätze der „Karlsruher Schule“ für eine Unterstützung der Produktentstehung. In zwei Beispielen konnten auch Hinweise für die Übertragbarkeit des Modellierungsansatzes auf andere Branchen (hier: die Biotechnologie) festgestellt werden. Insbesondere durch das Metamodell des iPeM lässt sich zusammen mit der Produktmodellierung durch C&C²-A eine ganzheitliche Repräsentation relevanter Sachverhalte erreichen. Diese kann in der operativen Entwicklungsarbeit eine systematische Vorgehensweise und einen gezielten Methodeneinsatz unterstützen.

Seitens des Projektmanagements lassen sich sowohl eine situationsspezifische Planung, als auch Überwachung und Steuerung der Produktentstehung erzielen. Auf Basis eines erfolgreichen Umgangs mit der strukturellen Komplexität der Produktentstehung können damit die Möglichkeiten entsprechend der Spezifikation generellen Nutzens grundsätzlich ausgeschöpft werden.

Jedoch werden diese durch Aufwände relativiert, die mit der Prozessmodellierung einhergehen. So zeigen die Studien, dass eine durchgängige Betrachtung detaillierter und abstrakter Sachverhalte mit gegenwärtigen Modellierungswerkzeugen nicht zufriedenstellend umgesetzt werden kann. Hierbei kommt v.a. die dynamische Komplexität zum Tragen, was den Studien zufolge eine Modelladministration erheblich verkomplizieren kann. Infolge von Unzulänglichkeiten der entsprechenden Implementierungen hinsichtlich dieser Aspekte fand der gewählte Modellierungsansatz in einigen Studien nicht die notwendige Akzeptanz, die eine Einführung in der industriellen Praxis erfordern würde.

Auf Basis der Erkenntnisse bezüglich der in den Studien getesteten Werkzeuge werden große Chancen für eine serverbasierte Umsetzung der Prozessmodellierung prognostiziert. Diese ist in bestehende Prozesse einzubinden, um eine Unterstützung bereitstellen zu können. Ferner sind den Erkenntnissen aus den Studien zufolge auf Basis des zugrunde gelegten Metamodells semantische Technologien zu implementieren, die einen effizienten Informationszugriff möglich machen. MS SharePoint hat sich hierbei als aussichtsreich erwiesen.

9.4 Maßnahmen zur Eindämmung der begrenzenden Faktoren

Wenn ein modellbasierter Unterstützungsansatz in einem Unternehmen zudem projektübergreifend Verwendung findet, implizieren die Studien ein günstigeres Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. In diesem Fall sinkt der Modellierungsaufwand, da auf bestehende Modellstrukturen zurückgegriffen werden kann. Ferner sind Umsetzungen denkbar, in denen Teile der Modellerstellung automatisiert im Hintergrund erfolgen. PINNER schlägt hierfür schemakonforme „XML-Snippets“ vor.⁸²⁹ Diese könnten bei der Bearbeitung von Objekten automatisiert durch eine Erweiterung des verwendeten Softwareprogramms erzeugt und als Verweise in ein Modell integriert werden. Auch auf die Art und Reihenfolge ausgeführter Tätigkeiten könnten durch Auswertung der verwendeten Programme Rückschlüsse gezogen werden. Dies ermöglichte zumindest das teilautomatische Vervollständigen von ZHO-Tripeln, sowie die Generierung von Anwendungsmodellen, die ebenfalls automatisch mit einer ursprünglichen Planung verglichen werden könnten. Jedoch erwachsen aus

⁸²⁹ vgl. Pinner 2011 (betreute Abschlussarbeit), S. 82ff.

derartigen Überlegungen neue z.B. rechtliche Fragestellungen, die eine Akzeptanz auf persönlicher wie organisationaler Ebene mindern könnten. So kann gemäß § 4 Abs. 1 BDSG (Bundesdatenschutzgesetz) die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung personenbezogener Daten – neben der gesetzlichen Vorgabe – nur nach freiwilliger Zustimmung der Betroffenen erfolgen.

Auf der Ebene der operativen Unterstützung konnten in den Studien Verbesserungsvorschläge für den verwendeten Modellierungsansatz und dessen werkzeutechnische Umsetzung erarbeitet werden. Neben der Behebung technischer Einschränkungen wie z.B. dem Fehlen einer Möglichkeit der automatischen „Rückwärtsverlinkung“ von Relationen (s. Abschnitt 7.3.3) liegt insbesondere in einer Verbesserung der Visualisierungsmöglichkeiten ein großes Potential. SERF schlägt bspw. eine Erweiterung der schematischen iPeM-Darstellung, wie in Abbildung 35 gezeigt, vor. Darin ist eine detailliertere Veranschaulichung des Entwicklungsgeschehens insbesondere mit Blick auf Iterationsschleifen möglich.⁸³⁰

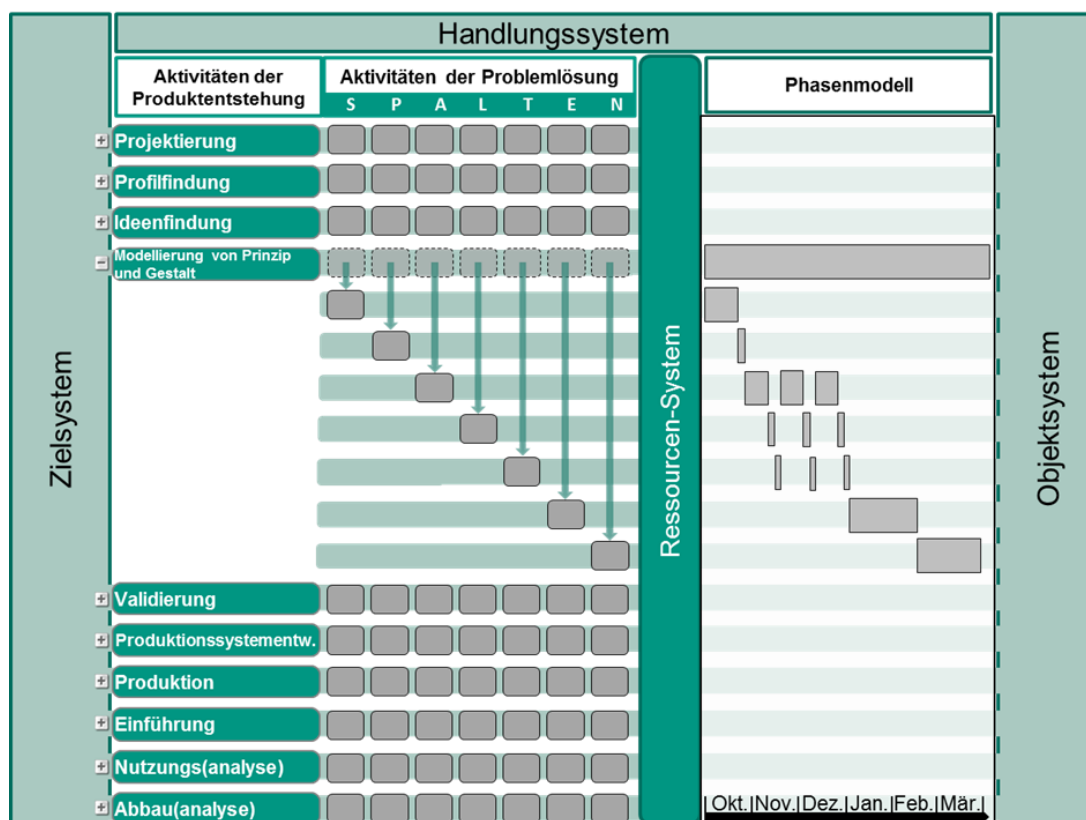


Abbildung 35: Erweiterte schematische Repräsentation des iPeM⁸³¹

Grundsätzlich gilt es, in zukünftigen Implementierungen das Potential verschiedener Darstellungsformen auszuschöpfen. LINDEMANN ET AL. machen deutlich, dass je nach

⁸³⁰ Serf 2013 (betreute Abschlussarbeit), S. 91f.

⁸³¹ ebda.

Modellierungszweck ein gerichteter Graph, eine Matrix, eine Baumstruktur oder eine einfache Liste geeigneter erscheinen mag.⁸³²

9.5 Transsubjektive Modellierung

Um eine anwendbare Modellierung unter den Aspekten der Ganzheitlichkeit, Durchgängigkeit und Menschzentrierung zu gewährleisten, wurde das Konzept der Transsubjektivität eingeführt. Es umfasst einen generalisierten Rahmen in Form eines fraktalen Metamodells. Darin können individuelle Modelle über die kognitiven und modelltechnisch bedingten Einschränkungen einer kooperativen Produktentstehung hinaus integriert werden. Hierbei wird durch die geringe Zahl der zu instanzierenden Metamodellelemente eine durchgängige Modellbildung ermöglicht. Insbesondere die formale Definition relevanter Schnittstellen ermöglicht eine explizite Referenzierung von partikulären Teilprozessen bzw. -modellen im übergreifenden Kontext der Produktentstehung.

Ferner wurde auf dieser Basis ein generelles Vorgehensmodell eingeführt. Es beschreibt das Entwicklungsgeschehen problem- und situationsunabhängig. Damit kann es in zukünftigen Arbeiten z.B. als Grundlage für die Entwicklung einer reifegradbasierten Unterstützung der Produktentstehung mit semantischen Workflowmanagementsystemen (vgl. Abschnitt 2.5.2.1) dienen. Darüber hinaus erklärt es als deskriptives Modell Ursachen verschiedener Formen von Iterationen in der Produktentstehung und kann somit der Analyse und Verbesserung von Prozessen in der Praxis oder aber auch zusammen mit dem fraktalen Metamodell in der Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren, Betriebswirtschaftlern oder weiteren Fachleuten dienen.

9.6 Fazit

In dieser Arbeit wurde die Produktentstehung als ein komplexes System betrachtet. Es wurden, ausgehend vom Stand der Forschung, Hintergründe und Wege einer Modellierung derselben erörtert und in eigenen Studien erforscht. Hierbei erwies sich das Potential der Ansätze der „Karlsruher Schule“ für eine modellbasierte Unterstützung der Produktentstehung. Auf Basis der Erkenntnisse aus den durchgeführten Studien wurden diese konzeptionell weiterentwickelt und für weiterführende Forschungsarbeiten in Form eines fraktalen Metamodells und generellen Vorgehensmodells zusammengeführt.

Als Fazit ist in Entsprechung zu den in Kapitel 3 formulierten Forschungsfragen und -hypothesen festzuhalten, dass die Prozessmodellierung mit dem iPeM

⁸³² vgl. Lindemann et al., S. 18

ganzheitlich erfolgen kann. Durch das Konzept der transsubjektiven Modellierung kann sie ferner auch durchgängig und anthropozentrisch ausgestaltet werden. Dieser strukturelle Rahmen für die explizite Verknüpfung von Informationen im Kontext spezifischer Problemstellungen der Produktentstehung stellt eine Ausgangsbasis für Folgearbeiten dar, die abschließend in einem Ausblick zusammengestellt werden.

9.7 Ausblick

Das fraktale Metamodell liegt in Abschnitt 8.2.2 in Form der rechnerlesbaren UML vor. Die Ergebnisse dieser Dissertation legen nahe, zukünftig auf dieser Basis eine professionelle Implementierung eines Modellierungswerkzeugs für die Produktentstehung zu verfolgen. Hierfür bieten sich anwendungsorientierte Förderprogramme des BMBF oder BMWi an.⁸³³ Darin könnte zusammen mit Entwicklungspartnern aus dem Bereich der Softwaretechnik und Validierungspartnern besonders aus kleinen und mittelständischen Unternehmen die Entwicklung eines industrietauglichen Werkzeugs vorangetrieben werden. Insbesondere die Einbindung dessen in bestehende Prozesse und Infrastruktur (z.B. PDM/PLM-Systeme) stellt eine große Herausforderung dar. Wenn notwendige Maßnahmen zur Eindämmung der identifizierten einschränkenden Faktoren jedoch umgesetzt werden könnten, stünde zukünftigen Implementierungen für die Praxis sowie für weiterführende Forschungsarbeiten zahlreiche Möglichkeiten offen.

So erlaubte dieses Werkzeug größer angelegte Studien, in denen die im Rahmen dieser Arbeit nicht repräsentativ nachgewiesenen Potentiale der Prozessmodellierung validiert werden könnten. Ein negativer Einfluss auf die Bewertung durch die Operationalisierung des Modellierungsansatzes könnte durch ein professionelles Werkzeug in solchen Studien minimiert werden. Des Weiteren kann in grundlagenorientierten Vorhaben mit Hilfe des Werkzeugs eine Erforschung soziologischer oder psychologischer Aspekte der Produktentstehung erfolgen. So können durch in geeigneter Art und Weise angelegte Studien das Verhalten individueller Entwickler bis hin zu Auswirkungen der Variation bestimmter Parameter auf einen Gesamtprozess ergründet werden. Insbesondere die disziplinübergreifende Erforschung akzeptanzhemmender Faktoren stellt dem Stand der Forschung und der faktisch geringen Praxisdurchdringung zahlreicher Entwicklungsmethoden zufolge ein wirtschaftlich relevantes Forschungsfeld dar.⁸³⁴

⁸³³ BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

⁸³⁴ vgl. Badke-Schaub et al. 2011

Letztlich stellt im Sinne des Eingangszitats jedoch das im Rahmen dieser Dissertation inkrementell erweiterte Verständnis von den Elementen und Zusammenhängen im System der Produktentstehung den relevantesten Beitrag dieser wie auch aller vorangegangenen Arbeiten zur Prozessmodellierung für die Aus- und Weiterbildung des akademischen und industriellen Nachwuchses dar⁸³⁵ – „an investment in knowledge pays the best interest.“

⁸³⁵ vgl. Albers et al 2012b, u.a. S. 7: „[Es] besteht [...] die Notwendigkeit an neuen Aus- und Weiterbildungskonzepten [...] für Konstrukteure.“

10 Literaturverzeichnis

Abele und Reinhart 2011

Abele, G.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion – Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. Hanser, München, 2011.

Abell und Hammond 1979

Abell, D. F.; Hammond, J. S.: Strategic Market Planning, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1979.

Ahmed und Storga 2009

Ahmed, S.; Štorga, M.: Merged ontology for engineering design: Contrasting empirical and theoretical approaches to develop engineering ontologies. In: Brown, D. C. (Ed.): Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing AIEDAM, Bd. 23 (2009), Nr. 4, S. 391-407.

Ahmed et al. 2003

Ahmed, S.; Wallace, K. M.; Blessing, L. T. M.: Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks. In: Research in Engineering Design, Bd. 14 (2003), Nr. 1, S. 1-11.

Aigner 1982

Aigner, J.: Zur zuverlässigen Beurteilung von Fahrzeugen. In: Automobiltechnische Zeitschrift, Bd. 84 (1982), Nr. 9, S. 447-450.

Albers 2013

Albers, A.: The Future of micro Manufacturing and Design – The unsolved Challenge of Interdependency (Keynote). The Micronarc Alpine Meeting 2013, Villars-sur-Ollon, 2013.

Albers et al. 2013

Albers, A.; Braun, A.; Ebel, B.: Activity-Based Modeling and Analysis of Product Engineering Processes. In: Abramovici, M.; Stark, R. (Ed.), Smart Product Engineering: Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference, Bochum, 2013.

Albers und Sadowski 2013

Albers, A.; Sadowski, E.: The Contact and Channel Approach (C&C²-A): relating a system's physical structure to its functionality. In: Blessing, L. T. M.; Chakrabarti, A. (Hrsg.): International Workshop on Models and Theories of Design, Springer, London, 2013.

Albers und Zingel 2013

Albers, A.; Zingel, C.: Challenges of Model-Based Systems Engineering: a study towards unified term understanding and the state of usage of SysML. In: Abramovici, M.; Stark, R. (Ed.), Smart Product Engineering: Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference, Bochum, 2013.

Albers und Braun 2012

Albers, A.; Braun, A.: Towards Handling Complexity - Testing the iPeM Process Modeling Approach. In: Horváth, I.; Albers, A.; Behrendt, M.; Rusák, Z. (Hrsg.): Proceedings of the ninth international symposium on tools and methods of competitive engineering - TMCE 2012, Karlsruhe, 2012.

Albers und Lohmeyer 2012

Albers, A.; Lohmeyer, Q.: Advanced Systems Engineering – Towards a Model-Based and Human-Centered Methodology. In: Horváth, I.; Albers, A.; Behrendt, M.; Rusák, Z. (Hrsg.): Proceedings of the ninth international symposium on tools and methods of competitive engineering - TMCE 2012, Karlsruhe, 2012.

Albers und Marxen 2012

Albers, A.; Marxen, L.: Supporting Validation in the Development of Design Methods. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2012. 12th International Design Conference, Dubrovnik, 2012.

Albers et al. 2012a

Albers, A.; Lohmeyer, Q.; Ebel, B.: Systems of Objectives in Complex Product Development. In: Horváth, I.; Albers, A.; Behrendt, M.; Rusák, Z. (Hrsg.): Proceedings of the ninth international symposium on tools and methods of competitive engineering - TMCE 2012, Karlsruhe, 2012.

Albers et al 2012b

Albers, A.; Denkena, B.; Matthiesen, S.: Faszination Konstruktion – Berufsbild und Tätigkeitsfeld im Wandel. Studie im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Springer, Heidelberg, 2012

Albers et al. 2012c

Albers, A.; Braun, A.; Ebel, B.: Aktivitätenbasierte Analyse von Produktentstehungsprozessen. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineerings 2012, Carl Hanser Verlag, München, 2012, S. 415-424.

Albers et al. 2012d

Albers, A.; Braun, A.; Schmalenbach, H.: An Ontology-Model of the Integrated Product Engineering Model. In: Proceedings of 14th International Dependency and Structure Modelling Conference (DSM'12), Kyoto, 2012.

Albers et al. 2012e

Albers, A.; Turki, T.; Schmalenbach, H.: Improving Access to micro-specific Knowledge with Ontologies. In: Horváth, I.; Albers, A.; Behrendt, M.; Rusák, Z. (Hrsg.): Proceedings of the ninth international symposium on tools and methods of competitive engineering - TMCE 2012, Karlsruhe, 2012.

Albers et al. 2012f

Albers, A.; Zingel, C.; Behrendt, M.: Advanced Systems Engineering – Forschung an einer innovativen Produktentwicklungssystematik. In: Konstruktion, Ausg. 11/12 (2012), Springer VDI Verlag, Düsseldorf, 2012.

Albers und Braun 2011

Albers, A.; Braun, A.: A Generalized Framework to Comprehend and to Support Complex Product Engineering Processes. In: International Journal of Product Development, Bd. 15 (2011), Nr. 1/2/3, S. 6-25.

Albers und Zingel 2011

Albers, A.; Zingel, C.: Interdisciplinary Systems Modeling Using the Contact & Channel-model for SysML. In: Culley, S.; Hicks, B.; McAlloone, T.; Howard, T.; Clarkson, P. J. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED'11, Bd. 1, Kopenhagen, 2011, S. 196-207.

Albers et al. 2011a

Albers, A.; Braun, A.; Sadowski, E.; Wynn, D. C.; Wyatt, D. F.; Clarkson, P. J.: System Architecture Modeling in a Software Tool Based on the Contact and Channel Approach (C&C-A). In: Journal of Mechanical Design, Bd.133, 2011.

Albers et al. 2011b

Albers A.; Sadowski, E.; Marxen, L.: A new Perspective on Product Engineering Overcoming Sequential Process Models. In: Birkhofer H. (Hrsg.): The Future of Design Methodology. Springer, London, 2011.

Albers et al. 2011c

Albers, A.; Brezger, F.; Geier, M.; Freudenmann, T.; Stier, C.: Phenomena-Based Methods in Powertrain Validation. 10. Internationales CTi Symposium: Innovative Automotive Transmissions and Hybrid & Electric Drives, Berlin, 2011.

Albers et al. 2011d

Albers, A.; Lohmeyer, Q.; Ebel, B.: Dimensions of Objectives in Interdisciplinary Product Development Projects. In: Culley, S.; Hicks, B.; McAlloone, T.; Howard, T.; Clarkson, P. J. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED'11, Bd. 2, Kopenhagen, S. 256-265.

Albers et al. 2011e

Albers, A.; Börsting, P.; Turki, T.: Elicitation of a Reference Process Model for Tool-Based Micro Technologies for Planning & Controlling Purposes and User Support. In: Zum Gahr, K.-H.; Michel, B. (Eds.): Journal of Microsystem Technologies, Bd. 17 (2011), Nr. 2, S. 319–324.

Albers 2010

Albers, A.: Five Hypotheses and a Meta Model of Engineering Design Processes. In: Horváth, I.; Mandorli, F.; Rusák, Z. (Hrsg.): 8th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering – TMCE 2010, Ancona, 2010, S. 343–355.

Albers und Braun 2010

Albers, A.; Braun, A.: Function-based Contact and Channel Modelling in the Development of an Innovative Car. In: Proceedings of 12th international Dependency and Structure Modelling Conference, DSM'10, Cambridge.

Albers und Muschik 2010a

Albers, A.; Muschik, S.: The role and application of activities in the integrated product engineering model (iPeM). In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik, 2010.

Albers und Muschik 2010b

Albers, A.; Muschik, S.: Development of Systems of Objectives in Early Activities of Product Development. In: Horváth, I.; Mandorli, F.; Rusák, Z. (Hrsg.): 8th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering – TMCE 2010, Ancona, 2010.

Albers et al. 2010a

Albers, A.; Braun, A.; Muschik, S.: Uniqueness and the Multiple Fractal Character of Product Engineering Processes. In: Heisig, P.; Clarkson, P. J.; Vajna, S. (Hrsg.): Modelling and Management of Engineering Processes, Springer, London, S. 14-26.

Albers et al. 2010b

Albers, A.; Braun, A.; Muschik, S.: Ein Beitrag zum Verständnis des Aktivitätsbegriffs im System der Produktentstehung. In: Tag des Systems Engineerings 2010, Gesellschaft für Systems Engineering e.V. (Hrsg.), Carl Hanser Verlag, München, 2010.

Albers et al. 2010c

Albers, A.; Deigendesch, T.; Turki, T.; Müller, T.: Patterns for Design in Microtechnology. In: Microsystem Technologies, Bd. 16, Nr. 8-9, Springer, London, 2010.

Albers et al. 2009

Albers, A.; Braun, A.; Clarkson, P. J.; Enkler, H-G.; Wynn, D. C.: Contact and Channel Modelling to support early Design of Technical Systems. In: Norell Bergendahl, M.; Grimheden, M.; Leifer, L.; Skogstad, P.; Lindemann, U. (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED'09, Stanford, 2009.

Albers et al. 2008a

Albers, A.; Burkardt, N.; Deigendesch, T.; Meboldt, M.: Enabling Key Competencies by Educational Project Work Exemplified by Teamwork and Cooperation. In: International Conference on Engineering and Product Design Education, EPDE'08, Barcelona, 2008.

Albers et al. 2008b

Albers, A.; Matthiesen, S.; Thau, S.; Alink, T.: Support Of Design Engineering Activity Through C&CM - Temporal Decomposition Of Design Problems. In: Horváth, I.; Rusák, Z. (Hrsg.): Proceedings of the TMCE 2008. Izmir, 2008.

Albers und Meboldt 2007

Albers, A.; Meboldt, M.: IPEMM – Integrated Product Development Process Management Model, based on Systems Engineering And Systematic Problem Solving. In: Bocquet, J.-C. (Ed.): Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design ICED'07, Paris, 2007.

Albers und Meboldt 2006

Albers, A.; Meboldt, M.: A new approach in product development, based on Systems Engineering and systematic problem solving, AEDS Workshop, Pilsen, 2006.

Albers et al. 2005

Albers, A.; Burkardt, N.; Meboldt, M.; Saak, M.: SPALTEN Problem Solving Methodology in the Product Development. In: Samuel, A. (Hrsg.); Lewis, W. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design – ICED'05, 2005.

Albers 1994

Albers, A.: Simultaneous Engineering, Projektmanagement und Konstruktionsmethodik - Werkzeuge zur Effizienzsteigerung. VDI-Berichte Nr. 1120, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994.

Alexander et al. 1977

Alexander, C.; Ishikawa, S.; Silverstein, M.; Jacobson, M.; Fiksdahlking, I.; Angel, S.: A Pattern Language – Towns, Buildings, Construction. Oxford University Press, Oxford, 1977.

Alink 2010

Alink, T. Bedeutung, Darstellung und Formulierung von Funktion für das Lösen von Gestaltungsproblemen mit dem C&C-Ansatz. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 48, Karlsruhe, 2010. Zugl. Diss. Karlsruher Institut für Technologie, 2010.

Alt 2012

Alt, O.: Modellbasierte Systementwicklung mit SysML. Carl Hanser Verlag, München, 2012.

Altshuller 1986

Altshuller, G. S.: The history of ARIZ development. In: Journal of TRIZ, Jg. 3 (1986).

Altshuller 1984

Altshuller, G. S.: Creativity as an Exact Science. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1984.

Allweyer 2005

Allweyer, T.: Geschäftsprozessmanagement - Strategie, Entwurf, Implementierung, Controlling. W3L, Bochum, 2005.

Antonsson und Cagan 2001

Antonsson, E. K.; Cagan, J. (Eds.): Formal Engineering Design Synthesis. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.

Amigo et al. 2013

Amigo, C. R.; Iritani, D. R.; Rozenfeld, H.; Ometto, A.: Product Development Process Modeling: State of the Art and Classification. In: Abramovici, M.; Stark, R. (Ed.), Smart Product Engineering: Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference, Bochum, 2013.

Anacker et al. 2011

Anacker, H.; Dorociak, R.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.: Integrated tool-based approach for the conceptual design of advanced mechatronic systems. In: 2011 IEEE International Systems Conference (SysCon), Montreal, S. 506-511.

Anderson et al. 2001

Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.; Bloom, B. S.: A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman, New York, 2001.

ANSI 2003

American National Standards Institute (ANSI): ANSI/EIA-632-1999 Processes for Engineering a System. New York, 2003.

Arpinen et al. 2011

Arpinen, T.; Salminen, E.; Hämäläinen, T. D.; Hännikäinen, M.: MARTE Profile Extension for Modeling Dynamic Power Management of Embedded Systems. In: Cancila, D.; Espinoza, H.; Paige, R. F. (Eds.): Journal of Systems Architecture, Bd. 58, Nr. 5, Elsevier, Oxford, 2011, S. 209-219.

Auriol et al. 2008

Auriol, G.; Baron, C.; Fourniols, J.-Y. Teaching requirements skills within the context of a physical engineering project. In: Requirements Engineering Education and Training, 2008. IEEE, 2008, S. 6-11.

Austin et al. 2000

Austin, S.; Baldwin, A.; Li, B.; Waskett, P.: Analytical design planning technique (ADePT): a dependency structure matrix tool to schedule the building design process. In: Construction Management and Economics, Bd. 18 (2000), Nr. 2, S. 173-172.

Badke-Schaub et al. 2011

Badke-Schaub, P.; Daalhuizen, J.; Roozenburg, N.: Towards a Designer-Centred Methodology. In: Birkhofer, H. (Ed.): The Future of Design Methodology. Springer, London, 2011.

Badke-Schaub und Frankenberger 2003

Badke-Schaub, P.; Frankenberger, E.: Management kritischer Situationen: Produktentwicklung erfolgreich gestalten. 1. Aufl., Springer, Berlin, 2003.

Baldwin und Clark 2000

Baldwin, C. Y.; Clark, K. B.: Design Rules - The Power of Modularity. Vol. 1, MIT Press, Cambridge, 2000.

Baumann et al. 2011

Baumann, R.; Dörr, N.; Landgraf, K.; Langenberg, D.: Integration von Innovationsmanagement in den Produktlebenszyklus. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Ausg. 6, Hanser, München, 2011.

Baumberger 2007

Baumberger, G. C.: Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten. Dr. Hut Verlag, München, 2007. Zugl. Diss. TU München, 2007.

Bechky 2003

Bechky, B. A.: Sharing Meaning Across Occupational Communities: The Transformation of Understanding on a Production Floor. In: *Organization Science*, Bd. 14 (2003), Nr. 3, S. 312-330.

Behm et al. 2009

Behm, S.-M.; Pitzer, J.-P.; White, J.; Jaques, D.-R.; Malas, J.-R.: Tailorable Systems Engineering Framework for Science and Technology Projects. In: *Proceedings of the 7th CSER Conference*, Loughborough, 2009.

Beitz und Kuttig 1992

Beitz, W.; Kuttig, D.: Rechnerunterstützung beim Konzipieren. VDI-Berichte Nr. 953, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992.

Beitz 1970

Beitz, W.: Systemtechnik in der Konstruktion. In: *DIN-Mitteilungen*, Nr. 49 (1970), S. 295-302.

Bellalouna 2009

Bellalouna, F.: Integrationsplattform für eine interdisziplinäre Entwicklung mechatronischer Produkte. Shaker, Aachen, 2009. Zugl. Diss. Ruhr-Universität Bochum, 2009.

Beneke 2004

Beneke, F.: Produktentwicklung. Arbeiten in und mit verschiedenen Disziplinen - wozu? In: Brand, F.; Schaller, F.; Völker, H. (Hrsg.): *Transdisziplinarität. Bestandsaufnahme und Perspektiven. Beiträge zur THESIS-Arbeitstagung im Oktober 2003 in Göttingen*. Universitätsverlag, Göttingen, 2004.

Bennington 1956

Bennington, H. D.: Production of Large Computer Programs. (urspr. Präsentation anl. d. Symposium on Advanced Programming Methods for Digital Computers im Juni 1956) In: *IEEE Annals of the History of Computing*, Bd. 5 (1983), Nr. 4, S. 350-361.

Biedermann et al. 2010

Biedermann, W.; Diepold, K. J.; Lindemann, U.: Modellabstufungen zur Betrachtung struktureller und dynamischer Komplexität. In: *Tag des Systems Engineerings 2010*, Gesellschaft für Systems Engineering e.V. (Hrsg.), Carl Hanser Verlag, München, 2010.

Binz et al. 2011

Binz, H.; Kratzer, M.; Messerle, M.; Roth, D.: Effektivitäts- und Effizienzsteigerung in der Produktentwicklung – eine Herausforderung für Konstruktionsmethoden und Wissensmanagement. In: *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung*. 23./24. November 2011, Stuttgart, 2011.

Birkhofer 2004

Birkhofer, H.: There is nothing as practical as a good Theory – An Attempt to deal with the Gap between Design Research and Design Practice. In: Marjanovic, D. (Hrsg.) *Proceedings of the International Design Conference – DESIGN 2004*, Dubrovnik, 2004.

Birkhofer et al. 2001

Birkhofer, H.; Lindemann, U.; Albers, A.; Meier, M.: Product Development as a Structured and Interactive Network of Knowledge – a Revolutionary Approach. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C. (Eds.): *Proceedings of 13th International Conference on Engineering Design*, The Design Society, Glasgow, 2001, S. 21-23.

Bisson et al. 2010

Bisson, P.; Stephenson, E.; Viguerie, S. P.: The productivity imperative. In: *McKinsey Quarterly*, Juni 2010, McKinsey & Company, URL: http://www.mckinseyquarterly.com/Strategy/Growth/The_productivity_imperative_2630 (abgerufen am 02.04.2013).

Blanchard 2004

Blanchard, B. S.: *Systems Engineering Management*. 3. Ausg. John Wiley & Sons, Hoboken, 2004.

Blanchard und Fabrycky 1981

Blanchard, B. B.; Fabrycky, W.: *Systems Engineering and Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 1981.

Blinne und Seubold 2013

Blinne J.; Seubold, G.: Stichwort: Transsubjektivität. In: v. Wulff D. Rehfus (Hrsg.), *Handwörterbuch Philosophie*, 1. Aufl., Vandenhoeck & Ruprecht / UTB, Göttingen, 2003.

Blessing und Chakrabarti 2009

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

Blessing 1994

Blessing, L. T. M.: A Process-Based Approach to Computer-Supported Engineering Design. Black Bear Press, Cambridge 1994. Zugl. Diss. University of Cambridge, 1994.

BMBF 2008

Bundesministerium für Bildung und Forschung: Konzeption der Bundesregierung zum Lernen im Lebenslauf. Bonn, 2008.

Boddenberg 2012

Boddenberg, U. B.: Microsoft SharePoint 2010: Publishing, Customizing & Design. Galileo Computing, Bonn, 2012.

Bortz und Döring 2006

Bortz, J.; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2006.

Bourgeon 2007

Bourgeon, L.: Staffing approach and conditions for collective learning in project teams: The case of new product development projects, In: Alderman, N.; Andersen, E. S.; Winch, G. M. (Eds.): International Journal of Project Management, Bd. 25 (2007), Nr. 4, S. 413–422.

Brace und Ekman 2012

Brace, W.; Ekman, K.: CORAMOD: a checklist-oriented model-based requirements analysis approach. In: Requirements Engineering, Springer, London, 2012.

Bracewell und Sharpe 1996

Bracewell, R. H.; Sharpe, J. E. E.: Functional Descriptions Used in Computer Support for Qualitative Scheme Generation – “Schemebuilder”. In: Artificial Intelligence for Engineering, Design, Analysis and Manufacturing, Bd. 10 (1996), Nr. 4, S. 333–346.

Brady et al. 1997

Brady, T.; Rush, H.; Hobday, M.; Davies, A.; Probert, D.; Banerjee, S.: Tools for technology management: an academic perspective. In: Technovation, Bd. 17 (1997), Nr. 8, S. 417–26.

Brandish et al. 1996

Brandish, M.; Hague, M.; Taleb-Bendiab, A.: M-LAP: A machine learning apprentice agent for computer supported design. Artificial Intelligence in Design, Workshop Notes on Machine Learning in Design, 1996.

Braun und Lindemann 2003

Braun, T.; Lindemann, U.: Supporting the Selection, Adaption and Application of methods in Product Development. In Folkesson, A.; Gralén, K.; Norell, M.; Sellgren, U. (Eds): Proceedings of the 14th international Conference on Engineering Design, The Design Society, Stockholm, 2003.

Brice 2010

Brice, A.: Lessons learned from 13 failed software products. In: successfulsoftware.net (Hrsg.), 2010, URL: <http://successfulsoftware.net/2010/05/27/learning-lessons-from-13-failed-software-products/> (abgerufen am 24.05.2013).

Brill 1998

Brill, J.: SYSTEMS ENGINEERING – A Retrospective View. In: Systems Engineering, Bd. 1, John Wiley & Sons, Hoboken, 1998.

Bröhle und Dröschl 1993

Bröhle, A.-P.; Dröschl, W.: Das V-Modell – Der Standard für die Softwareentwicklung mit Praxisleitfaden. Oldenbourg, München, 1993.

Browning 2010

Browning, T. R.: On the alignment of the purposes and views of process models in project management. In: Boyer, K. K.; Swink, M. L.; Handfield, R. B. (Eds.): Journal of Operations Management, Bd. 28 (2010), Nr. 4, S. 316–332.

Browning und Ramasesh 2007

Browning, T. R.; Ramasesh, R. V.: A Survey of Activity Network-Based Process Models for Managing Product Development Projects. In: Production and Operations Management, Bd. 16 (2007), Nr. 2, S. 217–240.

Browning et al. 2006

Browning, T. R.; Fricke, E.; Negele, H.: Key Concepts in Modeling Product Development Processes. In: Systems Engineering, Bd. 9 (2006), Nr. 2, S. 104–128.

Browning 2009

Browning, T. R.: The many views of a process: Towards a process architecture framework for product development processes. In: *Systems Engineering*, Bd. 12 (2009), Nr. 1, S. 69-90.

Browning und Eppinger 2002

Browning, T. R.; Eppinger, S. D.: Modeling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development. In: Kocaoglu, D. F. (Ed.): *IEEE Transactions on Engineering Management*, Bd. 49, Nr. 4, Wiley-IEEE Press, West Sussex, 2002, S. 428 - 442.

Bruegge und Dutoit 2000

Bruegge, B.; Dutoit, A. H.: *Object-Oriented Software Engineering, Conquering Complex and Changing Systems*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 2000.

Bruns 1991

Bruns, M.: *Systemtechnik: Ingenieurwissenschaftliche Methodik zur interdisziplinären Systementwicklung*. Springer, Berlin, 1991.

Bucciarelli 1996

Bucciarelli, L. L.: *Designing Engineers*. MIT Press, London 1996.

Bucciarelli 2002

Bucciarelli, L. L.: Between thought and object in Engineering Design. In: Galle, P. (Ed.): *Design Studies*, Bd. 23 (2002), Nr. 3, S. 219–231.

Burghardt 2008

Burghardt, M.: *Projektmanagement - Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Projekten*. 8. Aufl. Publics Corporate Publishing, Erlangen, 2008.

Burmester et al. 2005

Burmester, S.; Giese, H.; Tichy, M.: Model-driven development of reconfigurable mechatronic systems with mechatronic UML. In: *Model Driven Architecture*. Springer, Berlin, 2005, S. 47-61.

Carrillo des Gea et al. 2011

Carrillo des Gea, J.; Nicolás, J.; Fernández Alemán, J.; Toval, A.; Ebert, C.; Vizcaíno, A.: Requirements Engineering Tools. In: *IEEE Software*, Bd. 28, Nr. 4, 2011.

Chakrabarti 2002

Chakrabarti, A.: *Engineering Design Synthesis: Understanding, Approaches and Tools*. Springer, London, 2002.

Chakrabati et al. 2002

Chakrabarti, A.; Langdon, P.; Liu Y.-C. ; Bligh, P.: An approach to compositional synthesis of mechanical design concepts using computers. In: Chakrabarti, A. (Ed.): *Engineering Design Synthesis, Understanding, Approaches and Tools*. Springer, London, 2002.

Chakrabari und Bligh 1996

Chakrabarti, A.; Bligh, T. P.: An Approach to Functional Synthesis of Mechanical Design Concepts: Theory, Applications, and Emerging Research Issues. In: *Artificial Intelligence for Engineering, Design, Analysis and Manufacturing*, Bd. 10 (1996), Nr. 4, S. 313–331.

Chalupnik et al. 2009

Chalupnik, M. J.; Wynn, D. C.; Clarkson, P. J.: Approaches to Mitigate the Impact of Uncertainty in Development Processes. In: Norell Bergendahl, M.; Grimheden, M.; Leifer, L.; Skogstad, P.; Lindemann, U. (Hrsg.): *Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED'09*, Bd.1, Stanford, 2009, S. 459-470.

Chandrasekaran et al. 1993

Chandrasekaran, B.; Goel, A.-K.; Iwasaki, Y.: Functional Representation as Design Rationale, *IEEE Computer*, Bd. 26, Nr. 1, 1993, S. 48-56.

Chiesa und Chiaroni 2005

Chiesa, V.; Chiaroni, D.: *Clusters in Biotechnology: Driving Forces, Development Process and Management Practices*. Imperial College Press, London, 2005.

Cho und Eppinger 2005

Cho, S.-H.; Eppinger, S. D.: A Simulation-Based Process Model for Managing Complex Design Projects. In: Farris, G. F. (Ed.): *IEEE Transactions on Engineering Management*, Bd. 52, Nr. 3, Wiley-IEEE Press, West Sussex, 2005, S. 316 - 328.

Chrissis et al. 2009

Chrissis, M. B.; Konrad, M.; Shrum, S.: CMMI. Richtlinien für Prozess-Integration und Produkt-Verbesserung. 1. Aufl., Addison-Wesley, München, 2009.

Christiansen 2009

Christiansen, S.-K.: Methode zur Klassifikation und Entwicklung reifegradbasierter Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle. Diss. Universität Paderborn, 2009.

Clar et al. 1997

Clar, G.; Doré, J.; Mohr, H. (Hrsg.): Humankapital und Wissen - Grundlagen einer nachhaltigen Entwicklung. Springer, Heidelberg, 1997.

Clark und Fujimoto 1992

Clark, K.; Fujimoto, T.: Automobilentwicklung mit System: Strategie, Organisation und Management in Europa, Japan und USA. Campus-Verlag, Frankfurt a. M., 1992.

Clarkson und Eckert 2005

Clarkson, P. J.; Eckert, C. M. (Hrsg.): Design Process Improvement: A review of current practice. Springer, London, 2005.

Clarkson et al. 2001

Clarkson, P. J.; Simons, C.; Eckert, C. M.: Predicting Change Propagation in Complex Design. In: Proceedings of DETC'01 ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Pittsburgh, 2001.

Clarkson und Hamilton 2000

Clarkson, P. J.; Hamilton, J. R.: 'Signposting', a parameter-driven task-based model of the design process. In: Wallace, K. (Ed.): Research in Engineering Design, Bd. 12 (2000), Nr. 1, S. 18-38.

Clases und Wehner 2002

Clases, C.; Wehner, T.: Steps Across the Border – Cooperation, Knowledge Production and Systems Design. In: Computer Supported Cooperative Work, Bd. (2002), Nr. 1-2, Springer, London, S. 39-54.

CMMI 2013a

CMMI Institute: Internetauftritt. URL: <http://cmmiinstitute.com/> (abgerufen am 08.05.2013).

CMMI 2013b

CMMI Institute: Internetauftritt. URL: <https://sas.cmmiinstitute.com/pars/pars.aspx> (abgerufen am 09.05.2013).

Cooper 1994

Cooper, R. G.: Perspective third-generation new product processes. In: Journal of Product Innovation Management, Bd. 11 (1994), Nr. 1, S. 3–14.

Coyle 1996

Coyle, R. G.: System Dynamics Modelling - A Practical Approach. Chapman & Hall, London, 1996.

Crisp 2007

Crisp, H. E.: Systems Engineering Vision 2020. INCOSE-TP-2004-004-02, International Council on Systems Engineering, Version 2.03, 2007.

Cross 2008

Cross, N.: Engineering Design Methods - Strategies for Product Design. 4. Aufl., John Wiley & Sons, Hoboken, 2008.

Cuenot et al. 2011

Cuenot, P.; Frey, P.; Johansson, R.; Lönn, H.; Papadopoulos, Y.; Reiser, M.-O.; Sandberg, A.; Servat, D.; Kolagari, R. T.; Törngren, M.; Weber, M.: The EAST-ADL Architecture Description Language for Automotive Embedded Software. In: Giese, H.; Karsai, G.; Lee, E.; Rumpe, B.; Schätz, B. (Eds.): Model-Based Engineering of Embedded Real-Time Systems, Lecture Notes in Computer Science, Bd. 6100, Springer, Berlin, 2011, S. 297-307.

Daenzer und Huber 1976

Daenzer, W. F.; Huber, F.: Systems Engineering – Methodik und Praxis. Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1976.

Damerau et al. 2011

Damerau, T.; Kaufmann, U.; Knothe, T.; Stark, R.; Ulbrich, A.: Das Verbundprojekt ISYPROM - Modellbasierte Prozess- und Systemgestaltung für die Innovationsbeschleunigung. ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Ausg. 6 (2011), Carl Hanser Verlag, München, S. 449-453.

Danilovic und Browning 2004

Danilovic, M.; Browning, T. R.: A Formal Approach for Domain Mapping Matrices (DMM) to Complement Design Structure Matrices (DSM). In: Proceedings of the 6th Design Structure Matrix (DSM) International Workshop, University of Cambridge, Engineering Design Centre, Cambridge, 2004.

Danilovic und Sandkull 2005

Danilovic, M.; Sandkull, B.: The Use of Dependence Structure Matrix and Domain Mapping Matrix in Managing Uncertainty in Multiple Project Situations. In: Turner, J. R. (Ed.): International Journal of Project Management, Bd. 23, Nr. 3, Elsevier, 2005, S. 193-203.

Danilovic und Sandkull 2002

Danilovic, M.; Sandkull, B. (2002): Managing Complexity and Uncertainty in a Multiproject Environment. In: Proceedings of the 5th International Conference of the International Research Network on Organizing by Projects, Erasmus University, Rotterdam, 2002.

Davenport 1993

Davenport, T. H.: Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology. Harvard Business Press, Boston, 1993.

de Bono 1990

de Bono, E.: Six Thinking Hats. Penguin Books, London, 1990.

Deigendesch 2009

Deigendesch, T.: Kreativität in der Produktentwicklung und Muster als methodisches Hilfsmittel. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 41, Karlsruhe, 2009. Zugl. Diss TU Karlsruhe, 2009.

de Man 1995

de Man, R.: Erfassung von Stoffströmen aus Naturwissenschaftlicher und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht. Akteure, Entscheidungen und Informationen im Stoffstrommanagement. In: Studien im Auftrag der Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.) Bd. 2, Economica-Verlag, Bonn, 1995.

de Meyer et al. 2002

de Meyer, A.; Loch, C. H.; Pich, M. T.: Managing project uncertainty: from variation to chaos, MIT Sloan Management Review, Bd. 43 (2002), Nr. 2, S. 60–67.

de Weck et al. 2007

de Weck, O.; Eckert, C. M.; Clarkson P. J.: A Classification of Uncertainty for Early Product and System Design. In: Bocquet, J.-C. (Ed.): Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design ICED'07, Paris, 2007.

Di Battista et al. 1999

Di Battista, G.; Eades, P.; Tamassia, R.; Tollis, I. G.: Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999.

Diepold et al. 2010

Diepold, K. J.; Biedermann, W.; Eben, K. G. M.; Kortler, S.; Lohmann, B.; Lindemann, U.: Combining Structural Complexity Management and Hybrid Dynamical System Modelling. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik, 2010.

DIN 2009

Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 69901-5: Projektmanagement – Projektmanagementsysteme. Beuth, Berlin, 2009.

DIN 1983

Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 66001:1983-12: Informationsverarbeitung; Sinnbilder und ihre Anwendung. Beuth, Berlin, 2009.

DA 1979

Department of the Army (DA): Field Manual 770-78 – Systems Engineering. Washington, 1979.

DoD 2001a

Department of Defense (DoD), Systems Engineering Fundamentals. The Defense Acquisition University Press, Fort Belvoir, 2001.

DoD 2001b

Department of Defense (DoD), Glossary - Defense Acquisition Acronyms and Terms. 10. Ausg., Defense Acquisition University Press, Fort Belvoir, 2001.

DoD 1969

Department of Defense (USAF): MIL-STD-499 – Systems Engineering Management. Washington, 1969.

Dörner 2000

Dörner, D.: Die Logik des Misslingens. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek, 2000.

Dörner 1994

Dörner, D.: Gedächtnis und Konstruieren. In: Pahl, G. (Hrsg.): Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren. Ergebnisse des Ladenburger Diskurses vom Mai 1992 bis Oktober 1993, S. 150-160. TÜV Rheinland, Köln, 1994.

Dörner 1979

Dörner, D.: Problemlösen als Informationsverarbeitung. Kohlhammer, Stuttgart, 1979.

DSMC 1983

Defense Systems Management College (DSMC): Systems Engineering Management Guide. Fort Belvoir, 1983.

Dumitrescu et al. 2010

Dumitrescu, R.; Anacker, H.; Gausemeier, J.: Specification of Solution Patterns for the Conceptual Design of Advanced Mechatronic Systems. In: Proceedings of the International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME2010). Shah Alam, 2010.

Düser 2010

Düser, T.: X-in-the-Loop – ein durchgängiges Validierungsframework für die Fahrzeugentwicklung am Beispiel von Antriebsstrangfunktionen und Fahrerassistenzsystemen. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 47, Karlsruhe, 2010. Zugl. Diss. Karlsruher Institut für Technologie, 2010.

Eckert und Stacey 2010

Eckert, C. M.; Stacey, M. K.: What is a model? Reflections on the Epistemology of Design Process Models. In: Heisig, P.; Clarkson, P. J.; Vajna, S. (Hrsg.): Modelling and Management of Engineering Processes, Springer, London, S. 3-14.

Eckert et al. 2004

Eckert, C. M.; Stacey, M. K.; Clarkson, P. J.: The Lure of the Measurable in Design Research. In: Marjanovic, D. (Hrsg.) Proceedings of the International Design Conference – DESIGN 2004, Dubrovnik, 2004.

Eckert et al. 2003

Eckert, C. M.; Clarkson, P. J.; Stacey, M. K.: The Spiral of Applied Research: A Methodological View of Integrated Design Research. In: Folkesson, A.; Gralen, K.; Norell, M.; Sellgren, U. (Eds.): Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design, The Design Society, Stockholm, 2003.

Eckert 2001

Eckert, C. M.: The communication bottleneck in knitwear design: Analysis and computing solutions. In: Computer Supported Cooperative Work (2001), Bd. 10, Nr. 1, S. 29-74.

EDC 2013

Engineering Design Centre (EDC): Cambridge Advanced Modeller (CAM) – Documentation, Cambridge, 2013, URL: <https://www-edc.eng.cam.ac.uk/cam/documentation/Views> (abgerufen am 16.07.2013).

Eder 1998

Eder, W. E.: Design Modeling - A Design Science Approach (and Why Does Industry Not Use It?). In: Journal of Engineering Design, Bd. 9 (1998), Nr. 4, S. 355–371.

Eekels 2000

Eekels, J.: On the fundamentals of engineering design science: The geography of engineering design science. Part 1, Journal of Engineering Design, Bd. 11 (2000), Nr.4, S. 377–397.

Eekels 2001

Eekels, J.: On the fundamentals of engineering design science: The geography of engineering design science. Part 2, Journal of Engineering Design, Bd.12 (2001), Nr.3, S. 255–281.

EG-Kommission 2000

Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Memorandum über Lebenslanges Lernen. SEK(2000) 1832, Brüssel, 2000.

Ehrhardt 2011

Ehrhardt, N.: Is it all About Teamwork? Understanding Processes in Team-Based Knowledge Work. In: Management Learning, Bd. 42, Nr. 1, 2011, S. 87-112.

Ehrhardt und Riepl 2009

Erhardt, D.; Riepl, P.: Controlling in Forschung und Entwicklung: Vom Steuerungsdefizit zum Erfolg. In: Rechnungswesen & Controlling Bd. 2 (2009), S. 4–5.

Ehrlenspiel et al. 2007

Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. 6., überarbeitete und korrigierte Auflage, Springer, Berlin, 2007.

Ehrlenspiel 2007

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 3. aktualisierte Aufl., Hanser, München, 2007.

Ehrlenspiel und Dylla 1993

Ehrlenspiel, K.; Dylla, N.: Experimental Investigation of Designers' Thinking Methods and Design Procedures. In: Journal of Engineering Design (1993), Bd. 4, Nr. 3, Taylor & Francis, London.

Eigner et al. 2012a

Eigner, M.; Anderl, R.; Stark, R.: Interdisziplinäre Produktentstehung. In: Anderl, R.; Eigner, M.; Sendler, U.; Stark, R. (Hrsg.): Smart Engineering - Interdisziplinäre Produktentstehung. acatech DISKUSSION April 2012, S. 7-16. Springer, Berlin, 2012.

Eigner et al. 2012b

Eigner, M.; Gilz, T.; Zafirov, R.: Neue Methoden, Prozesse und IT Lösungen für die virtuelle disziplinübergreifende Produktentwicklung. In: Proceedings of the 2nd Commercial Vehicle Technology Symposium (CVT 2012), Kaiserslautern, Shaker, Aachen, 2012.

Eigner und Stelzer 2009

Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management - Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2. Aufl., Springer Berlin, 2009.

Elgezabal und Schumann 2012

Elgezabal, O.; Schumann, H.: Holistic Systems engineering: Towards a cross-disciplinary standard. Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineerings 2012, Carl Hanser Verlag, München, 2012, S. 319-332.

Elizalde 2011

Elizalde, J.: Market definition with differentiated products: a spatial competition application. In: European Journal of Law and Economics, Springer, 2011.

Endsley 2000

Endsley, M. R.: Theoretical underpinnings of situation awareness: a Critical Review. In: Endsley, M. R.; Garland, D. J. (Hrsg.) Situation Awareness Analysis and Measurement. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 2000.

Engwall et al. 2005

Engwall, M.; Kling, R.; Werr, A.: Models in Action: How Management Models are Interpreted in New Product Development. In: R&D Management, Bd. 35 (2005), Nr.4, Wiley, Oxford, S. 427–439.

Enkler 2010

Enkler, H.-G.: Rechnergestützter Entwurf von Bauteilen mit stark streuenden Leitstützstrukturen am Beispiel hochbelastbarer urgeformter mikromechanischer Systeme. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 44, Karlsruhe, 2010. Zugl. Diss Karlsruher Institut für Technologie, 2010.

Eppinger und Browning 2012

Eppinger, S. D.; Browning, T. R.: Design Structure Matrix Methods and Applications. MIT Press, Cambridge, 2012

Erhardt und Riepl 2009

Erhardt, D.; Riepl, P.: Controlling in Forschung und Entwicklung: Vom Steuerungsdefizit zum Erfolg. In: Rechnungswesen & Controlling (2009), Bd. 2, S. 4–5.

Estefan 2007

Estefan, J.: Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies. In: INCOSE MBSE Focus Group, Jg. 25, 2008.

Eulenbach 1975

Eulenbach, D.: Konstruktionssystem WISKON: Ein Beitrag zur Weiterentwicklung von CAD-Systemen, Fortschrittsbericht VDI, Bd. 20, Nr. 32, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1975.

Eversheim und Schuh 2005

Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Springer, Berlin, 2005.

Fahrwinkel 1995

Fahrwinkel, U.: Methoden zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen zur Unterstützung des Business Process Reengineering. HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 1, Paderborn, 1995. Zugl. Diss. Universität Paderborn, 1995.

Feess und Thommen 2013

Feess, E.; Thommen, J.-P.: Stichwort: Konstruktivismus. In: Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/2759/konstruktivismus-v7.html> (abgerufen am 04.04.2013).

Feiler et al. 2006

Feiler, P. H.; Gluch, D. P.; Hudak, J. J.: The Architecture Analysis & Design Language (AADL) – An Introduction. Technical Report (Nr. CMU/SEI-2006-TN-011), Software Engineering Institute, Pittsburgh, 2006.

Feldhusen und Gebhardt 2008

Feldhusen, J.; Gebhardt, B.: Product Lifecycle Management für die Praxis, Springer, Berlin, 2008.

Felgen 2007

Felgen, L.: Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte. Dr. Hut Verlag, München, 2007. Zugl. Diss. TU München, 2007.

Finger und Dixon 1989

Finger, S.; Dixon, J. R.: A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive, and Computer-based Models of Design Processes. In: Finger, S.; Dixon, J. R. (Eds.): Research in Engineering Design, Bd. 1 (1989), Nr. 1, S. 51–67.

Forrester et al. 2009

Forrester, E. C.; Buteau, B. L.; Shrum, S.: CMMI for Services. Guidelines for Superior Service. Addison-Wesley, Boston, 2009.

Forrester 1980

Forrester, J. W.: System Dynamics - Future Opportunities. In: Legasto, A. A.; Forrester, J. W.; Lyneis, J. M. (Eds.): System Dynamics: Studies in the Management Sciences. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1980, S. 7-21.

Forrester 1961

Forrester, J. W.: Industrial Dynamics. MIT Press, Cambridge, 1961.

Franke 1985

Franke, H.-J.: Konstruktionsmethodik und Konstruktionspraxis – eine kritische Betrachtung. In: 3rd International Conference on Engineering Design - ICED'85, Hamburg, Heuristika Verlag, Zürich, 1985.

Frankenberger et al. 1998

Frankenberger, E.; Badke-Schaub, P.; Birkhofer, H. (Eds.): Designers – The Key to Successful Product Development. Springer, London, 1998.

Freisleben und Vajna 2002

Freisleben, D.; Vajna, S.: Dynamic process navigation: modeling, improving and review of engineering processes. In: Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences, Montreal, 2002.

Freudenmann 2013

Freudenmann, T.: Ontologien zur Validierung von Produkten für die Individualmobilität. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, im Druck, Karlsruhe, 2013. Zugl. Diss. Karlsruher Institut für Technologie, 2013.

Friedenthal et al. 2011

Friedenthal, S.; Moore, A.; Steiner, R.: A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language. 2. Ausg., Elsevier, Oxford, 2011.

Friedrich 2011

Friedrich, M. O.: Funktionsorientiertes Konzept zur Unterstützung früher Phasen der Produktentwicklung in der Informationstechnik. Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften, München, 2011. Zugl. Diss. TU München, 2011.

Frigg und Hartmann 2012

Frigg, R.; Hartmann, S.: Models in Science. In: Zalta, E. N. (Ed.): The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2012 Edition), URL: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/models-science> (abgerufen am 02.05.2013).

Gagné et al. 1988

Gagné, R. M.; Driscoll, M. P.: Essentials of learning for instruction. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1988.

Gallagher et al. 2009

Gallagher, B. P.; Phillips, M.; Richter, K. J.; Shrum, S.: CMMI-ACQ. Guidelines for Improving the Acquisition of Products and Services. Addison-Wesley, Boston, 2009.

Garcia und Drath 2011

Garcia, A. A.; Drath, R. D.: AutomationML verbindet Werkzeuge der Fertigungsplanung - Hintergründe und Ziele. In: AutomationML e. V. (Hrsg.), AutomationML white paper, Magdeburg, 2011.

Gausemeier und Lindemann 2012

Gausemeier, J.; Lindemann, U.: Produktentwicklung braucht Systems Engineering. Impulsvortrag Workshop 3, Jahrestagung WiGeP 2012. News - Mitteilungen der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP, Nr. 2 (2012), S. 5-6.

Gausemeier et al. 2012

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

Gausemeier et al. 2011

Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Kahl, S.; Nordsiek, D.: Integrative development of product and production system for mechatronic products. In: Ganjezadeh, F.; Sullivan, W. G. (Eds.): Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Bd. 27 (2011), Nr. 4, S. 772–778.

Gausemeier et al. 2010

Gausemeier, J.; Brandis, R.; Reyes-Perez, M.: A Specification Technique for the Integrative Conceptual Design of Mechatronic Products and Production Systems. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik, 2010.

Gausemeier et al. 2009a

Gausemeier, J.; Plass, C.; Wenzelmann, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Hanser, München, 2009.

Gausemeier et al. 2009b

Gausemeier, J.; Schäfer, W.; Greenyer, J.; Kahl, S.; Pook, S.; Rieke, J.: Management of cross-domain model consistency during the development of advanced mechatronic systems. In: Norell Bergendahl, M.; Grimheden, M.; Leifer, L.; Skogstad, P.; Lindemann, U. (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED'09, Stanford, 2009.

Gausemeier et al. 2009c

Gausemeier, J.; Frank, U.; Donoth, J.; Kahl, S.: Specification Technique for the Description of Self-Optimizing Mechatronic Systems. In: Research in Engineering Design, Bd. 20, Nr. 4, Springer, London, 2009, S. 201-223.

Gausemeier und Feldmann 2006

Gausemeier, J.; Feldmann, K.: Integrative Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen. Hanser, München, 2006.

Gausemeier et al. 2006

Gausemeier, J.; Hahn, A.; Kespohl, H. D.; Seifert, L.: Vernetzte Produktentwicklung: Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking. Hanser, München, 2006.

Gausemeier et al. 2000

Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H.: Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 79, Paderborn, 2000.

Geier et al. 2012

Geier, M.; Jäger, S.; Stier, C.; Albers, A.: Combined real and virtual domain product validation using top-down strategies. In: ASME Verification and Validation Symposium. Las Vegas, 2012.

Geisberger und Broy 2012

Geisberger, E.; Broy, M. (Hrsg.): agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Studie im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Springer, Heidelberg, 2012.

Geraldi et al. 2011

Geraldi, J.; Maylor, H.; Williams, T.: Now, let's make it really complex (complicated): A systematic review of the complexities of projects. In: International Journal of Operations & Production Management, Bd. 31 (2011), Nr. 9, S. 966-990.

Gethmann 1979

Gethmann, D. F.: Protologik. Suhrkamp, Berlin, 1979.

Gloger 2011

Gloger, B.: Scrum. Produkte zuverlässig und schnell entwickeln. 3. Aufl. Hanser, München, 2011.

Gomez und Probst 1997

Gomez, P.; Probst, G.: Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens. 2. Ausg., Paul Haupt Verlag, Bern, 1997.

Goode und Machol 1957

Goode, H. H.; Machol, R. E.: System Engineering - An Introduction to the Design of Large-Scale Systems. McGraw-Hill, New York, 1957.

Grabowski und Leutsch 2013

Grabowski, H.; Leutsch, G. R.: Integrierte Produkt- und Produktionsmodelle als Grundlage für eine wissensbasierte Produktentwicklung. In: Nagel, M.; Westfechtel, B.(Hrsg.): Modelle, Werkzeuge und Infrastrukturen zur Unterstützung von Entwicklungsprozessen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2003.

Grabowski et al. 1998

Grabowski, H.; Rude, S.; Grein, G.; Meis, E.; El-Mejbir, E.: Universal Design Theory: Elements and Applicability to Computers. in Grabowski, H.; Rude, S.; Grein, G. (Eds.): Universal Design Theory. Shaker, Aachen, 1998, S. 209-220.

Grabowski et al. 1993

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

Griffin 2007

Griffin, A.: PDMA Research on New Product Development Practices – Updating Trends and Benchmarking Best Practices. In: Hustad, T. P. (Ed.): Journal of Product Innovation Management, Bd. 14 (1997), Nr. 6, Wiley Online Library, West Sussex, S. 427-551.

Griffith Friel und Blinn 1989

Griffith Friel, P.; Blinn, T. M.: Automated IDEF3 and IDEF4 Systems Design Specification Document. Research Institute for Computing and Information Systems, University of Houston - Clear Lake, 1989.

Gronau und Müller 2005

Gronau, N.; Müller, C.: Wissensarbeit prozessorientiert modellieren und verbessern. In: Wissensmanagement, Bd. 3 (2005), S. 50-52.

Gronau et al. 2005

Gronau, N.; Korf, R.; Müller, C.: KMDL-Capturing, Analysing and Improving Knowledge-Intensive Business Processes. In: Journal of Computer Science, Bd 11 (2005), Nr. 4, S. 452-472.

Gross und Yellen 2006

Gross, J. L.; Yellen, J.: Graph Theory and its Applications. 2. Ausg., Chapman & Hal / CRC, Boca Raton, 2006.

Großkopf et al. 2009

Großkopf, A.; Decker, G.; Weske, M.: The Process: Business Process Modeling using BPMN. Meghan-Kiffer Press, Tampa, 2009.

Guilford 1973

Guilford, J. P.: Kreativität. In: Ulmann, G. (Hrsg.): Kreativitätsforschung. Kiepenheuer und Witsch, Köln, 1973, S. 25-43. (Dt. Übersetzung entnommen aus American Psychologist, Bd. 5 (1950), Nr. 9, S. 444-454.

Gutmann 1996

Gutmann, M.: Die Evolutionstheorie und ihr Gegenstand: Beitrag der methodischen Philosophie zu einer konstruktiven Theorie der Evolution. VWB, Verl. für Wiss. und Bildung, Berlin, 1996.

Haberfellner et al. 2012

Haberfellner, R.; de Weck, O.; Fricke, E.; Vössner, S. (Hrsg.): Systems Engineering - Grundlagen und Anwendung. 12 Aufl., Orell Füssli, Zürich, 2012.

Habermas 1988

Habermas, J.: Theorie des kommunikativen Handelns. Bd. 2, Suhrkamp Verlag, Frankfurt a.M., 1988.

Hacker 2002

Hacker, W. (Hrsg.): Denken in der Produktentwicklung – Psychologische Unterstützung der frühen Phasen. vdf Hochschulverlag, Zürich, 2002.

Hacker 2005

Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie – Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit. 2. Aufl., Verlag Hans Huber, Bern, 2005.

Hall 1962

Hall, A. D.: A Methodology for Systems Engineering. Van Nostand, Princeton, 1962.

Hansen 1974

Hansen, F.: Konstruktionswissenschaft – Grundlagen & Methoden. Carl Hanser Verlag, München, 1974.

Hansen 1956

Hansen, F.: Konstruktionssystematik. VEB-Verlag Technik, Berlin, 1956.

Hales 1987

Hales, C.: Analysis of the Engineering Design Process in Industrial Context. Ph.D.thesis, University of Cambridge, 1987.

Hall 1962

Hall, A. D.: A Methodology for Systems Engineering. Van Nostrand, Princeton, 1962.

Harary et al. 1965

Harary, F.; Norman, R. Z.; Cartwright, D.: Structural models: An introduction to the theory of directed graphs. Wiley, New York, 1965.

Hastings und McManus 2004

Hastings, D.; McManus, H.: A Framework for Understanding Uncertainty and its Mitigation and Exploitation in Complex Systems. In: Engineering Systems Symposium 2004, Massachusetts, 2004.

Hayka et al. 2008

Hayka, H.; Lüddemann, J.; Stark, R.: Mechatronik-Kooperationsplattform für anforderungsgesteuerte Prüfung und Diagnose. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Ausg. 10, Hanser, München, 2008.

Hegel 1833

Hegel, G. W. F.: Grundlinien der Philosophie des Rechts. Duncker & Humblot, Berlin, 1833.

Heiden und Zinke 2006

Heiden, S.; Zinke, H. (Hrsg.): Weiße Biotechnologie: Industrie im Aufbruch. Biocom, Berlin, 2006.

Heisig et al. 2010

Heisig, P.; Caldwell, N. H. M.; Grebici, K.; Clarkson, P. J.: Exploring knowledge and information needs in engineering from the past and for the future - results from a survey. In: Design Studies, Bd. 31 (2010), Nr. 5, S. 499–532.

Heisig et al. 2009

Heisig, P.; Clarkson, P. J.; Hemphälä, J.; Wadell, C.; Norell Bergendahl, M.; Roelofsen, J.; Kreimeyer, M.; Lindemann, U.: Challenges and Future Fields of Research for Modelling and Management of Engineering Processes. Workshop Report, Technical Report CUED/C-EDC/TR. 148, 2nd Edition, Engineering Design Centre, Cambridge, 2009.

Hellenbrand 2013

Hellenbrand, D.: Transdisziplinäre Planung und Synchronisation mechatronischer Produktentwicklungsprozesse. Dr. Hut Verlag, München, 2013. Zugl. Diss. TU München, 2013.

Hengartner und Meier 2001

Hengartner, U; Meier, A. (Hrsg.): Web 3.0 & Semantic Web, dpunkt.verlag, Heidelberg, 2010.

Hepperle et al. 2010

Hepperle, C.; Lindemann, U.; Mörtl, M.; Nolte, B.; Orawskii, R.: Integrated Lifecycle Model of Product-Service-Systems. In: Proceedings of the 2nd CIRP Industrial Product-Service Systems Conference (IPS2 2010), Linköping, 2010.

Heymann 2005

Heymann, M.: Kunst und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts: zur Geschichte der Konstruktionswissenschaft. Chronos Verlag, Zürich, 2005.

Hirtz et al. 2002

Hirtz, J.; Stone, R.; McAdams, D.; Szykman, S.; Wood, K. A.: Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts. National Institut of Standards and Technology, Technical Note 1447. USA, 2002.

Hitchins 2007

Hitchins, D. K.: Systems Engineering – A 21st Century Systems Methodology. John Wiley & Sons, West Sussex, 2007.

Hoffmann 2005

Hoffmann, M. H. W.: An engineering model of learning. In: Proceedings of the 35th Annual Conference in Frontiers in Education, FIE '05, Indianapolis, 2005, S. T2C-1-6.

Hoffmann et al. 2010

Hoffmann, M. H. W.; Bargstädt, H.-J.; Hampe, M.; Heiss, H.-U.; Müller, G.; Schmitt, H.: Knowledge, skills, and competences: Descriptors for engineering education. In: proceedings of IEEE EDUCON 2010 Conference, Madrid, 2010.

Holm-Hadulla, 2005

Holm-Hadulla, R. M.: Kreativität – Konzept und Lebensstil. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 2005.

Holt und Barnes 2009

Holt, R.; Barnes, C.: Towards an integrated approach to “Design for X”: An Agenda for the Decision-Based DFX Research. In: Research in Engineering Design, Bd. 21 (2009), Nr. 2, Springer, London, 2009.

Holzweißig 2011

Holzweißig, K.: Ein ko-aktiver Unterstützungsansatz für Prozesse sozialer Wirklichkeitskonstruktion. Diss. Universität Paderborn, 2011.

Holzweißig und Rundquist 2010

Holzweißig, K.; Rundquist, J.: Factors Affecting Organizational Acceptance of Formal NPD Processes. In: Proceedings of the 17th International Product Development Management Conference, Murcia, 2010.

Hönisch 1993

Hönisch, G.: Förderung der Kreativität in der universitären Ausbildung. In: Rugenstein, J. (Hrsg.): 17. Kolloquium Konstruktionstechnik, TU Magdeburg, 1993, S. 70-81.

Honour 2011

Honour, E. C.: Improved Correlation for Systems Engineering Return on Investment. In: Conference in Systems Engineering Research (CSER'11), Redondo Beach, 2011.

Horváth 2004

Horváth, I.: A Treatise on Order in Engineering Design Research. In: Research in Engineering Design, Bd. 15 (2004), Nr. 3, S. 155–181.

Horváth und Rudas 2004

Horváth, L.; Rudas, I.: Modeling and problem solving techniques for engineers. Elsevier, Oxford, 2004.

Howell und Shea 2001

Howell, J. M.; Shea, C. M.: Individual differences, environmental scanning, innovation framing, and champion behavior: key predictors of project performance. The Journal of Product Innovation Management, Bd. 18 (2001), Nr. 1, S. 15–27.

Huang 1996

Huang, G.: Design for X: Concurrent Engineering Imperatives. Springer, London, 1996.

Hubka und Eder 1996

Hubka, V.; Eder, W. E.: Design science: introduction to needs, scope and organization of engineering design knowledge. 2. Ill. Ausg., Springer, New York, 1996.

Hubka und Eder 1988

Hubka, V.; Eder, W. E.: Theory of Technical Systems: A Total Concept Theory for Engineering Design. Springer, New York, 1988.

Hubka 1984

Hubka, V.: Theorie technischer Systeme – Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. 2. Aufl., Springer, Heidelberg, 1984.

Hubka 1978

Hubka, V.: Konstruktionsunterricht an Technischen Hochschulen. Leuchtturm Verlag, Konstanz, 1978.

Hubka 1976

Hubka, V.: Theorie der Konstruktionsprozesse. Springer, Berlin, 1976.

Hubka 1974

Hubka, V.: Theorie der Maschinensysteme. Springer, Berlin, 1974.

Hubka 1967

Hubka, V.: Der grundlegende Algorithmus für die Lösung von Konstruktionsaufgaben. In: XII. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der Technischen Hochschule Ilmenau, Heft 12 Sektion L - Konstruktion, T.H.I., Ilmenau, 1967, S. 69-74.

Hutchins 1995

Hutchins, E.: How a Cockpit Remembers Its Speeds. In: Journal of the Cognitive Science Society, Bd. 19, Nr. 3, Cognitive Science Society, Wheat Ridge, 1995, S. 265–288.

Ibert und Kujath 2011

Ibert, O.; Kujath, H. J.: Wissensarbeit aus räumlicher Perspektive – Begriffliche Grundlagen und Neuausrichtung im Diskurs. In: Ibert, O.; Kujath, H.J. (Hrsg.): Räume der Wissensarbeit. Zur Funktion von Nähe und Distanz in der Wissensökonomie. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2011, S. 9-48.

INCOSE 2010

Haskins, Cecilia (Ed.): INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, INCOSE-TP-2003-002-03, Vers. 3, International Council on Systems Engineering, Juni 2010.

Irgens 1991

Irgens, C.: Unterstützung der qualitätsgerechten Konstruktion durch ein wissensbasiertes System auf der Basis funktionaler Formelemente. Erfolgreiche Anwendung wissensbasierter Systeme in Entwicklung und Konstruktion, VDI-Berichte Nr. 903, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.

ISO 2012

International Organization for Standardization (ISO): ISO/IEC 19505:2012 Information technology -- Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML) Genf, 2012.

ISO 2008

International Organization for Standardization (ISO): ISO/IEC 15288:2008 Systems and software engineering - System life cycle processes. Genf, 2008.

Jänsch 2007

Jänsch, J.: Akzeptanz und Anwendung von Konstruktionsmethoden im industriellen Einsatz. Fortschritt-Berichte, Nr. 396, VDI Verlag, Düsseldorf, 2007. Zugl. Diss. TU Darmstadt, 2007.

Jänsch et al. 2006

Jänsch, J.; Weiss, S.; Birkhofer, H.: Towards a Design Method-Suitable, Computer-Supported Learning Environment. In: Marjanovic, D. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2006. 9th International Design Conference, Dubrovnik, 2006.

Jarratt 2004

Jarratt, T.: A Model-Based Approach to Support the Management of Engineering Change. PhD Thesis, University of Cambridge, 2004.

Jarratt et al. 2004

Jarratt, T.; Eckert, C. M.; Clarkson, P. J.; Stacey, M. K.: Providing an overview during the design of complex products. In: Proceedings of the First International Conference on Design Computation and Cognition (DCC'04), MIT, Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2004. S. 239-258.

Jensen und Andreassen 2010

Jensen, T. E.; Andreassen M. M.: Design Methods in Practice – Beyond the ‚Systematic Approach‘ of Pahl & Beitz. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik, 2010.

Kahl et al. 2010

Kahl, S.; Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.: Interactive Visualization of Product Development Processes in Mechatronic Engineering. In: Heisig, P.; Clarkson, P. J.; Vajna, S. (Hrsg.): Modelling and Management of Engineering Processes, Springer, London, S. 177-188.

Kahlbrandt 2001

B. Kahlbrandt: Software Engineering mit der Unified Modeling Language. Springer, Berlin, 2001.

Kasser 2010

Kasser, J.: Seven Systems Engineering Myths and the Corresponding Realities. In: Proceedings of the Systems Engineering Test and Evaluation Conference, Adelaide, 2010.

Kindel und Friedlich 2009

Kindel, O.; Friedlich, M.: Softwareentwicklung mit AUTOSAR – Grundlagen, Engineering, Management in der Praxis. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2009.

Kitamura 2006

Kitamura, Y.: Roles of Ontologies of Engineering Artifacts for Design Knowledge Modelling. In: Proceedings of the International Seminar and Workshop Engineering Design in Integrated Product Development, Grondów, 2006.

Kitamura und Mitzoguchi 2004

Kitamura, Y. und Mitzoguchi, R.: Ontology-based systematization of functional knowledge. In: Horváth, I; Rusák, Z. (Eds.): Journal of Engineering Design, Bd. 15 (2004), Nr. 4, S. 327–352.

Kleinsmann 2006

Kleinsmann, M. S.: Understanding Collaborative Design. Diss. TU Delft, 2006.

Kleinsmann et al. 2010

Kleinsmann, M.; Buijs, J.; Valkenburg, R.: Understanding the complexity of knowledge integration in collaborative new product development teams: a case study. In: Journal of Engineering and Technology Management, Bd. 27 (2010), S. 20–32.

Kleinsmann und Valkenburg 2008

Kleinsmann, M.; Valkenburg, R.: Barriers and enablers for creating shared understanding in co-design projects. In: Design Studies, Bd. 29 (2008), S. 369-368.

Klodt und Schäfer 2013

Klodt H.; Schäfer, A.: Stichwort: technischer Fortschritt. In: Gabler (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54612/technischer-fortschritt-v7.html> (abgerufen am 04.03.2013).

Knickel 1997

Knickel, V.: Gestaltung von Kommunikationsprozessen an Schnittstellen in der Produktentwicklung – Methodisches Vorgehen und CSCW-Unterstützung. Diss. TU Kaiserslautern, 1997.

Kolb 1984

Kolb, D. A.: Experiential learning: experience as the source of learning and development. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1988.

Koller und Kastrup 1998

Koller, R.; Kastrup, N.: Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte. Springer, Heidelberg, 1998.

Koller 1985

Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen, Arbeitsschritte, Prinziplösungen. Springer, Berlin, 1985.

Kossiakoff und Sweet 2003

Kossiakoff, A.; Sweet, W. N.: Systems Engineering: Principles and Practice. John Wiley & Sons, Hoboken, 2003.

Kortler et al. 2010

Kortler, S.; Helms, B.; Berkovich, M.; Lindemann, U.; Shea, K.; Leimeister, J. M.;

Krcmar, H.: Using MDM-Methods in order to Improve Managing of Iterations in Design Processes. In: 12th International Dependency and Structure Modelling Conference, Cambridge, 2010.

Krause 2001

Krause, L.: Methode zur Implementierung von integriertem Produktdatenmanagement (PDM). 2. Aufl., GITO mbH Verlag, Berlin, 2001.

Krastel 2013

Krastel, M.: Teamwork Support with Enterprise Cooperation – Trust Distrust and Knowledge Protection. In: Abramovici, M.; Stark, R. (Ed.), Smart Product Engineering: Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference, Bochum, 2013.

Kreimeyer 2010

Kreimeyer, M.: A Structural Measurement System for Engineering Design Processes. Dr. Hut Verlag, München, 2010. Zugl. Diss. TU München, 2010.

Kreitel 2008

Kreitel, W. A.: Ressource Wissen: Wissensbasiertes Projektmanagement erfolgreich im Unternehmen einführen und nutzen; mit Empfehlungen und Fallbeispielen. 1. Aufl., Gabler, Wiesbaden, 2008.

Kusiak et al. 1994

Kusiak, A.; Larson, N. T.; Wang, J.: Reengineering of design and manufacturing processes. In: Eldin, H. K. (Ed.): Computers and Industrial Engineering, Bd. 26 (1994), Nr. 3, S. 521-536.

Lamm und Weilkens 2010

Lamm, J. G.; Weilkens, T.: Funktionale Architekturen in SysML. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineerings 2012, Carl Hanser Verlag, München, 2012, S. 109-118.

Langer et al. 2009

Langer, S.; Kreimeyer, M.; Müller, P.; Lindemann, U.; Blessing, L.: Entwicklungsprozesse hybrider Leistungsbindel – Evaluierung von Modellierungsmethoden unter Berücksichtigung zyklischer Einflussfaktoren. In: Thomas, O.; Nüttgens, M. (Eds.): Dienstleistungsmodellierung. Physica-Verlag, Heidelberg, 2009, S. 71-87.

Lehmann 2008

Lehmann, F. R.: Integrierte Prozessmodellierung mit ARIS. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2008.

Lévárdy und Browning 2009

Lévárdy, V.; Browning, T. R.: An Adaptive Process Model to Support Product Development Project Management. In: IEEE Transactions on Engineering Management, Bd. 56 (2009), Nr. 4, S. 600-620.

Levardy 2006

Lévárdy, V.: Model-based Framework for the Adaptive Development of Engineering Systems. Diss. TU München, 2006.

Lindemann 2010

Lindemann, U.: Zyklenmanagement aktuell – Innovationen gestalten, Ausg. 1 (2010), Nr. 1, Lehrstuhl für Produktentwicklung, TU München, 2010.

Lindemann et al. 2010

Lindemann, U.; Biedermann, W.; Hellenbrand, D.: Anwendung von Systems Engineering in der integrierten Produktentwicklung. Newsletter Berliner Kreis – Mitteilungen des Berliner Kreises Nr. 2 (2010), S. 9-10.

Lindemann 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Aufl. Springer, München, 2009.

Lindemann et al. 2009

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: Structural complexity management: An approach for the field of product design. Springer, Berlin, 2009.

Lindemann et al. 2006

Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Springer, Berlin, 2006.

Lindemann et al. 2005

Lindemann, U.; Maurer, M.; Kreimeyer, M.: Intelligent Strategies for Structuring Products. In: Clarkson, P. J.; Huhtala, M. (Eds.): Engineering Design - Theory and Practice, Engineering Design Centre, Cambridge, 2005, S. 106-115.

Lindemann 2003

Lindemann, U. (Ed.): Human Behaviour in Design – Individuals, Teams, Tools. Springer, Berlin, 2003.

Lohmeyer 2013

Lohmeyer, Q.: Menschzentrierte Modellierung von Produktentstehungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Synthese und Analyse dynamischer Zielsysteme. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 59, Karlsruhe, 2013. Zugl. Diss. Karlsruher Institut für Technologie, 2013.

Lorenzen und Schwemmer 1973

Lorenzen, P.; Schwemmer, O.: Konstruktive Logik, Ethik und Wissenschaftstheorie. Bibliograph. Inst., BI-Wissenschaftsverl., 1973.

Lossak und Grabowski 2000

Grabowski, H.; Lossak, R.: The Axiomatic Approach in the Universal Design Theory. In: Proceedings of the First International Conference on Axiomatic Design (ICAD2000), Cambridge, 2000.

Malik 2002

Malik, F.: Wissen in Nutzen wandeln. In: Landesinstitut Sozialforschungsstelle Dortmund (Hrsg.): Journal Arbeit (2002). Jg. 2, Nr. 2, S. 4-5.

Malik 2003

Malik, F.: Strategie des Managements komplexer Systeme. Haupt Verlag, Bern, 2003.

Mandl und Spada 1988

Mandl, H.; Spada, H. (Hrsg.): Wissenspsychologie. Psychologie Verlagsunion, München, 1988.

Marison 2010

Marison, I.: Overview of Upstream and Downstream Processing of Biopharmaceuticals. Dublin City University, Dublin, 2010.

Marx 1857/58

Marx, K.: Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie (1857/58). 2. Aufl., Dietz, Berlin 1974.

Matthiesen 2011

Matthiesen, S.: Seven years of product development in industry – experiences and requirements for supporting engineering design with ‘thinking tools’. In: Culley, S.; Hicks, B.; McAloone, T.; Howard, T.; Clarkson, P. J. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED’11, Bd. 2, Kopenhagen, S. 236-245.

Matthiesen und Ruckpaul 2010

Matthiesen, S.; Ruckpaul, A.: New insights on the Contact&Channel-Approach – modelling of systems with several logical states. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik, 2010.

Matthiesen 2002

Matthiesen, S.: Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells “Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen” zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 6, Karlsruhe, 2002. Zugl. Diss TU Karlsruhe, 2002.

Maurer und Kesper 2010

Maurer, M.; Kesper, H.: Knowledge Transfer Applying the Structural Complexity Management Approach. In: Proceedings of the 2010 International Conference on Information Retrieval and Knowledge Management. Shah Alam, 2010, S. 342-347.

Maurer 2007

Maurer, M.: Structural Awareness in Complex Product Design. Dr. Hut Verlag, München, 2007. Zugl. Diss. TU München, 2007.

Maurer et al. 2005

Maurer, M.; Boesch, N.-O.; Sheng, G.; Tzonev, B.: A Tool for Modelling Flexible Product Structures - MOFLEPS. In: Samuel, A. (Hrsg.); Lewis, W. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design – ICED’05, 2005.

Mayer et al. 1995

Mayer, R. J.; Menzel, C. P.; Painter, M. K.; Dewitte, P. S.; Blinn, T.; Perakath, B.: Information integration for concurrent engineering (IICE) IDEF3 process description capture method report (Nr. KBSI-IICE-90-STR-01-0592-02). Knowledge Based Systems Inc., College Station, 1995.

Meboldt et al. 2012

Meboldt, M.; Matthiesen, S.; Lohmeyer, Q.: The Dilemma of Managing Iterations in Time-to-market Development Processes. In: Heisig, P.; Clarkson, P. J. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International Workshop on Modelling and Management of Engineering Processes, Cambridge, 2012.

Meboldt 2008

Meboldt, M.: Mentale und formale Modellbildung in der Produktentstehung - als Beitrag zum integrierten Produktentstehungs-Modell (iPeM). In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 29, Karlsruhe, 2008. Zugl. Diss TU Karlsruhe, 2008.

Meerkamm 2013

Meerkamm, H. (Hrsg.): Assistenzsysteme für die Produktentwicklung. Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, URL: <http://www.mfk.uni-erlangen.de/web/files/assistenzsysteme.pdf> (abgerufen am 08.05.2013).

Meerkamm et al. 2009

Meerkamm, H.; Henrich, A.; Jablonski, S.; Kcmar, H.; Lindemann, U.; Rieg F. (Hrsg.): Flexible Prozessunterstützung in der Produktentwicklung – Prozesse - Daten - Navigation. Shaker, Aachen, 2009.

Menard 1995

Menard, C.: Markets as institutions versus organizations as markets? Disentangling some fundamental concepts. In: *Journal of Economic Behavior and Organization* (1995), Nr. 28, S. 161–182.

Michels 2006

Michels, J. S.: Integrative Spezifikation von Produkt- und Produktionssystemkonzeption. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 196, Paderborn, 2006. Zugl. Diss. Universität Paderborn, 2006.

Micka 2011

Micka, W. (Hrsg.): *Microsoft SharePoint® für Administratoren*. Microsoft Press, Unterschleißheim, 2011.

Microsoft 2013

Microsoft Corporation (Hrsg.), *Microsoft SharePoint – collaboratoin Software*, URL: <http://office.microsoft.com/en-us/microsoft-sharepoint-collaboration-software-FX103479517.aspx> (abgerufen am 16.04.2013).

Miller et al. 1960

Miller, G. A.; Galanter, E.; Pribram, K. A.: *Plans and the structure of behavior*. Holt, Rhinehart, & Winston, New York, 1960.

Mizuno und Akao 1993

Mizuno, S.; Akao, Y.: *QFD: The Customer-driven Approach to Quality Planning & Deployment*. Asian Productivity Organization, Tokyo, 1993.

Mohammed und Dumville 2001

Mohammed, S.; Dumville, B. C.: Team mental models in a team knowledge framework: expanding theory and measurement across disciplinary boundaries. In: *Journal of Organizational Behaviour*, Bd. 22 (2001), S. 89–106.

Müller 2007

Müller, A.: *Iterative Zielklärung und Handlungsplanung als Faktoren erfolgreichen Gruppenhandels bei der Lösung komplexer Probleme*. Diss. TU München, 2007.

Müller 1990

Müller, J.: *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften – Systematik - Heuristik – Kreativität*. Springer, Berlin, 1990.

Murr 1999

Murr, O.: *Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen*. In: Reinhart, G. (Hrsg.): *iwb Forschungsberichte*, Bd. 130, Herbert Utz Verlag, München, 1999.

Muschik 2011

Muschik, S.: *Development of Systems of Objectives in Early Product Engineering*. In: Albers, A. (Hrsg.), *IPEK-Forschungsberichte*, Bd. 50, Karlsruhe, 2011. Zugl. Diss. Karlsruher Institut für Technologie, 2011.

Nagl und Marquardt 2008

Nagl, M.; Marquardt, W.: *Collaborative and Distributed Chemical Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.

NASA 2007

National Aeronautics and Space Administration (NASA): *NASA – Systems Engineering Handbook*. NASA/SP-2007-6105 Rev. 1, Washington, 2007.

Neale et al. 2004

Neale, D. C.; Carroll, J. M.; Rosson, B.: *Evaluating Computer-Supported-Cooperative-Work: Models and Frameworks*. In: *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work*, Chicago, ACM Press, New York, 2004.

Negele 1998

Negele, H.: *Systemtechnische Methodik zur ganzheitlichen Modellierung am Beispiel der integrierten Produktentwicklung*. Herbert Utz Verlag, München, 1998. Zugl. Diss. TU München, 1998.

Negele et al. 1997

Negele, H.; Fricke, E.; Igenbergs, E.: *ZOPH – A Systemic Approach to the Modeling of Product Development Systems*. In: *7th International INCOSE Symposium*, Los Angeles, 1997, S. 773–780.

Neumann et al. 2009

Neumann, F.; Bork, C.; Tiefenbeck, F.; Colzman, B.; Brosig, S. H.: *Studie - Unternehmensplanung 2020 - Trends und Entwicklungen*. BearingPoint GmbH (Hrsg.), 2009.

NIST 1993

National Institute of Standards and Technology (NIST): Integration definition for function modeling (IDEF0). Federal Information Processing Standards (FIPS) Publication 183, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1993.

Nonaka und Takeuchi 1995

Nonaka, I.; Takeuchi, H.: The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press, Oxford, 1995.

North 2011

North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung. Gabler, Wiesbaden, 2011.

O'Donovan et al. 2005

O'Donovan, B.; Eckert, C. M.; Clarkson, P. J.; Browning, T. R.: Design planning and modelling. In: Clarkson, P. J.; Eckert, C. M. (Hrsg.): Design Process Improvement: A review of current practice. Springer, London, 2005.

Oerding 2009

Oerding, J.: Ein Beitrag zum Modellverständnis der Produktentstehung -Strukturierung von Zielsystemen mittels C&CM. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 37, Karlsruhe, 2009. Zugl. Diss TU Karlsruhe, 2009.

Ohmer 2008

Ohmer, M.: Ein Beitrag zur Synthese technischer Systeme auf Basis des Contact & Channel Model C&CM. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 32, Karlsruhe, 2008. Zugl. Diss TU Karlsruhe, 2008.

Ohms 2000

OHMS, W. J.: Management des Produktentstehungsprozesses. Franz Vahlen, München, 2000.

Olivera und Argote 1999

Olivera, F.; Argote, L.: Organizational Learning and New Product Development: CORE Processes. In: Thompson, L.; Levine, J. M.; Messick D. M. (Eds.): Shared Cognition in Organizations: The Management of Knowledge. Lawrence Erlbaum, London, 1999.

Olson et al. 2003

Olson, E. M.; Walker Jr., O. C.; Rueckert, R. W.; Bonnerd, J. M.: Patterns of cooperation during new product development among marketing, operations and R&D: Implications for project performance. In: Journal of Product Innovation Management (2001), Bd. 18, Nr. 4, S. 258-271.

OMG 2013

Object Management Group (OMG): MDA - The Architecture of Choice for a Changing World. URL: <http://www.omg.org/mda/> (abgerufen am 15.05.2013).

Opitz et al. 1971

Opitz, H.; Brankamp, K.; Grabowski, H.; Olbertz, H.; Simon, R.: Rechnerunterstütztes Konstruieren. In: Rau, J. (Hrsg.): Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2178, Westdeutscher Verlag, Opladen, 1971.

Orth et al. 2008

Orth, R.; Finke, I.; Voigt, S.: ProWis-Projektstudie Nr. 2: Wissen greifbar machen: Den Umgang mit Wissen beschreiben und bewerten. Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK (Hrsg.), 2008.

Otereo und Nielsen 2010

Otereo, J. M.; Nielsen, J.: Industrial System Biology. In: Industrial Biotechnology, (2010), Wiley-VCH, Weinheim, pp. 79-148.

Ottoson et al. 2006

Ottoson, S.; Björk, E.; Holmdahl, L.; Vajna, S.: Research Approaches on Product Development Processes. In: Marjanovic, D. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2006. 9th International Design Conference, Dubrovnik, 2006.

Pahl et al. 2007

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. 7. Aufl., Springer, Berlin, 2007.

Pahl und Beitz 1996

Pahl, G.; Beitz, W.: Engineering Design – A Systematic Approach. 2. Aufl., Wallace K. M. (Ed.), Wallace K. M.; Blessing, L. T. M.; Bauert, F. (Übers.), The Springer, London, 1996.

Pahl und Beitz 1984

Pahl, G.; Beitz, W.: Engineering Design. 1. Aufl., Wallace K. M. (Ed.), Pomerans, A.; Wallace K. M. (Übers.), The Design Council, London, 1984.

Parvan et al. 2010

Parvan, M.; Maurer, M.; Lindemann, U.: Software Wizard Design for Complexity Management Application. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik, 2010.

Patzak 1982

Patzak, G.: Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken. Springer, Berlin, 1982.

Petri und Reisig 2008

Petri, C. A.; Reisig, W.: Petri net. In: Scholarpedia, Jg. 3 (2008), Nr. 4:6477.

Pfeifer-Silberbach 2005

Pfeifer-Silberbach, U.: Ein Beitrag zum Monitoring des Reifegrades in der Entwicklung eines Produktes. Shaker, Aachen, 2005. Zugl. Diss. TU Darmstadt 2005.

Pichler 2009

Pichler, R.: Scrum - Agiles Projektmanagement erfolgreich einsetzen. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2009.

PMI 2008

PMI (Project Management Institute): A guide to the project management body of knowledge. 4. Aufl. Project Management Institute, Pennsylvania, 2008.

Polanyi 1985

Polanyi, M.: Implizites Wissen. Suhrkamp, Frankfurt a. M., 1985.

Ponn und Lindemann 2011

Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltungsformen. 2. Aufl. Springer, Berlin, 2011.

Ponn 2007

Ponn, J.: Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte. Dr. Hut Verlag, München, 2007. Zugl. Diss. TU München, 2007.

Popper et al. 2004

Popper, S.; Bankes, S.; Callaway, R.; DeLaurentis, D.: System-of-Systems Symposium: Report on a Summer Conversation. Potomac Institute for Policy Studies, Arlington, 2004.

Postrel 2002

Postrel, S.: Islands of Shared Knowledge: Specialization and Mutual Understanding in Problem-Solving Teams. In: Organization Science, Bd. 13 (2002), Nr. 3, S. 303–20.

Pralhad und Hamel 1990

Pralhad, C. K.; Hamel, G.: The Core Competence of the Corporation. In: Harvard Business Review (1990), Bd. 68, Nr. 3, S. 79-91.

Probst, Raub und Romhardt 2010

Probst, G. J. B.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. 6., überarb. und erw. Aufl., Gabler, Wiesbaden, 2010.

Puhl 1999

Puhl, H.: Komplexitätsmanagement. Diss. TU Kaiserslautern, 1999.

Pulm 2004

Pulm, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Dr. Hut Verlag, München, 2004. Zugl. Diss. TU München, 2004.

Puntschart 2006

Puntschart, I.: Wissensaustausch über (un)moderierte Diskussionsforen. Diss. Universität Graz, 2006.

Qureshi et al. 2013

Qureshi, A. J.; Eisenbart, B.; Dantan, J.-Y.; Blessing, L. T. M.: Design Automation with the Characteristics Properties Model and Property Driven Design for Redesign. In: Abramovici, M.; Stark, R. (Eds.): Smart Product Engineering, Lecture Notes in Production Engineering, Springer, Berlin, 2013, S. 563-572.

Race 2001

Race, P.: The lecturer's toolkit: a practical guide to learning, teaching assessment. Kogan Page, London, 2001.

Rapp 1999

Rapp, T.: Produktstrukturierung. Gabler, Wiesbaden 1999. Zugl. Diss. Univ. St. Gallen, 1999.

Rathgeber 2010

Rathgeber, B.: Modellbildung in den Kognitionswissenschaften – Hermeneutik und Anthropologie. LIT, Münster, 2010. Zugl. Diss. Karlsruher Institut für Technologie, 2010.

Reik et al. 2011

Reik, A. U.; Weiß, S.; Lindemann, U.: Lean Monitoring Card - Ein Ansatz zur mehrperspektivischen Erfolgsbeurteilung von verschwendungsreduzierenden Maßnahmen im Rahmen von Lean Development. CIDaD Working Paper Series 07 (2011), Nr. 01, S. 1-12.

Reinhart und Pohl 2011

Reinhart, G.; Pohl, J.: Production structure calendar – a strategic planning tool. In: Proceedings of 44th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP ICMS 2011), Madison, 2011.

Reinhart et al. 2009

Reinhart, G.; Schindler, S.; Pohl, J.: Zyklusorientierte Produktionstechnologieplanung. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Ausg. 104, Nr. 1-2, Hanser, München, 2009.

Reinhart et al. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement. Springer, Berlin, 1996.

Reisig 1991

Reisig, W.: Petri Nets and Algebraic Specifications. In: Theoretical Computer Science, Bd. 80 (1991), Nr. 1, S. 1-34.

Reiß und Gladysz 2013

Reiß, N.; Gladysz, A. B.: IN² – Von der INformation zur Innovation. Internetauftritt. URL: <http://www.in2-projekt.de/> (abgerufen am 20.05.2013).

Remus 2002

Remus, U.: Prozeßorientiertes Wissensmanagement – Konzepte und Modellierung, Diss. Universität Regensburg, 2002.

Riepe 2003

Riepe, B.: Integrierte Produktstrukturmodellierung in den frühen Phasen der Produktentstehung. Eine Methode zur Modularisierung variantenreicher mechatronischer Produkte. Books on Demand, Norderstedt, 2003. Zugl. Diss. Universität Paderborn, 2003.

Rhodes 1961

Rhodes, M.: An Analysis of Creativity. In: Phi Delta Kappan, Bd. 42, Nr. 7, S. 305-310.

Roedler et al. 2010

Roedler, G.; Rhodes, D.-H.; Schimmoler, H.; Jones, C.: Systems Engineering Leading Indicators Guide. INCOSE-TP-2005-001-03, Version 2.0, International Council on Systems Engineering, 2010.

Roelofsen 2011

Roelofsen, J. M. K.: Situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen. Dr. Hut Verlag, München, 2011. Zugl. Diss TU München, 2011.

Römer 2002

Römer, A.: Unterstützung des Design Problem Solving: Einsatz und Nutzen einfacher externer Hilfsmittel in den frühen Phasen des konstruktiven Entwurfsprozesses. Diss. TU Dresden, 2002.

Ropohl 1975

Ropohl, G. H.: Systemtechnik - Grundlagen und Anwendung. Carl Hanser Verlag, München, 1975.

Ropohl 2009

Ropohl, G.: Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik, 3. Aufl., Universitätsverlag, Karlsruhe, 2009.

Ropohl 2012

Ropohl, G.: Allgemeine Systemtheorie: Einführung in transdisziplinäres Denken. 1. Aufl., Edition Sigma, Berlin, 2012.

Ross 1977

D. T. Ross: Structured Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas. In: IEEE Transactions on Software Engineering, Bd. 3 (1977), Nr. 1, S. 16-34.

Roth und Prinz 1996

Roth, G.; Prinz, W.: Kopfarbeit. Kognitive Leistungen und ihre neuronalen Grundlagen. Springer Spektrum, Heidelberg, 1996.

Roth 1982

Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer, Berlin, 1982.

Rouse und Sage 2009

Rouse, W. B.; Sage, A. P.: Handbook of systems engineering and management. 2. Aufl., John Wiley & Sons, Hoboken, 2009.

Royce 1970

Royce, W.: Managing the Development of Large Software Systems. In: Technical Papers of Western Electronic Show and Convention (WesCon), Los Angeles, 1970.

Rude 1998

Rude, S.: Wissensbasiertes Konstruieren. Shaker, Aachen, 1998. Zugl. Habilitationsschrift, TU Karlsruhe, 1998.

Rutz 1994

Rutz, A.: Akzeptanz- und Transferfragen beim methodischen Konstruieren in der Industrie. In: Pahl, G. (Hrsg.): Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1994.

Samuelson und Nordhaus 1985

Samuelson, P. A.; Nordhaus, W. D.: Economics. McGraw-Hill, New York, 1985.

Sandmeyer 2009

Sandmeyer, P.: Christentum – die Lehre der Liebe. In: Stern Extra, Bd. 5 (2009), Gruner + Jahr, Hamburg, S. 26-43.

Sauter 2012

Sauter, C.: Ein Beitrag zur Integration von Wikis und Social Tagging in die Produktentstehung. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 54, Karlsruhe, 2012. Zugl. Diss. Karlsruher Institut für Technologie, 2012.

Scheer 2000

Scheer, A-W.: ARIS – Business process frameworks. Springer, New York, 2000.

Schleipen 2009

Schleipen, M.: XML-basierte Produkt- und Prozessdaten für die Leittechnik-Projektierung. In: Brauer, W.; Halang, W. A.; Holleczeck, P. (Hrsg.): Informatik aktuell. Springer, Berlin, 2009, S. 89–98.

Schmalenbach 2013

Schmalenbach, H.: Ontologien zum Bereitstellen von Gestaltungswissen am Beispiel von Ingenieurkeramik. In: Albers, A. (Hrsg.), IPEK-Forschungsberichte, Bd. 68, Karlsruhe, 2013. Zugl. Diss. Karlsruher Institut für Technologie, 2013.

Schroda 2000

Schroda, F.: Über das Ende wird am Anfang entschieden – Zur Analyse der Anforderungen von Konstruktionsaufträgen. Diss. TU Berlin, 2000.

Schuler und Görlich 2007

Schuler, H.; Görlich, Y.: Kreativität – Ursachen, Messung, Förderung und Umsetzung in Innovation. Hogrefe Göttingen, 2007.

Schwaber und Sutherland 2011

Schwaber, K.; Sutherland, J.: The Scrum Guide. In: Schwaber, K.; Armstrong, A. (Hrsg.): Scrum.org, 2011.

Schwankl 2002

Schwankl, L.: Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Dr. Hut Verlag, München, 2002. Zugl. Diss. TU München, 2002.

Segler 2000

Segler, T.: Kreativitätsförderung im Unternehmen. In: Holm-Hadulla, R. M. (Hrsg.): Kreativität. Springer, Heidelberg, 2000, S. 77-108.

Setzwein und Bücking 2006

Setzwein, C.; Bücking, E.: IT-Projekte sicher leiten - was leistet agiles Projektmanagement? In: OBJEKTSpektrum, Bd. 5 (2006), S. 47-50.

SFB768 2013

Sonderforschungsbereich 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen – verzahnte Entwicklung von Leistungsbündeln auf Basis technischer Produkte“: Internetauftritt. URL: <http://www.sfb768.tum.de/> (abgerufen am 10.05.2013).

Sharmann und Yassine 2004

Sharman, D. M.; Yassine, A.: Characterizing Complex Product Architectures. In: Systems Engineering, Bd. 7 (2004), Nr. 1, S. 35-60.

Shewart 1939

Shewart, W.: Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. Dover Publications, inc., Dover, 1939.

Sim und Duffy 2003

Sim, S. K.; Duffy, A.: Towards an ontology of generic engineering design activities. In: Research in Engineering Design, Bd. 14 (2003), Nr. 4, S. 200-223.

Smith und Morrow 1999

Smith, R. P.; Morrow, J. A.: Product development process modeling. In: Design Studies, Bd. 20 (1999), Nr. 3, S. 237-61.

Soetaert und Vandamme 2009

Soetaert, W.; Vandamme, E. J.: The scope and impact of Industrial Biotechnology. In: Industrial Biotechnology, (2009), Wiley-VCH, Weinheim, S. 1-16.

Sommer und Grosser 1996

Sommer, K.-H.; Grosser, H.: Erschließung von Kreativitätspotentialen. In: Bullinger H.-J.; Warnecke, H. J. (Hrsg.): Neue Organisationsformen in Unternehmen, Springer, Heidelberg, 1996, S. 878-888.

Stachowiak 1973

Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Springer, Wien, New York, 1973.

Staples et al. 2007

Staples, M.; Niazia, M.; Jefferya, R.; Abrahams, A.; Byatte, P.; Murphy, R.: An exploratory study of why organizations do not adopt CMMI. In: Card, D. N. (Ed.): Journal of Systems and Software, Bd. 80 (2007), Nr. 6, S. 883-895.

Starke und Tilkov 2007

Starke, G.; Tilkov, S.: SOA-Expertenwissen – Methoden, Konzepte und Praxis serviceorientierter Architekturen, dpunkt.verlag, Heidelberg, 2007.

Steck 2009

Steck, R.: Zukunftsweisende Unternehmensplattform. In: K CAD/CAM, Ausg. 7-8 (2009), Carl Hanser Verlag, München.

Steward 1962

Steward, D. V.: On an Approach to the Analysis of the Structure of Large Systems of Equations. SIAM Review, Bd. 5 (1962), S. 321-342.

Steward 1981

Steward, D. V.: The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems. IEEE Transaction on Engineering Management, Bd. 28 (1981) Nr. 3, S. 79-83.

Strebel 2003

Strebel, H.: Innovations- und Technologiemanagement. 2. Aufl. UTB, Stuttgart, 2003.

Suh 2001

Suh, N. P.: Axiomatic Design: Advances and Applications. Oxford University Press, New York, 2001.

Suh 1999

Suh, N. P.: A Theory of Complexity, Periodicity and the Design Axioms. In: Research in Engineering Design, Bd. 11 (1999), Springer, London, S. 116-131.

Suh 1990

Suh, N. P.: The Principles of Design. Oxford University Press, New York, 1990.

Suhm 1993

Suhm, A.: Produktmodellierung in wissensbasierten Konstruktionssystemen auf Basis von Lösungsmustern. Shaker, Aachen, 1993. Zugl. Diss. TU Karlsruhe, 1993.

Sure et al., 2002

Sure, Y.; Staab, S.; Angele, J.: OntoEdit: „Guiding ontology development by methodology and inferencing“ In: Proceedings of the International Conference on Ontologies, Databases and Applications of SEmanics ODBASE 2002, Irvine, 2002.

Taguchi 1987

Taguchi G: The System of Experimental Design Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Cost. Bd. 1 und 2. American Supplier Institute, Dearborn, 1987.

Takeguchi und Nonaka 1986

Takeuchi, H.; Nonaka, I.: The New Product Development Game. In: Harvard Business Review, Bd. 64 (1986), Nr. 1, S. 137-146.

TIPSS 2013

TIPSS – „Tools for Innovative Product-Service-Systems for Global Tool and Die Networks“: Internetauftritt. URL: <http://www.tipss-fp7.eu/> (abgerufen am 10.05.2013).

Tomiyama et al. 2009

Tomiyama, P.; Gu, Y.; Jin, D.; Lutters, C.; Kimura, F.: Design Methodologies: Industrial and Educational Applications. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology, Bd. 58 (2009), S. 543–565.

Tomiyama 1987

Tomiyama, T.: The Concept of Intelligent Integrated Interactive CAD Systems, CWI Report Nr. CS-R8717, Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam, 1987.

Ulrich und Eppinger 1995

Ulrich, K.; Eppinger, S.: Product Design and Development. McGraw-Hill, New York, 1995.

Uschold und Gruninger 1996

Uschold, M.; Gruninger, M.: Ontologies: principles, methods, and applications, In: Knowledge Engineering Review. Bd. 11 (1996), Nr. 2, S. 93-155.

Valkenburg und Dorst 1998

Valkenburg, R.; Dorst, K.: The reflective practice of development teams. In: Design Studies, Bd. 19 (1998), Nr. 3, S. 249–71.

van der Aalst und van Hee 2004

van der Aalst, W.; van Hee, K. M.: Workflow management: models, methods, and systems. The MIT Press, Cambridge, 2004.

van Marwyk 1997

van Marwyk, K.: Beschreibungs- und Darstellungsmethoden. In: Mertens, P.; Back, A.; Becker, J.; König, W.; Krallmann, H.; Rieger, B.; Scheer, A.-W.; Seibt, D.; Saalknecht, P.; Strunz, H.; Thome, R.; Wedekind, H. (Hrsg.): Lexikon der Wirtschaftsinformatik. 3. Aufl., Springer, Berlin, 1997.

VDI 2206 2004

VDI-Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Beuth, Berlin, 2004.

VDI 2221 1993

VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Beuth, Berlin, 1993.

Venkatesh und Davis 2000

Venkatesh, V.; Davis, F. D.: A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. In: Management Science, Bd. 46 (2000), Nr. 2, S. 186–204.

Vester 2002

Vester, F.: Die Kunst, vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. dtv, München, 2002.

Vester und Hesler 1980

Vester, F.; Hesler, A.: Sensitivitätsmodell. Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, Frankfurt a. M., 1980.

Voigt 2000

Voigt, E.: Ludwig von Bertalanffy: Die Verwissenschaftlichung des Holismus in der Systemtheorie, Überarbeitete Fassung eines Vortrages auf der 9. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Geschichte und Theorie der Biologie vom 29. Juni bis 2. Juli 2000 in Neuburg an der Donau, 2000.

von Bertalanffy 1969

von Bertalanffy, L.: General System Theory – Foundations, Development, Applications. George Braziller, New York, 1969.

Von Bertalanffy 1956

von Bertalanffy, L.: General System Theory. In: von Bertalanffy, L.; Rapoport, A. (Hrsg.): General Systems. Yearbook of the Society for the Advancement of General Systems Theory, Bd. 1., Ann Arbor, S. 1-10.

von Carlowitz 1713

von Carlowitz, H. C.: Sylvicultura oeconomica. Bayerische Staatsbibliothek, 1713, URL: http://books.google.de/books?id=_nFDAAAACAAJ (abgerufen am 03.03.2013).

Wallace et al. 2005

Wallace, K.; Ahmed, S.; Bracewell, R.: Engineering knowledge management. In: Clarkson, P. J.; Eckert, C. M. (Hrsg.): Design Process Improvement: A review of current practice. Springer, London, 2005.

Wallmeier 2001

Wallmeier S.: Potenziale in der Produktentwicklung. VDI Verlag, Düsseldorf, 2001.

Weber 2010

Weber, H.: Erstellung nutzerindividueller Dokumente für die Vermittlung von Produktentwicklungswissen durch den Einsatz von Topic Maps. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2010. Zugl. Diss. TU Darmstadt, 2010.

Weber 2005

Weber, C.: What is "Complexity"? In: Samuel, A. (Hrsg.); Lewis, W. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design – ICED'05, 2005.

Weber et al. 2004

Weber, C.; Steinbach, M.; Botta, C.: Properties and Characteristics of Product Service Systems – An Integrated View. In: Lehtonen, T.; Pulkkinen, A.; Riitahuhta, A. (Hrsg.): Product design in changing environment : Proceedings of NordDesign 2004, Tampere, 2004.

Weber und Deubel 2003

Weber, C.; Deubel, T.: New theory-based concepts for PDM and PLM. In: Folkesson, A.; Gralen, K.; Norell, M.; Sellgren, U. (Eds.): Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design, The Design Society, Stockholm, 2003.

webmasterpro 2010

webmasterpro.de (Hrsg.), International OpenOffice market shares (05.02.2010), URL: <http://www.webmasterpro.de/portal/news/2010/02/05/international-openoffice-market-shares.html> (abgerufen am 15.03.2013).

Wegner 1986

Wegner, D. M.: Transactive Memory: A Contemporary Analysis of the Group Mind. In: Mullen, B.; Goethals, G. R. (Hrsg.): Theories of Group Behaviour. Springer, New York, 1986.

Weilkiens 2008

Weilkiens, T.: Systems Engineering mit SysML/UML. 2. Aufl., dpunkt.verlag, Heidelberg, 2008.

Weinberg 1975

Weinberg, G. M.: An Introduction to General Systems Thinking. Wiley, New York, 1975.

Weinzierl 2006

Weinzierl, J.: Produktreifegrad-Management in unternehmensübergreifenden Entwicklungsnetzwerken - Ein ganzheitlicher Ansatz zur Entscheidungsunterstützung im strategischen Anlaufmanagement. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 2006. Zugl. Diss. Universität Dortmund, 2006.

Weiß 2006

Weiß, S.: Konzept und Umsetzung eines Navigators für Wissen in der Produktentwicklung. Fortschritt-Berichte VDI, Düsseldorf, 2006.

Welp et al. 2008

Welp, E. G.; Sadek, T.; Theiss, R.; Köster, M.: Ansatz einer wissensbasierten Beschreibungssprache zur funktionsorientierten Beschreibung von hybriden Leistungsbündeln. In: 19th Symposium Design for X. October 9th/10th 2008, Neukirchen, 2008.

Welp et al. 2001

Welp, E. G.; Lippold, C.; Bludau, C.: Ein System zur objektorientierten Modellierung mechatronischer Produktkonzepte (ModCoDe). In: VDI Mechatronik Tagung 2001. VDI-Berichte Nr. 1631, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001.

Wend 1993

Wend, H.-D.: Strukturelle Analyse linearer Regelungssysteme. Oldenbourg, München, 1993.

Westphal und Wartzack 2011

Westphal, C.; Wartzack, S.: Integrated Process And Product Model For The Evaluation Of Product Properties. In: Culley, S.; Hicks, B.; McAloone, T.; Howard, T.; Clarkson, P. J. (Hrsg.): Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED'11, Bd. 1, Kopenhagen, S. 538-549.

Wiener 1948

Wiener, N.: Cybematics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Technology Press, New York, 1948.

Willke 2001

Willke, H.: Systemisches Wissensmanagement, 2. Aufl., UTB, Stuttgart, 2001.

Wink 2011

Wink, M.: Molekulare Biotechnologie: Konzepte, Methoden und Anwendungen. Wiley-VCH, Weinheim, 2011.

Winner et al. 1988

Winner, R. I.; Pennell, J. P.; Bertrand, H. E.; Slusarczuk, M. M. G.: The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition (Final R-338). Institute for Defense Analyses, Alexandria, 1988.

Wynn und Clarkson 2005

Wynn, D. C.; Clarkson, P. J.: Models of designing. In: Clarkson, P. J.; Eckert, C. M. (Hrsg.): Design Process Improvement: A review of current practice. Springer, London, 2005.

Wynn 2007

Wynn, D. C.: Model-Based Approaches to Support Process Improvement in Complex Product Development. PhD Thesis, University of Cambridge, 2007.

Wynn et al. 2010a

Wynn, D. C.; Maier, A. M.; Clarkson, P. J.: How can PD process modelling be made more useful? An exploration of factors which influence modelling utility. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik, 2010.

Wynn et al. 2010b

Wynn, D. C.; Wyatt, D. F.; Nair, S. M. T.; Clarkson, P. J.: An Introduction to the Cambridge Advanced Modeller. In: Proceedings of the 1st International Conference on Modelling and Management of Engineering Processes (MMEP 2010). Cambridge, 2010.

Wynn et al. 2006

Wynn, D. C.; Eckert, C. M.; Clarkson, P. J.: Applied signposting: a modeling framework to support design process improvement. In: Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences (IDETC/CIE2006), Philadelphia, 2006.

Yoshikawa 1981

Yoshikawa, H.: General Design Theory and a CAD System. in Sata T, Warman E, (Eds.): Man-Machine Communication in CAD/CAM. North-Holland, Amsterdam, 1981, S. 35-58.

Zäh et al. 2010

Zäh, M. F.; Reinhart, G.; Karl, F.; Schindler, S.; Pohl, J.; Rimpau, C.: Cyclic Influences within the Production Resource Planning Process. In: Production Engineering, Bd. 4, Nr. 4, Springer, London, 2010.

Zäh et al. 2002

Zäh, M. F.; Lercher, B.; Thiek, S.: Adaption von Techniken des Software-Engineering für die Mechatronik. In: Konstruktion (2002), Nr. 11/12, Konradin-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 2002.

Zangemeister 1969

Zangemeister, C.: Zur Charakteristik der Systemtechnik. Vorlesungsmanuskript am Brennpunkt Systemtechnik der TU Berlin, 1969.

Zimmermann et al. 2006

Zimmermann, J.; Stark, C. Rieck, J.: Projektplanung - Modelle, Methoden, Management. Springer, Berlin 2006.

Zingel et al. 2012

Zingel, C.; Albers, A.; Matthiesen, S.; Maletz, M.: Experiences and Advancements from One Year of Explorative Application of an Integrated Model-Based Development Technique Using C&C²-A in SysML. In: IAENG International Journal of Computer Science, Bd. 39 (2012), Nr. 2, S. 165-181.

Betreute Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten

Averbeck 2011

Averbeck, S.; Co-Betreuer: Braun, A.; Betreuer: Albers, A.: Anforderungen an eine Umsetzung des iPeM als Software. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2011.

Hauenstein 2010

Hauenstein, J.; Co-Betreuer: Braun, A.; Betreuer: Albers, A.: Möglichkeit zur Erfassung eines realen Entwicklungsprozesses mit dem iPeM-Ansatz. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2010.

Heck 2013

Heck, J.; Co-Betreuer: Braun, A.; Eichhorn, W.; Betreuer: Albers, A.: A Concept for the Evaluation of Product Development Process Models. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2013.

Kuhn 2012

Kuhn S.; Co-Betreuer: Braun, A.; Betreuer: Albers, A.: Erprobung des iPeM anhand einer evolutionären Entwicklung im Anlagenbau – Modellbildung auf Basis des Metamodells iPeM –. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2012.

Pinner 2011

Pinner, T.; Co-Betreuer: Braun, A.; Betreuer: Albers, A.: Möglichkeiten ganzheitlicher Modellierung von Produktentstehungsprozessen zur Unterstützung der Produktentwicklung. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2011.

Reich 2010

Reich, M.; Co-Betreuer: Braun, A.; Muschik, S.; Betreuer: Albers, A.: Konzipierung und Erprobung der Grundlagen eines Webbasierten Tools zur Unterstützung von Produktentwicklungsprozessen. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Studienarbeit, 2010.

Sadowski 2009

Sadowski, E. ; Co-Betreuer: Braun, A.; Betreuer: Albers, A.: Entwicklung einer Funktions- und Bauteilbibliothek für die funktionsbasierte Modellierung technischer Systeme auf Basis des C&CM. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2009.

Salomon 2012

Salomon S.; Co-Betreuer: Braun, A.; Betreuer: Albers, A.: Integrierte Prozess- und Produktmodellierung zur Unterstützung der Produktentwicklung. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2012.

Serf 2013

Serf, M.; Co-Betreuer: Braun, A.; Wiedner, A.; Hartmann, M.; Betreuer: Matthiesen, S.: Konzeptentwicklung zur Optimierung der Schlagwerkscharakteristik eines Bohrhammers unter Anwendung des iPeM und C&C²-Ansatzes. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2013.

Spengler 2011

Spengler, J.; Co-Betreuer: Braun, A.; Betreuer: Albers, A.: Beitrag zur Implementierung einer grafischen Benutzerschnittstelle für das integrierte Produktentstehungsmodell. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Bachelorarbeit, 2012.

Vieweger 2012

Vieweger, M.-T.; Co-Betreuer: Braun, A.; Betreuer: Albers, A.: Studie zur Übertragbarkeit des integrierten Produktentstehungsmodells auf die biotechnologische Prozessentwicklung. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Studienarbeit, 2012.

Wald 2010

Wald, F.; Co-Betreuer: Braun, A.; Turki, T.; Betreuer: Albers, A.: Entwicklung einer Methode zur Identifikation und Darstellung von Prozessmustern. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2010.

Weitere Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten

Jaborski 2012

Jaborski, R.; Co-Betreuer: Mangold, S.; Betreuer: Matthiesen, S.: Konstruktion eines Unterwasserscooters. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2012.

Klingler 2011

Klingler, S.; Co-Betreuer: Ebel, B.; Betreuer: Albers, A.: Entwicklung eines Ansatzes zur Zielsystemmodellierung mittels Concept Maps am Beispiel einer innovativen Neuentwicklung. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2011.

Krampfert 2011

Krampfert, J.; Co-Betreuer: Börsting, P.; Sadowski, E.; Betreuer: Albers, A.: Analyse eines Produktentwicklungsprozesses am Beispiel der Entwicklung alternativer Konzepte für Flugzeugschleppstangen. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Studienarbeit, 2011.

Lampi 2012

Lampi, S.; Co-Betreuer: Mangold, S.; Schweinberger, D.; Betreuer: Matthiesen, S.: Visualisierung der Iterationen in der Produktentwicklung mit Hilfe des iPeM am Beispiel einer Getränkechankanlage. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2012.

Matutschka 2012

Matutschka, B.; Co-Betreuer: Mangold, S.; Robens, G.; Betreuer: Matthiesen, S.: Entwicklung eines Unterwasserscooters. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2012.

Poth 2011

Poth, F.; Co-Betreuer: Marxen, L.; Betreuer: Albers, A.: Erfolgsfaktoren für den Projektübergang von der Vor- in die Serienentwicklung. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2011.

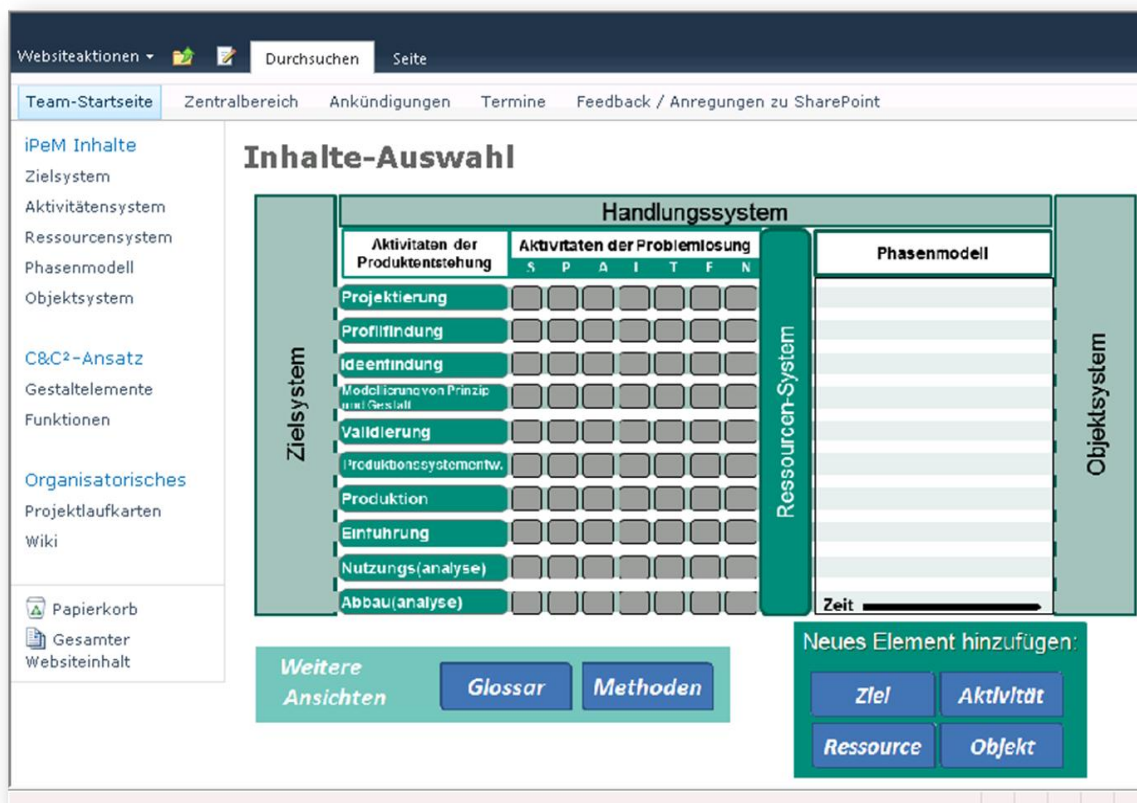
Wildermuth 2011

Wildermuth, C.; Co-Betreuer: Börsting, P.; Betreuer: Albers, A.: Ableitung und Darstellung des Referenzmodells des mikrospezifischen Produktentstehungsprozesses für werkzeuggebundene Mikrotechniken. IPEK, Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit, 2011.

11 Anhang

A. Screenshots der Implementierung in MS SharePoint

Der Startbildschirm dient dem Schnellzugriff auf die Inhalte von Ziel-, Handlungs und Objektsystem. Außerdem haben die Nutzer Zugriff auf ein Glossar sowie Methoden, die sich für die jeweiligen Felder der Aktivitätenmatrix eignen.



Das Zielsystem wurde als Liste implementiert. Diese erlaubt verschiedene, nutzer- oder situationsspezifische Ansichten. Der Screenshot zeigt Attribute, die in Form von Hyperlinks zugehörige Aktivitäten aufführen.

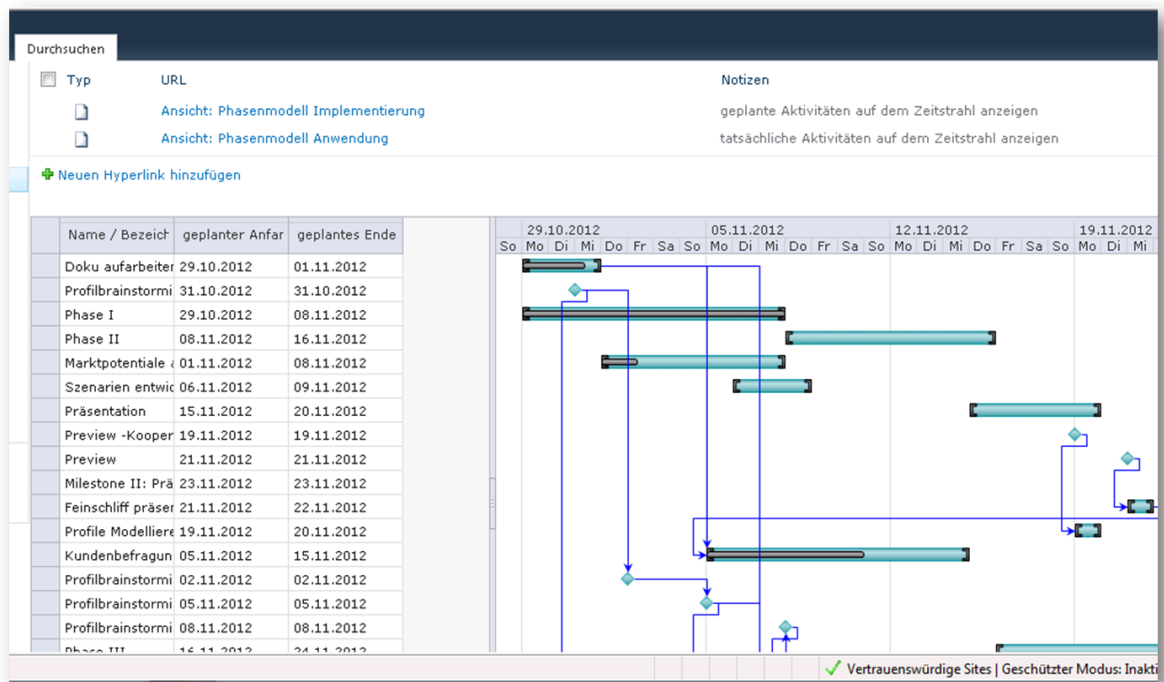
The screenshot shows a SharePoint list view for 'Team 4 - Zielsystem'. The page has a dark blue header with a search bar labeled 'Durchsuchen'. Below the header, the breadcrumb 'Team 4 - Zielsystem' and a URL are visible. A navigation bar contains links for 'Centralbereich', 'Ankündigungen', 'Termine', and 'Feedback / Anregungen zu SharePoint'. The main content area displays a list with columns for 'Typ', 'URL', and 'Notizen'. The list items are:

Typ	URL	Notizen
	Ansicht: innere Zielbeziehungen	Innere Zielbezie
	Ansicht: äußere Zielbeziehungen	Äußere Zielbezi
	Ansicht: Zielsystemüberwachung	Anzeigen von Z
	Ansicht: alle Elemente	Alle Zielsysteme

Below the list, there is a '+ Neuen Hyperlink hinzufügen' button. A second table shows the 'Name / Bezeichnung' and 'folgt aus Aktivitäten' columns:

Name / Bezeichnung	folgt aus Aktivitäten
K001. 2-3 Konzepte für Gehäuseflansch	Entscheidung Konzept GF
K001.001. Entscheidung Konzept GF	Nutzwertanalyse GF durchführen
K001.002. FEM	CAD-Modelle erstellen - Gehäuseflansch
K001.003. MKS	CAD-Modelle erstellen - Gehäuseflansch

Das Phasenmodell wird in Form eines Balkendiagramms dargestellt. Die Ansichten „Implementierungsmodell“ und „Anwendungsmodell“ sind wählbar.



B. Ergebnisse der six-thinking-hats Methode

In der six-thinking-hats Methode nach DE BONO werden nacheinander die Aspekte Information, Empfinden, Kritisches, Positives, Kreativität und Überblick erörtert.⁸³⁶ In der folgenden Zusammenstellung werden die entsprechenden positiven wie negativen Nennungen der studentischen Teams (vgl. Abschnitt 7.2) zudem jeweils anhand der in Abschnitt 5.3.1 bestimmten generellen Wirkbereiche der Prozessmodellierung gruppiert. Die Nennungen entsprechen bis auf redaktionelle Anpassungen dem Originalwortlaut; Redundanzen wurden bewusst belassen.

Information, Fakten

(nicht näher zugeordnete Nennungen)

- Jeder PEP ist individuell und einzigartig
- Es ist Pflicht dieses [System] zu benutzen
- Neuartiger Ansatz der Produktentwicklung

Nennungen bezüglich der Softwareumsetzung generell

- Steckt noch in den Kinderschuhen
- Ist noch sehr „neu“; mehr Stand der Forschung als Stand der Technik
- Datenverbindung notwendig (Strom, Netzwerk, PCs, IT)
- geringe Anforderungen an PC
- System hat einen gewissen Anschaffungspreis und ggf. Wartungs- und Updatekosten
- System läuft stabil
- Zugriff von Außerhalb
- differenzierte Zugriffsrechte
- alle Dateitypen online, einfach nur mit SharePoint aufzurufen
- Darstellung im Browser, GUI
- Abhängigkeit von der Art des Browsers
- unterstützt HTML
- Browser; kein "Programm" SharePoint
- Suchfunktion
- iPeM digital, grafisch dargestellt; grafisch beliebig gestalten
- Definition der groben Struktur durch Administrator
- Aufbau: Inhalt, Methoden, Glossar
- Papier (Druckkosten) werden minimiert
- System basiert auf Microsoft, gebunden an MS- Software
- diese oder ähnliche Software in vielen Unternehmen verfügbar
- Bedienoberfläche hat Ähnlichkeiten zu Office
- Darstellung ist abhängig vom Browser
- 1 Click-Philosophie
- Grundfähigkeiten im Umgang mit Computer und MS-Software muss beim Mitarbeiter vorausgesetzt werden
- Es gibt eine Hilfestellung (F1)
- System wird regelmäßig gesichert
- Möglichkeit zum Backup kann dezentral erfolgen durch gesonderte IT
- Gesamtes System kann schnell exportiert und woanders importiert werden
- Keine Synchronisation mit Dateilaufwerk im System vorgesehen
- Alle Informationen in einem System abgelegt, keine redundanten Systeme
- Barrierefreiheit kann realisiert werden für eingeschränkte Personen
- Internetbasiertes Tool

⁸³⁶ vgl. de Bono 1990

- System ist, da virtuell, anfällig für Viren
- Collaborative Working wird ermöglicht
- System ist extern zugreifbar
- Abteilungen können von überall auf der Welt auf System zugreifen
- Homeoffice kann ermöglicht werden
- Für Zugriff werden Einzelarbeitsplätze benötigt und vorausgesetzt
- Jeder Mitarbeiter hat einen eindeutigen Account
- Arbeit der Mitarbeiter verlagert sich in Richtung Computerarbeitsplatz
- Austauschbarkeit von Daten wird ermöglicht
- Zeitliche und strukturelle Information
- Es muss einen Mitarbeiter geben, der Systemüberwachung übernimmt (Systemingenieur)
- Hart codierte Softwareaspekte können vom Endnutzer und Betreiber nicht verändert werden

Wirkbereich Projektdurchführung: Grenzen

- Wenn es mehrere Sharepoints gibt, sieht man diese nirgendwo aufgelistet; umständlich wenn man an mehreren Projekten arbeitet oder in fremden Projekten etwas nachschauen will
- Die Akzeptanz von Systemen wie SharePoint ist in manchen Unternehmen eher gering
- Wird nicht von allen Probanden angenommen
- Es macht nur Sinn wenn alle Beteiligten das System benutzen und pflegen
- Wichtig: hoher Prozentsatz an Nutzern
- Benutzen des iPeM erfordert immer einen Mehraufwand
- Hoher Zeitaufwand
- Zeitdauer, um Elemente anzulegen
- Zeitdauer, um Elemente zu finden
- Mehrere Schritte notwendig, um ein Dokument hochzuladen
- Aufwendig und mühsam
- Einzelupload von Dokumenten
- Max. 50 MB Upload pro Datei
- Uneindeutige und mehrfache Dateibenennen
- Datenverlust möglich
- Keine Verknüpfung mit dem PDM-System
- Ist für die Anwender nicht umstrukturierbar
- Einarbeitungszeit notwendig
- Nutzen (Vorteil) des iPeM ist nicht gesichert (Implementierung wie auch Anwendung)

Wirkbereich Projektdurchführung: Möglichkeiten

- KIT Farben werden verwendet
- Oberfläche ist recht einfach gehalten
- SharePoint bietet eine Basis
- verknüpft mehrere (MS Office) Applikationen
- Planung, Arbeit und Dokumentation in einem Programm
- Verfolgte Ziele:
 - Flächendeckender Einsatz
 - Entwicklungsprozess beschleunigen
 - Erfahrungsplattform
 - Gemachte Fehler vermeiden
 - Vereinheitlichung des PEP
 - Nacharbeiten und Lernen vereinfachen
 - Bewahrung der Individualität des PEP
- Verknüpfung iPeM - realer PEP
- jede Art von Information ablegbar
- Implementierung des ZHO-Modells
- Elemente in ihrem Zusammenhang verlinkt
- Alle Phasen des PEP abgebildet
- Orientierung für Produktentwickler
- Visualisierung der Verknüpfungen
- Aktivitäten werden mitprotokolliert
- Verantwortlichkeiten zuweisbar

- Jede Abteilung / Team bekommt eigene Oberfläche, wo Verknüpfungen und Links zu anderen Abteilungen/Teams erstellt werden können
- Jede Information „ist“ im SharePoint zugänglich
- Dokumente (Microsoft Office) können direkt aus SharePoint bearbeitet werden
- Dokument „kann“ nur von einer Person gleichzeitig bearbeitet werden (auschecken sonst Problem)
- Projektleitung hat guten Einblick in alle Vorgänge und Abläufe
- Chronologischer Arbeitsablauf ist nach verfolgbar
- Zeitmanagement auf einen Blick
- Nutzerverhalten kann gesteuert werden
- Erfolgskontrollen jederzeit möglich
- Fortschrittskontrolle (Prozent des IST-SOLL-Vergleich)
- Daten können gefiltert werden
- Filterfunktion
- Benutzerspezifische Ansichten können eingerichtet werden
- Ansichtsfunktionen
- Typisches Vorgehen des PEP kann analysiert werden
- Integrierte Zeitplanung
- Synchronisierung mit Outlook-Kalender
- Unterstützung von C&C²-A
- Zugriff von überall möglich (global), wenn Datenverbindung besteht
- Gemeinsames Bearbeiten von Dateien möglich
- Zeitgleiches Bearbeiten von Dokumenten in PP und Word möglich
- Alte Versionen werden gespeichert
- Wiki als Wissensbasis
- Unbegrenzte Datenmengen speicherbar und verknüpfbar
- Glossar vorhanden

Emotionales

(nicht näher zugeordnete Nennungen)

- Hassliebe – Aufwand vs. Chancen auf Nutzen
- Gefühle abhängig von Anwender
- Veränderung von Gefühlen durch/während der Anwendung
- Gezwungen aufgrund der Pflichtfelder. Kontinuierliches Arbeiten notwendig, wenn Vollständigkeit gefordert wird
- aktuell noch Gegenstand der Forschung

Wirkbereich Projektdurchführung: Grenzen

- Ablehnung
- Abneigung
- Teammitglieder fühlen sich als Versuchskaninchen
- Für IP ist SharePoint unnötig
- Keine Lust darauf
- Ablehnung: Aufwand was Neues zu lernen. Unverhältnismäßiger Aufwand
- mangelnde Bereitschaft
- Klotz am Bein
- Verwirrung
- Skepsis: funktioniert das? Mache ich das „richtig“? Sind die Daten gesichert? Finde ich sie wieder?
- Zweifel über den Nutzen
- Unsicherheit – Wie wende ich die Methode richtig an? Nutzt das auch wirklich was?
- Unsicherheit wenn Systemausfall
- Verwirrung aufgrund der Bedienung (Oberfläche, zu viel Info auf einmal)
- Matrixdarstellung überfordert
- intuitive Bedienung ausbaufähig
- Überwältigung aufgrund der Komplexität der Anwendung, der Verknüpfungen und vielen Infos
- Überforderung anfangs; Einarbeitung notwendig
- Überforderung durch Vielfalt von Dokumentierten Inhalten; Vielfalt an Methoden
- lange Einführungsphasen in großen Unternehmen
- Überforderung durch Komplexität

- Aus Komplexität folgt hohes Risiko
- Trägheit
- Unverständlich
- Es strengt zu sehr an
- Durch Ausprobieren negative Erfahrungen gesammelt wegen der Komplexität
- Abneigung und Ablehnung, unterschwelliger Hass
- Negative Erfahrungen überwiegen
- Frust wegen fehlender Erreichbarkeit
- Viel zu Zeitaufwendig
- Pflege ist sehr lästig
- Man ärgert sich wenn man lange braucht um Informationen einzufügen
- Frustrierend, Informationen mehrfach einzutragen
- Nervt, dass man Sachen mehrfach machen muss ⇒ man muss mehrere Systeme pflegen
- Beanspruchung, lange Zeit vor Computerarbeitsplatz zu verbringen
- (überhöhte) Erwartungen an Nutzen und Bedienerfreundlichkeit
- Gestresst(unterbewusst)
- Genervt vom Aufwand der Anwendung
- großer Aufwand, Ablehnung
- genervt, gereizt
- Neid, wenn andere mehr Daten eingeben
- Frustration durch die Bedienung
- Frust (umständliche Bedienung)
- Frustriert, dass man nicht die korrekte Stelle findet um Informationen einzutragen
- Nichtfunktionalität frustriert
- Frust, weil Bedienung nicht zufriedenstellend ist
- Gefühl der geringen Effizienz wenn man manche Schritte dreimal machen muss
- Genervt, weil es von eigentlicher Arbeit abhält
- Genervt über Bedienkonzept
- Ernüchterung aufgrund fraglichen/unklaren Nutzen, Bedienerfreundlichkeit
- nötiges Übel
- Stress wegen aufwändiger Pflege und Komplexität
- Aggression da realitätsfern
- Querverweise nicht zu machen, macht mich traurig
- Lust wird einem genommen, sich weiter damit zu beschäftigen
- Wenn das System nicht funktioniert, sinkt die Motivation weiter zu arbeiten
- Frustrationsschwelle sinkt immer weiter
- Keine Chance aus dem Sumpf zu entkommen ⇒ Sumpf der Verdammnis
- Frust aufgrund der Darstellung
- Oberfläche unschön
- Nervig, dass man bei manchen Browsern das Passwort mehrfach eingeben muss
- Angst vor Neueinführung eines Systems / Neuerungen
- Angst vor Datenverlust
- Angst, dass man unnötig wird indem man sein Wissen ins System überträgt
- Man fühlt sich kontrolliert und beobachtet
- Angst vor falschem Eindruck
- Angst vor falschen Eingaben
- Angst des Versagens bei unprofessioneller Durchführung
- Sorge, dass andere Leute die selbst eingepflegten Informationen verändern könnten
- Gut gedacht, schlecht ausgeführt
- Zeitplanung sinnvoll aber zu aufwendig
- Misstrauen gegenüber der Zeitplanung; wahrscheinlich nicht aktuell
- Ärger über das Nicht-Nutzen der Planung durch das Team

Wirkbereich Projektdurchführung: Möglichkeiten

- Interesse an neuer Methode
- Neugier – Welche Chancen stecken darin?
- Generell sinnvoll

- Strukturiert
- Aufgeräumtheit
- Vorgegebene Denkanäle
- Sicherheitsgefühl
- Absicherung, dass man es richtig macht
- Gefühl von Sicherheit, dass man Informationen sicher abgelegt weiß
- Unterstützung der Produktentwicklung
- Matrixdarstellung führt durch PEP
- Zufriedenheitsgefühl, dass man Dinge sauber abgelegt und dokumentiert hat
- Systematisches Vorgehen vermittelt einem Gefühl von Sicherheit, sodass man gedanklich weiß nichts vergessen zu haben
- kurzzeitig gutes Gefühl, bei großen Vorgängen
- Zufriedenheit wenn man seinen eigenen Projektfortschritt nachverfolgen kann
- Nachvollziehbar, wann gearbeitet wurde
- Gefühl, informiert zu sein woran andere Teamkollegen gerade arbeiten ⇒ Gefühl nichts zu verpassen motiviert
- Freude über erleichterte Absprachen (Teamübergreifend)
- Wenn man im SP das Projektziel näher kommen sieht, ist man motiviert dieses zu erreichen
- Gemeinsame Arbeiten an einem großen System stärkt den Willen etwas gemeinsames zu erreichen ⇒ Teamleistung
- Zusammengehörigkeit durch eng verknüpfte Zusammenarbeit verschiedener Kollegen (wenn auch örtlich getrennt)
- Verbindliche Projektlaufkaten
- Wohlbefinden, unmittelbarer Zugriff zur PE Theorie (Methoden, Workshopunterlagen)
- Bequeme Nachschlagemöglichkeit für Methoden
- Gute Lernhilfe, da Informationen bequem nachvollziehbar
- Wiki ist super und macht Spaß
- Sicherheit durch schematisches (vorgegebenes) Vorgehen ⇒ es kann sich eine Routine entwickeln
- gibt Sicherheit bei Einhaltung des Zeitplans
- sichere Zielerreichung
- Zeitersparnis im PEP
- Spaß, beim Informationen finden
- Vertrautheit, durch wiederentdecken derselben Struktur (SharePoint) / Bekanntheit
- Vertrautheit durch iPeM-Anwendung
- Es fühlt sich offizieller an mit solch einem umfangreichen System zu arbeiten (wie in großer Firma)
- Mühsames Einarbeiten aber gutes Ergebnis
- großes Potenzial ("das ist die Zukunft")

Kritisches

(nicht näher zugeordnete Nennungen)

- Umstrukturierung der Abteilung/Prozesse notwendig ⇒ möglicherweise fehlendes Commitment, Unsicherheit
- Risiko, dass der Investitionsaufwand rentabel ist
- unterstützt tägliche Arbeit nicht; nur zu Dokuzwecken
- Hoher Zeitaufwand
- Nutzen liegt nur bedingt auf der Seite des Anwenders
- Man versteht eigene Eintragungen nicht
- Zuordnung Dokumentation - iPeM uneinheitlich
- Reaktion auf Feedback im Kritikbereich
- iPeM dient nur zur übergeordneten Organisation; nicht zum Erstellen der Dateien
- SharePoint zu starr für flexible Kreativmethoden

Wirkbereich Projektdurchführung: Grenzen der Softwareumsetzung generell

- Umsetzung vom iPeM im SharePoint ist noch nicht ausgereift
- Noch nicht ausgereift
- Zu geringe Unterstützung, da keine leicht von der Hand gehende Bedienung, eher eine Last
- Höchstens als Beta Version
- Unterschiedliche Darstellung in unterschiedlichen Browsern

- Geisterbilderdarstellung in manchen Browsern
- In manchen Browsern kann nicht gescrollt werden (Scrollbar fehlt, z.B. Chrome)
- Nicht immer Erreichbar (Webseite lässt sich nicht öffnen von manchen PCs)
- Kompatibilität mit weiteren Browsern (IE notwendig zur Benutzung)
- Zu Aufwendig
- Viel zu Umständlich
- Manchmal kompliziert einfache Sachen umzusetzen
- Sehr viele Untermenüs
- Zu lange Einarbeitungszeit
- Jedes Dokument muss einzeln geöffnet werden
- Verschieben von Objekten im OS erschwert
- Upload zu lange und zu umständlich
- Objekte können nicht vollständig hochgeladen werden wenn sie zu groß sind
- Mehrfachupload funktioniert nicht
- Mehrfachupload extrem umständlich
- Mehrfachupload umständlich ⇒ schnelles Hochladen geht nicht, da nachträgliches einchecken Zeit kostet und Bedingungen erzwungen werden
- Maximale Dateigröße ca. 100 MB
- Hochladen von Dokumenten von Heim-PC nicht immer möglich
- öffnen von Dateien im Browser nicht möglich
- Ein- und Auschecken umständlich
- Unterschiedliche Dateivarianten nur schwierig verwaltbar
- Maximale Anzahl an Objekten pro Seite nicht einstellbar
- Blättern zwischen Seiten umständlich
- Keine Vorschaufunktion von Bildern
- Keine mehrfache und gleichzeitige Arbeit
- Mehrere Bearbeitungen gleichzeitig produziert Fehler
- Bearbeitung von mehreren Benutzern an einem Dokument nicht möglich
- Beim Bearbeiten der Dokumente werden die Dokument nicht automatisch ausgecheckt ⇒ kann zu Problemen führen
- Keine direkte Bearbeitung möglich (herunterladen, verändern, speichern, hochladen)
- Dateien müssen in anderen Programmen geöffnet werden; kein Viewer
- alte Versionen gehen verloren
- Nicht einfach offensichtlich wer welche Rechte hat
- Bei Netzwerkausfall kann keiner mehr arbeiten (erheblicher wirtschaftlicher Schaden durch Arbeitsausfall)
- Daten können leicht verloren gehen (Viren, Datendiebstahl etc.)
- Auswahlfenster nicht skalierbar
- Reiterleiste nicht konsistent
- Keine Dropdownmenüs zum Springen in andere Bereiche

Grenzen: leicht zu behebende Software-Aspekte

- Kein automatischer Login
- Berechtigungsvergabe ungenügend
- Teamlogo/C&CM-Bild können nicht hochgeladen werden
- Bearbeitbarkeit der Teamseiten stark eingeschränkt
- Wiki/schwarzes Brett fehlt
- KIS fehlt
- nur endgültige Objekte dürfen in Ordnerstruktur; kein Platz für Gedankengänge...
- Einige Module sind nicht mächtig genug (Phasenmodell – One Note ist deutlich besser)
- Synchronisierung mit Outlook funktioniert nicht
- Kalendersynchronisation mit Outlook nicht vollständig möglich
- Kein echter Teamkalender
- Kein Übertrag von Aktivitäten auf Kalender möglich
- Erinnerungen an Aktivitäten können nicht eingestellt werden
- kein Zwang zur Umsetzung der Zeitplanung
- Keine Abgrenzung von Verantwortlichen und Umsetzenden möglich
- fehlende Prioritätensetzung

- Man kann eigene Aktivitäten nicht einfach und schnell einsehen
- Button „meine Aktivitäten“ nicht vorhanden
- Ordnung/Übersichtlichkeit des Phasenplans optimierungsbedürftig
- schlechte Darstellung des Phasenmodells
- Keine/Erschwerte Bearbeitung des Aktivitätensystems im Phasenplan möglich
- Phasenplan nur vorhanden bei eingetragendem IST-Verlauf
- Voreinstellung automatisieren (z.B. Phasen mit Kalender abgleichen)
- alphabetische Ordnung zerstört Darstellung des zeitlichen Ablaufs
- Bei Zielen keine Fristen eintragbar
- Codierung (für Zuweisung) der Aktivitäten und Ziele fehlt
- ZHO-Reihenfolge nicht konsequent implementiert
- Zu viele Pflichtfelder beim Anlegen von Aktivitäten, Zielen Objekten
- unnötige Pflichtfelder
- Sinn der Pflichtfelder erschließt sich nicht
- Kästchen zur Namenseintragung sind zu klein
- Gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Objekte/Aktivitäten nicht möglich (z.B. 1 Objekt soll zu 4 Aktivitäten zugewiesen werden)
- Finanzplanung nicht in Bereiche unterteilbar
- Keine Redundanz mit IP Ordnersystem
- Viele Iterationen nötig bis Verlinkung untereinander vollständig
- Keine automatische Rückverlinkung
- Keine selbstständige Rückverlinkung (Aktivität - OS)
- Aktualisierung von Aktivitäten/Objekten funktioniert nicht
- veraltete Links bei Methoden

Grenzen: Intuitivität der Visualisierung

- Nicht intuitiv
- Ansichtsfunktion funktioniert nicht
- Benutzerunfreundliche Darstellung
- Komplexität
- Graphische Oberfläche nicht ansprechend (sieht altbacken aus)
- Startoberfläche nicht ergänzbar/überarbeitbar
- Design nicht ansprechend
- Design/Layout schlecht (z.B. keine optische Abgrenzung zw. Objekt, Ressource etc.)
- bei vielen Daten sehr aufgebläht
- schlechte Übersichtlichkeit
- Im Laufe des Projekts folgt Unübersichtlichkeit
- Unübersichtlichkeit der Zusammenhänge
- Doppeldeutigkeit zw. Namen und Bezeichnung
- Menüleiste links nicht vollständig
- Ansichten sind zu aufwendig
- Sehr unübersichtlich
- Man kann Grafiken nicht ändern (Startgrafik, Teamlogo, ...)
- Ansichten funktionieren nicht (OS usw.)
- Dateityp nicht über Symbol sichtbar
- Fehlende Darstellung von Ordnerstruktur, Zusammenhängen etc.
- C&C²-A schlecht umgesetzt; Darstellung schlecht
- C&C²A macht keinen Sinn ohne das Systembild
- keine Unterscheidung zw. Ordner/Objekt beim Verlinken
- Phasendiagramm unübersichtlich
- Phasendiagramm nicht kalendarisch sortiert
- unübersichtliche Aufgabenverteilung; kein Zeitverlauf
- Keine sinnvolle Ordnung der Aktivitäten
- Lange Präfixe können nicht mehr angezeigt werden
- kein automatisches Generieren der Präfixe
- Zu kleine Kästen für Textdarstellung bei Verlinkung (z.B. Aktivität)
- Fenstergröße nicht anpassbar

- Unübersichtlichkeit der gesammelten Ziele (keine durchlaufende Nummer)
- Ansicht von Projektlaufroute extrem unübersichtlich
- Suchfunktion unzureichend

Wirkbereich Projektdurchführung: Grenzen der Struktur (hier: Implementierung)

- Benutzerunfreundlich
- komplizierte Struktur
- redundante Info
- Bezifferung zu kompliziert
- Schlechte Nummernvergabe
- Präfix (00xx...) umständlich
- Aufbau der Präfixe im C&C²-A unklar
- Extra Präfixe für OS notwendig, da Ordner nicht geöffnet werden können

Wirkbereich Projektdurchführung: Grenzen durch Administration und Dynamik

- Hoher Zeitaufwand
- hoher Zeitaufwand bei der Pflege
- hoher Aufwand, Objekte einzugeben
- Eintragen und Suchen von Information dauert zu lange
- Nutzen gering (Ordnerstruktur wäre gleichwertig)
- Umständlich (Eingabe, Pflege, Verknüpfung, Rückverfolgung)
- Keine Verlinkungen "rückwärts" automatisch möglich (Hyperlink)
- Keine Änderungshistorie
- Keine Änderungen online
- Keine Copy Paste Funktion in der Wiki
- schlechtes Informieren der Teammitglieder

Wirkbereich der Projektnachbereitung: Grenzen hinsichtlich der Nachhaltigkeit

- Fehlende Referenzmodelle der vergangenen Jahrgänge
- Man muss immer suchen, um Info zu finden

Perspektive der Aus- und Weiterbildung: Grenzen

- Fundierte und umfangreiche Anleitung und Einweisung notwendig
- Keine richtige Einweisung
- Gute Anleitung fehlt
- hoher Zeitaufwand beim Verstehen
- Es wurde keine ausreichende Einführung gegeben (unbedingt nötig!)
- Mensch denkt in Zeit; kein Nutzen in PE, da kein Zeitbezug

Positives

(nicht näher zugeordnete Nennungen)

- Prestige

Perspektive der Aus- und Weiterbildung: Möglichkeiten des zugrundeliegenden Metamodells

- Kundenorientiertes Modell
- Guter Gedankengang
- gut für schnelles Einarbeiten
- Übersicht über die einzelnen Schritte des PEP
- Mit universellem System das adaptiv ist kann auf individuelle Projekte (jedes Projekt ist individuell und einzigartig) eingegangen werden
- Gemeinsame Sprache visualisiert
- Erlernen des iPeM möglich
- Erleichterung des iPeM-Verständnisses
- Vereinfachte Anwendung des iPeM
- Gedankengänge in Wiki einarbeitbar
- kurze Einarbeitungszeit in das iPeM Modell (Erklärung implementiert, dadurch Anwendung direkt möglich)
- iPeM kann kontrolliert und verbessert werden ⇒ Forschung am lebenden Objekt

Wirkbereich Projektdurchführung: Möglichkeiten infolge der Struktur; Durchgängigkeit

- Gute Informationsbasis für große Unternehmen

- Gemeinsame Wissensbasis für alle Projektbeteiligten
- Wissenskonservation
- super Wissensspeicher; Nachschlagewerk für Methoden und Wissen
- Alle PEP-Infos an einem Ort
- digitale Verfügbarkeit
- Visualisierung
- Übersicht (z.B. Aufgaben der anderen)
- Informationsaustausch
- Kontrolle
- Auch komplexe Produkte/Prozesse abbildbar
- Zieldefinition am Anfang eines Projektes
- Transparenz
- Transparente Abhängigkeiten (z.B. Konflikte, Verstärkung)
- Intuitives Bedienkonzept auch für Anfänger durch iPcM-Grafik
- zentraler Zugriffsteil
- Strukturierte Ablage
- Verlinkung optisch dargestellt (einfache Bedienung in SP)
- ZHO-Struktur übersichtlich
- ZS, HS, OS sind verknüpft miteinander
- Verdeutlichung der Verknüpfungen zwischen ZHO
- gute Verknüpfung von ZHO
- "Zwang", sich Verknüpfungen zu vergegenwärtigen
- Welche Ziele werden verfolgt, Verknüpfung mit Aufgaben
- Verknüpfung von Objekten/Dokumenten zu Aktivitäten und Zielen
- Objekte und Aktivitäten sind direkt miteinander verknüpft ⇒ beugt Unordnung vor
- gute Verlinkung zw. den Objekten
- Anstehende Aktivitäten im Projektverlauf unmittelbar erkennbar
- Zeitlicher Ablauf des PEP
- Übersichtlichkeit durch die Matrizenansicht gegeben (Visualisierung)
- Ressourcensystem schafft zentralen Überblick über Finanzen
- Gute Orientierung im PEP
- Weniger Kommunikation mit den Teamkollegen
- Idee der Verknüpfung von Phasenmodell und Ergebnissen
- Wechselwirkungen und Zusammenhänge können leicht erkannt werden vor allem durch das C&CM

Wirkbereich Projektdurchführung: Möglichkeiten durch methodische/systematische Unterstützung

- Zentraler Kalender ⇒ Einfache Terminabsprache
- Verknüpfung Produktentstehung - SPALTEN
- Entwicklungsfortschritt logisch nachvollziehbar
- gezwungen zum systematischen Arbeiten
- Management- und Entwickler-Sicht gut verbunden
- Projektleiter kann (bei großen Personengruppen) leichter den Überblick behalten
- Das Vorgehen ist für alle ersichtlich
- problemorientiertes Arbeiten durch SPALTEN gut umgesetzt
- Zeitmanagement verbessert - besser planbar
- Ressourcen gut aufteilbar
- Verantwortungsbereiche können leicht abgesehen werden und nachverfolgt
- Zwang, von Anfang an ein Zeitmanagement aufzubauen
- Aufgabenverteilung an unterschiedliche Teammitglieder / Entlastung des Teamsprechers
- gut nachvollziehbar wer was wann gemacht hat
- Eigene Aufgaben auf einen Klick erkennbar
- zielorientiertes Arbeiten
- Systematisch, klare Struktur. Man sieht IST- und SOLL-Zustand
- guter Abgleich Planung - Realisierung
- durch ZHO-Zusammenhänge weiß man, wo man steht
- Fortschritt kann gut visualisiert werden
- Möglichkeit zur Selbstkontrolle

- Aktueller Stand unmittelbar erkennbar
- Man wird zum systematischen Vorgehen gezwungen durch das implementierte System, keine Möglichkeit zur Abweichung
- gezwungen, Strukturen aufzubauen
- Es werden keine Projektschritte vergessen oder übersehen, oder absichtlich vergessen; zum Beispiel die Dokumentation
- Schaffen eines erzwungenen methodischen Vorgehens \Rightarrow Ziele müssen gesetzt werden
- Finden der richtige Methoden über Matrix zur Entwicklungsphase
- Methodenauswahl im jeweiligen Schritt wird erleichtert, Methoden sind übersichtlich aufgelistet
- Ausführliche Erklärung der Methode
- Verknüpfung von Methode und Prozess
- Methodenbibliothek und Glossar

Wirkbereich Projektdurchführung: Möglichkeiten durch Administration und EDV

- System läuft auf einem Server, nicht lokal
- Wartung des Systems kann gut gesondert erfolgen, da dezentral aufgebaut
- Information zentral verwalten und ablegen
- Information immer aktuell
- Einheitliche Modellsprache
- sinnvolle Datensicherung
- Überall Zugang
- Dezentral
- überall verfügbar
- Zugänglichkeit aller Daten (SharePoint) von überall abrufbar
- Direkter Informationszugriff zu jeder Uhrzeit
- Suchfunktion
- einfache Abstimmung bei lokaler Trennung der Beteiligten
- gut nutzbar, auch bei großer Gruppengröße
- Schnelle einfacher Abstimmung mit anderen Abteilungen / Teams
- einfache Pflege
- Zusammenfassung verschiedener Softwaretools (Outlook, Excel, Word...)
- Anzeige aktualisierter Dateien
- Kontaktdaten zentral verfügbar
- Funktion der Personen gut sichtbar

Wirkbereich Projektdurchführung: Möglichkeiten der Modellierung

- Gute graphische Oberfläche
- Der komplette Ablauf des iPeM ist bereits auf dem Startbildschirm visuell verfügbar
- Praktische Umsetzung des iPeM
- Team hat auch Freiräume
- motiviert die Anwendung des Modells
- Überprüfung einzelner Aspekte des iPeM in Bezug auf die Anwender

Wirkbereich der Projektnachbereitung: Möglichkeiten der Nachhaltigkeit

- Kompletter Ablauf der PE immer zugänglich
- Die Entwicklungsschritte des Projektes werden klar ersichtlich
- Nachvollziehbare Entwicklungschronik (Vergangenheit, IST, Zukunft)
- Weg der Erfindung nachvollziehbar (Aktivitäten + Objekte)
- Automatische Dokumentation und Nachverfolgung
- gute Möglichkeiten zur Weitergabe an Kunden
- Kontrolle (für Weisungsgebenden), ob und wie Methode angewandt wird
- Nutzen für Kontroller
- Einfache, tabellarische und übersichtliche Abstimmung mit Projektpartner (extern und intern) durch Projektaufkarte
- Nachvollziehbar auch nach langer Zeit
- Entscheidungsbegründung kann im Nachhinein gut nachempfunden werden.
- Objekte sind auch später noch eindeutig den Handlungen und vor allem den Zielen eindeutig zuzuordnen
- Schafft Referenzmodell für nächstes IPeM

- Lernen für die nächste Phase
- Leicht neue Projekte durchzuführen, sobald das System einmal eingearbeitet wurde
- Leicht neue Mitarbeiter in bestehende Vorgänge einzuarbeiten

Kreatives

(nicht näher zugeordnete Nennungen)

- Eigene Software für iPeM
- KEIN SAP-iPeM
- Unterschied zwischen Ziel und Aktivität oft nicht klar
- Einfluss auf die Struktur ermöglichen
- Anonymität könnte Kreativität fördern
- Anreizsystem
- open source

Wirkbereich Projektdurchführung: Möglichkeiten der Handhabung

- Zur Einführung des Systems Workshop für einzelne Rollen anbieten
- Variabler gestalten
- Berechtigungen vergeben
- Bilduploadrechte für C&C²A Modell und Teamlogo korrekt vergeben
- Verantwortlichkeiten zuweisen können
- Online-Hilfe anbieten / Interaktives Handbuch
- Einfache Bedienung durch Buttons
- Wizzard von grob nach fein, der Zusammenhänge selbstständig abfraget/erstellt
- selbstständiges Erinnern der Aufgaben an die Teilnehmer - zwingt zum Eintragen des Fortschritts
- Nomenklatur von Aktivitäten und Zielen vorgeben
- Prioritätensetzung bei Aufgaben
- Auswahl der Start- und Enddatensätze der Seite (für Aktivitätensystem, Phasenmodell etc.)
- selbstständige Zuweisung neuer Aufgaben an die Teilnehmer
- Bearbeitungsmöglichkeit von Aktivitäten im Phasenmodell schaffen
- Aktivitäten von andern Phasen ausblendbar gestalten, sodass Fehler bei der Aktivitätenauswahl vermieden werden
- Finanzplanung nach Projektgliederung und Projektphasen möglich
- Finanzplanung potenter gestalten (Finanzmathematische Operationen etc.)
- Dokumentation durch einfache Wiki
- Bei Mehrfachuploads Auswahlmöglichkeit, ob Dateiname auch Objektname sein soll
- Verschieben von Dateien im Objektsystem ermöglichen
- Verschieben im Objektsystem möglich machen
- drag & drop Interface
- drag & drop für OS
- Automatisches Auschecken bei Dokument bearbeiten implementieren
- Gleichzeitiges Erstellen von Zielen und zugehörigen Aktivitäten
- Automatisches Aktualisieren der Objektverlinkung in der Aktivität, wenn Objekt eingecheckt wird.
- automatische Erstellung von Links
- Bei Aktualisierung prüfen auf fehlende Verlinkungen; idealerweise trägt SharePoint diese (z.B. nachts) selbstständig nach
- Verlinkung mit Projektphasen im Ressourcensystem (Summe der Phase, Abgleich mit Soll aus Target Costing, Summe der Zielkosten...)
- Filter für Ziele und Objekte beim Anlegen von Aktivitäten (beim Auswählen der Phase am Anfang werden automatisch nur noch die Ziele und Objekte dieser Phase angezeigt)
- Vorgängeraktivität beim Anlegen einer Aktivität leichter auffindbar machen / Filter
- Unterschiedliche Filter (z.B. in „neue Aktivität“ Darstellung) bei der Darstellung implementieren
- Elemente als Gruppe bearbeiten
- Dropdown-Menüs vorsehen
- SharePoint an Apple abgeben
- Android App
- Verknüpfung mit Ordnerstruktur (Dropbox)
- Anbindung an Netzlaufwerk
- Offlinemöglichkeit vorsehen

- schnellerer Datenaustausch

Perspektive der Projektdurchführung: Möglichkeiten der Visualisierung

- Nutzer in Gestaltung der Oberfläche und Struktur stärker einbinden und somit SharePoint individualisieren.
- Jeder Nutzer individueller Startbildschirm mit eigenen Aktivitäten (Was muss ich machen,
- Startbildschirm: überladen, NUR iPeM wäre besser
- Optisch ansprechendere Oberfläche
- Ansichtsmöglichkeiten verbessern
- Verschiedene Ansichten ⇒ unklare Navigation
- Visualisieren von Verknüpfungen ermöglichen (variabel)
- grafische Unterscheidung von Ressourcen, Aktivitäten etc.
- Baumstruktur der Ziele
- Baumstruktur der Ziele (Was ist auf derselben Ebene? Was gehört zu welcher Phase?)
- grafische Darstellung von ZHO als Mindmaps
- übersichtliche grafisch Ausgabe im Stil von UML
- Verschiedene Abstraktionsebenen der Vernetzung
- Verschiedene Informationsebene
- Verschiedene Ansichten z.B. als Mind Map
- Phasenmodell verbessern ⇒ Ziele können nicht abgebildet werden
- Phasenmodell nach Projektphasen eingeteilt
- Sortierung vom Phasenmodell nach Datum speicherbar
- Sortierung des Phasenmodells durch verschieben ermöglichen
- Timeline zur Verknüpfung von Aufgaben und Zeit
- Eingabemasken müssen attraktiver und praktischer gestaltet werden
- Für größere Übersichtlichkeit: Spalten bei Übersicht des Aktivitätensystems ausblendbar machen
- Skalierbare Auswahlfenster (Lange Objektnamen)
- „Schiebebalken“ zum schnellen aktualisieren des Fortschritts)
- Vertikal angeordnete Eingabefelder in Projektaufkarte in Reitern einteilen
- Druckvorschau (z. B. Projektaufkarte etc.)
- Druckbare Ansicht vom Phasenmodell erstellen (zum aushängen)
- grafische C&C-Umsetzung mittels drag & drop

Perspektive der Projektdurchführung: Möglichkeiten durch Zusatzfunktionen

- Datenbank oder Übersicht über bestehende Sharepoints, sollte es mehrere Sharepoints geben (Anmerkung des Projektpartners)
- Verknüpfung zwischen unterschiedlichen Sharepoints ermöglichen, sodass Informationen im Betrieb projektübergreifend gefunden werden können (ähnliche Probleme in unterschiedlichen Projekten)
- Popup Screen mit hilfreichen Tipps beim ersten Betreten einzelner Bereiche des iPeM
- Fertige Schablonen (Target Costing, QFD) hinterlegt und können aus Knopfdruck ausgespuckt werden aus Aktivitäten, Ziele etc.
- Bessere Vernetzung von Microsoft-Software
- Implementierung von MS Project im SharePoint
- Rechenoperationen mit Excel ermöglichen (Kalkulationstool integrieren)
- Übersicht mit wesentlichen Punkten (wer ist angemeldet)
- Jeder hat eigene Aufgabenliste auf dem Bildschirm
- Benachrichtigen über aktuelle Aufgaben
- Vernünftige Anbindung an Outlook vorsehen
- Erstellen einer Aufgabe in Outlook aus der Aktivität
- Emails verknüpfen, z.B. als Quelle
- Phasendiagramm im Outlook Kalender ablegen
- bestimmte Pflichtfelder automatisch mit Phasenmodell abgleichen
- Ein Kalender für privates und iPeM
- PLM Integration
- Integration einzelner PLM-Inhalten
- Verknüpfung von SharePoint zu PDM-System wäre praktisch (CAD Modelle werden Objekte)
- Verknüpfung mit CAX-Programmen, SAP, ...
- Workspace-Gedanke (wie WindChill...)

- SharePoint als App - Verknüpfung mit Smartphone
- Integration von Feedback: Aufweiten von Nacharbeiten und Lernen
- Umfragebögen online
- Chat
- gemeinsames Entwickeln mit Multizugriff; gemeinsame Darstellung mehrerer Teilnehmer
- Chat/Kommunikationsplattform integrieren
- (für große Firmen) z.B. Zusatzfunktionen wie Offtopic / Carsharing, Mitfahrgelegenheiten, Weihnachtsfeier
- Generell Firmenorganisation: nur noch ein Programm

Perspektive der Aus- und Weiterbildung: Möglichkeiten

- Einführungsworkshop für SharePoint auf Position (Teamrollen) zugeschnitten Wann muss es fertig sein
- Tutorial: was ist wann/ wie sinnvoll ⇒ auf „FH“ Niveau, also konkrete Beispiele
- Einweisung von erfahrenen Anwendern mit konkretem Beispiel
- Welcome Tour mit allgemeiner Präsentation
- F1-Soforthilfebutton ("Was ist das")

Überblick, Zusammenfassendes

(nicht näher zugeordnete Nennungen)

- Der Wille war da
- iPeM ist sinnvoll
- sehr großes Potential für Unternehmen
- Umsetzung in großen Unternehmen sehr aufwändig
- Programm muss Mitarbeitern helfen
- Grundidee super; Umsetzung verbesserungsfähig
- muss benutzt werden, da prüfungsrelevant
- Hassliebe
- iPeM muss kommuniziert werden
- bessere Einführung anfangs; Soforthilfe jederzeit
- falsche Anwendung von S und P - unterstützt Prozess nicht; grafische Darstellung benötigt
- komplette Firma muss umgestellt werden; großer Eingriff in Unternehmensstruktur
- Fundierte Einweisung bzw. Handbuch ist erforderlich
- Benutzerfreundlichkeit erhöhen
- Erst herausfinden, ob/wo es sinnvoll ist
- Ist Übersichtlichkeit durch SharePoint wirklich gegeben?
- System kann nur sinnvoll genutzt werden wenn Support gewährleistet wird
- Nutzen des Systems muss so groß sein, dass jeder (auch jede Rolle, Mitarbeiter) es von sich aus nutzt und nicht durch externen Zwang
- Pflege des iPeM durch „iPeM-Manager“

Möglichkeiten, Potentiale

- Generell gute Idee ⇒ Akzeptanz eigentlich vorhanden
- gleiche Grundstruktur in allen Unternehmensbereichen
- Dokumentation für Außenstehende erleichtert
- unbegrenzter Speicherplatz
- Programmkosten i. Vgl. zu Entwicklungskosten gering
- Einfache Absprachen möglich (ohne tausend Emails)
- erleichterte Zusammenarbeit; Schnittstellen werden reduziert
- jeder weiß, was der andere macht
- Dokumentation während der Arbeit
- Nachvollziehbarkeit fördert NL
- Informationen der Recherche und Profilphase (z.B. Kundenbesuche) sind zentral gespeichert und einsehbar
- Klarheit; Zwang, sich über Ziele Gedanken zu machen
- Hoher Nutzen für Controller
- Idee: Timeline für den PEP
- System ist sinnvoll wenn Funktionalität gewährleistet wird
- Bessere Einarbeitung durch IPEK (Vorgesetzten) ⇒ Workshop, Beispiele

Grenzen hinsichtlich des Zeitaufwands

- Schwierigkeiten und unnütze Mehrarbeit des Systems führen zu Ablehnung
- Pflege und Auswertung von SharePoint momentan aufwändig
- umständliches Erzeugen von Verknüpfungen
- 2 Bildschirme notwendig beim Erstellen einer neuen Aktivität
- Finden der Vorgängeraktivität schwierig (zu viele unrelevante Aktivitäten im Feld)
- Besonders Aufwand muss reduziert werden
- Redundante Vorgänge müssen vermieden werden
- „Schade, dass es so zeitaufwändig ist.“

Grenzen hinsichtlich des Funktionsumfangs

- Nur geringer Nutzen für die dem Controller zuarbeitenden
- Angst, SharePoint falsch anzuwenden
- Angst, dass Umbruch bei Einführung zu groß
- Mängel führen zu Frustration ⇒ Frustration führt zu Unvollständigkeit der Systempflege
- keine Platzhalter/Dummies - nur fertige Elemente können erstellt werden
- manche Funktionen sind nicht verfügbar (z.B. Mehrfachupload)
- Für das Arbeiten ist es notwendig, Ansichten einstellen zu können
- Prozessübersicht durch grafische Darstellung der "iPeM-Tabelle" ausbaufähig
- IT-Infrastruktur muss vorhanden und gepflegt sein
- mangelhafte Zugriffsrechte
- Dokumentation schwer nachvollziehbar
- zwingen, Projektfortschritt einzutragen
- SharePoint sollte Eintragen von groß nach klein unterstützen
- Quantität statt Qualität
- Größere Dateien hochladen (Bsp.: die Präsentation aus der Konzeptphase hatte 120 MB; ein einpflegen war nicht möglich)
- Hochladen von Berechnungsbaugruppen (FEM) ⇒ Erweitern der Möglichkeiten des Objektsystems
- PDM Zugriff ermöglichen ⇒ Hochladen von CAD-Daten
- Verknüpfen von alten Projekten mit Neuen ⇒ KVP, KIS, NL
- Erinnerung an Aufgaben

Grenzen hinsichtlich der Visualisierung

- Übersichtlichkeit fehlt (grafische Darstellung von Zusammenhängen, Aufbau, Vernetzung, Zeitplan)

C. Fraktales Metamodell der Produktentstehung

