

Lehrstuhl für
Betriebswissenschaften und Montagetechnik
der Technischen Universität München

Produktionseitiges Anforderungsmanagement

Jan-Fabian Meis

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

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

2. Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

Die Dissertation wurde am 20.06.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 14.02.2017 angenommen.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Mitglied der Institutsleitung am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh, den Leitern dieses Instituts, für ihre stets großzügige Unterstützung und Förderung.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart bedanke ich mich darüber hinaus für die wohlwollende und konstruktive Betreuung meiner Arbeit sowie bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission. Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark, dem Leiter des Fachgebietes Industrielle Informationstechnik der Technischen Universität Berlin, für die Übernahme des Koreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit.

Der Industrie- und Anwendungspartner MAN Truck & Bus und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die mich bei der Erstellung der Arbeit unterstützt haben, haben einen entscheidenden Beitrag dazu geliefert, die Praxisrelevanz dieser Arbeit sicherzustellen.

Leonie Laskowski, Christian Plehn, Michael Niehues, Sebastian Schindler und Jan Musiol danke ich für die gründliche Durchsicht der Arbeit.

Darüber hinaus bedanke ich mich herzlich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Institutes sowie bei allen Studentinnen und Studenten. Die Zeit war lehrreich, spannend und geprägt von Kollegialität und Zusammenhalt. Es war immer wieder beeindruckend zu sehen, was mit einem solchen Team zu schaffen ist und welche Freude dies gleichzeitig bereiten kann. Herrn Michael Niehues fühle ich mich für die stets fruchtbare und vertrauensvolle Zusammenarbeit während meiner Zeit als Mitglied der Institutsleitung sehr verbunden. Herr Sebastian Schindler und Herr Christoph Rimpau haben mich durch Ihre Förderung und Vorbildfunktion in der Führungsrolle stark geprägt. Herrn Jan Musiol danke ich für die Unterstützung in unzähligen Projekten und Aktivitäten sowie für die tolle Zeit am Institut und darüber hinaus.

Meine Eltern haben mich in meiner Neugier immer bestärkt und unterstützt. Sie haben sowohl das Fundament für diese Arbeit gelegt als auch diese selbst durch ihre unermüdliche Unterstützung erst möglich gemacht. Nicht zuletzt und in ganz besonderem Maße danke ich meiner Frau Claudia dafür, dass sie immer für mich da war und ist.

München, im März 2017

Jan-Fabian Meis

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IX
Formelverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	3
1.4 Forschungsmethoden und Forschungsdesign	4
1.5 Aufbau der Arbeit	5
2 Produktentstehung und Anforderungsmanagement	7
2.1 Produkterstellung	7
2.1.1 Produktentstehungsprozess	8
2.1.2 Frühe Phase des Produktentstehungsprozess (PEP)	10
2.1.3 Involvierte Unternehmensbereiche	10
2.2 Kooperative Produktentwicklung	11
2.2.1 Ansätze der kooperativen Produktentwicklung . .	11
2.2.2 Methoden der Kooperativen Produktentwicklung .	18
2.2.3 Defizite und Herausforderungen von SE	19
2.2.4 Zusammenfassung	26
2.3 Anforderungen und Anforderungsmanagement	27
2.3.1 Allgemeines	27
2.3.2 Definition für den Begriff der Anforderung	28
2.3.3 Eigenschaften von Anforderungen	29
2.3.4 Arten von Anforderungen	31
2.3.5 Lastenheft und Pflichtenheft	32
2.3.6 Anforderungsmanagement (AM)	33
2.3.7 Kernkonzepte des AM	35
2.3.8 Hauptaufgaben des AM	38
2.3.9 Anforderungen und AM in der technischen Produkt- entwicklung	48
2.3.10 Zusammenfassung	49
3 Untersuchungsrahmen und Stand der Erkenntnisse	51
3.1 Produktionsseitiges Anforderungsmanagement	51

3.2	Anforderungen an produktionsseitiges Anforderungsmanagement	53
3.2.1	Allgemeine Anforderungen	53
3.2.2	Prozessbezogene Anforderungen	54
3.2.3	Organisationsbezogene Anforderungen	55
3.2.4	Zusammenfassung der Anforderungen	55
3.3	Bestehende Ansätze mit Bezug zum produktionsseitigen Anforderungsmanagement	56
3.3.1	Regelwerke IEEE 610 und IEEE 830	57
3.3.2	Volere-Framework	57
3.3.3	Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umsetzung des Simultaneous Engineering	58
3.3.4	Ganzheitliches Anforderungsmanagement für markt-orientierte Entwicklungsprozesse	60
3.3.5	Wissensmanagement in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung	60
3.3.6	Automatisiertes Simultaneous Engineering auf Basis eines featuregestützten Unternehmensmodells	62
3.3.7	Requirements Engineering für IT-gestützte Product Service Systems	64
3.3.8	Product Development vs. Production Development	65
3.4	Bewertung der Ansätze und resultierender Handlungsbedarf	66
4	Gesamtkonzept des produktionsseitigen Anforderungsmanagements	69
4.1	Informationsmodell	74
4.1.1	Produktstruktur	77
4.1.2	Prozessstruktur	78
4.1.3	Verfahrensstruktur	78
4.1.4	Betriebsmittelstruktur	79
4.1.5	Organisationsstruktur	80
4.1.6	Zusammenfassung	80
4.2	Wissensartefakte	81
4.2.1	Strategieelement	82
4.2.2	Anforderungselement	82
4.2.3	Problemelement	87
4.2.4	Vorschlagselement	88
4.3	Qualitätsfragen	89
4.4	Statussystem	97
4.4.1	Status <i>Entwurf</i>	98
4.4.2	Status <i>FreiInhalt</i>	98
4.4.3	Status <i>FreiForm</i>	98
4.4.4	Status <i>FreiHierarchie</i>	99
4.4.5	Status <i>Veraltet</i>	99

4.4.6	Status <i>Gelöscht</i>	99
4.5	Rollen und Rechte	99
4.5.1	Verantwortlicher (Inhalt) (V_{In})	100
4.5.2	Verantwortlicher (Form) (V_{Fm})	100
4.5.3	Freigabegremium (F_{Gr})	100
4.5.4	Rechte	101
4.5.5	Status- und rollenabhängige Rechte auf Eigenschafts- sebene	101
4.6	Ähnlichkeitsmodell	102
4.6.1	Primäre Eigenschaften	103
4.6.2	Sekundäre Eigenschaften	106
4.6.3	Gesamtmodell	107
4.7	Mathematisch-monetäre Bewertung von Anforderungsspezifi- kationen	109
4.7.1	Mathematische Modellierung der Produktionskonzepte und Probleme	110
4.7.2	Integration von Szenarien und Unsicherheiten	113
5	Stufenkonzept der Implementierung des produktionsseitigen An- forderungsmanagements	117
5.1	Stufe 1: Sensibilisierung der Organisation und Erzeugung der Motivation zur Änderung	118
5.1.1	Zielsetzung	118
5.1.2	Umsetzung	118
5.1.3	Evaluierung	121
5.2	Stufe 2: Erzeugung eines zeitdiskreten Lastenhefts als Projekt	121
5.2.1	Zielsetzung	122
5.2.2	Umsetzung	122
5.2.3	Evaluierung	125
5.3	Stufe 3: Integration in den Regelprozess und die Organisation	126
5.3.1	Zielsetzung	126
5.3.2	Umsetzung	127
5.3.3	Evaluierung	134
5.4	Stufe 4: Mathematisch-monetäre Gesamtbewertung	134
5.4.1	Zielsetzung	135
5.4.2	Umsetzung	135
5.4.3	Evaluierung	137
5.5	Zusammenfassung	137
6	Implementierung und Anwendung des Gesamtkonzepts	139
6.1	Allgemeines	139
6.2	Implementierung in einer Software	139
6.3	Anwendung des Gesamtkonzepts	143
6.3.1	Beschreibung der Fallbeispiele	143

6.3.2	Fall 1: Einführung des Gesamtkonzepts für den Bereich LKW	144
6.3.3	Fall 2: Erstellung eines Lastenhefts für eine neue Busgeneration	150
6.3.4	Fall 3: Erstellung eines Lastenhefts für die Entwicklung eines LKW mit hybridem Antrieb	153
6.4	Kapazitätsbedarf	155
6.4.1	Initialaufwand	155
6.4.2	Kontinuierlicher Aufwand	159
6.4.3	Zeitaufwände aus Software-Prototyp	160
6.4.4	Zusammenfassung	163
6.5	Evaluation der Methode	163
7	Zusammenfassung und Ausblick	169
7.1	Zusammenfassung	169
7.2	Ausblick	171
	Literaturverzeichnis	173
8	Anhang	201
9	Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	207

Abkürzungsverzeichnis

AM	Anforderungsmanagement
CE	Concurrent Engineering
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CCB	Change Control Board
CKD	Completely Knocked Down
CMM	Capability Maturity Model
DARPA	Defence Advanced Research Projects Agency
DFA	Design for Assembling
DFM	Design for Manufacturing
DFMA	Design for Manufacturing and Assembling
DICE	Defence Advanced Research Agency Initiative on Concurrent Engineering
EDMS	Engineering Data Management System
F_{Gr}	Freigabegremium
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
IPE	Integrierte Produktentwicklung
IPP	Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung
KTL	kathodische Tauchlackierung
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LKW	Lastkraftwagen
PDMS	Product Data Management System
PEP	Produktenstehungsprozess
SKD	Semi Knocked Down

QFD	Quality Function Deployment
RE	Requirements Engineering
RM	Requirements Management
RSM	Requirements Specifications Model
SE	Simultaneous Engineering
SMB	Server Message Block
UML	Unified Modeling Language
V_{In}	Verantwortlicher (Inhalt)
V_{Fm}	Verantwortlicher (Form)
XML	Extensible Markup Language
XSLT	Extensible Stylesheet Language Transformation

Formelverzeichnis

Größe	Bezeichnung
Δ_a	Abstandsähnlichkeitsmaß zwischen zwei Knoten
Δ_a	Kombiniertes Ähnlichkeitsmaß für zwei Wissenselemente
Δ_h	Hierarchieähnlichkeitsmaß zwischen zwei Knoten
Δ_n	Ähnlichkeit numerischer Eigenschaften von Wissenselementen
Δ_p	Ähnlichkeit des Prozessfortschritts von Wissenselementen
Δ_s	Strukturähnlichkeitsmaß zwischen zwei Knoten
Δ_u	Ähnlichkeitsmaß zwischen zwei Benutzern
$t_{w,1,2}$	Arbeitszeit zwischen Zustand <i>Entwurf</i> und <i>FreiInhalt</i>
$t_{w,2,3}$	Arbeitszeit zwischen Zustand <i>FreiInhalt</i> und <i>FreiForm</i>
$t_{w,3,4}$	Arbeitszeit zwischen Zustand <i>FreiForm</i> und <i>FreiHierarchie</i>
$t_{g,1,2}$	Gesamtzeit von Zustand <i>Entwurf</i> zu <i>FreiInhalt</i>
$t_{g,1,3}$	Gesamtzeit von Zustand <i>Entwurf</i> zu <i>FreiForm</i>
$t_{g,1,4}$	Gesamtzeit von Zustand <i>Entwurf</i> zu <i>FreiHierarchie</i>

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Aktuelle Trends wie Globalisierung, kürzere Produktlebenszyklen und der Übergang von Verkäufer- zu Käufermärkten stellen produzierende Unternehmen vor zunehmende Herausforderungen (ABELE & REINHART 2011). Die in der wissenschaftlichen Literatur als turbulentes Umfeld bezeichneten Randbedingungen stellen besonders Unternehmen in Hochlohnländern vor die Herausforderung, kontinuierlich die Effizienz ihrer Leistungserstellung von der ersten Kundenidee bis zum fertigen Produkt zu steigern (REINHART ET AL. 1999; WIENDAHL ET AL. 2007; ELMARAGHY & WIENDAHL 2009).

Die direkten Einflüsse der Märkte und das gestiegene Anspruchsniveau der Kunden (LINDEMANN ET AL. 2006, S. 1) äußern sich in Anforderungen des Marktes bezüglich Lieferzeit, Qualität und Kosten. Die Forderung nach zunehmender Integration neuer Produkttechnologien führt zu einer radikalen Verkürzung der Produktlebenszyklen (COOPER 2001). Die daraus resultierende, notwendige Reduktion der Time-to-Market kann nur durch die durchgängige Berücksichtigung der steigenden Produktkomplexität und -varianz sowie der kürzer werdenden Innovationszyklen erreicht werden (GAUSEMEIER 2001, S. 28 ff.; LOTTER 2012; AFONSO ET AL. 2008; EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 188 ff.).

Diese durchgängige Betrachtung erfordert sowohl eine effiziente Produktentwicklung als auch eine Serienreifmachung. Lediglich unter Berücksichtigung aller am Produktenstehungsprozess (PEP) beteiligten Unternehmensbereiche lassen sich Produkte definieren, die dem gestiegenen internationalen Wettbewerbsdruck genügen (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 188 ff.; EVERSHEIM & SCHUH 2005, S.1 ff.; PONN & LINDEMANN 2011, S.230 ff.). Aufgrund des hohen Grades an kundenindividuellen Anteilen wandeln sich Produkte, die klassisch im Bereich der Großserienfertigung angesiedelt waren, zunehmend in Richtung der Kleinserienproduktion für spezifische Varianten (GRÄSSLER 2004, S. 9ff). Hierdurch lassen sich unter anderem Produktionsprozesse nicht mehr wirtschaftlich auf ein konkretes Produkt auslegen, sondern müssen die Gesamtheit der Varianz abbilden (LINDEMANN ET AL. 2006; SCHENK ET AL. 2014, S. 14). In vielen Branchen existieren zudem zeitlich versetzte Produktlebenszyklen für unterschiedliche Absatzmärkte, sodass neben den diversen Varianten zusätzlich verschiedene Produktgenerationen vollständig oder in Teilen innerhalb

eines Produktionssystems gefertigt werden müssen (DOMBROWSKI ET AL. 2011). Diesen dargestellten Herausforderungen wird aktuell durch eine Erhöhung der Flexibilität und Wandlungsfähigkeit begegnet (MÖLLER 2008; CLAUSSEN 2012; BURGHARDT 2013). Gleichzeitig verspricht eine aktive Beeinflussung der Produktgestaltung aus Sicht aller betroffenen Unternehmensbereiche weiteres Potential bezüglich Kosten und Time-to-Market (LAL ET AL. 2005, S. 209; EHRENSPIEL ET AL. 2007, S. 188 ff.; TONCHIA & COZZI 2008, S. 92). Hierfür ist allerdings ein Mentalitätswechsel – weg von der solitären Erfüllung der Kundenwünsche zu einer ganzheitlichen Bewertung der Wünsche aller Beteiligten – erforderlich (FELDHUSEN & GROTE 2013a, S. 224). Konzepte der kooperativen Produktentwicklung fanden bereits seit den späten 1990er Jahren Verbreitung und wurden hinsichtlich ihres Mehrwertes sowohl im Bereich der Forschung als auch in der Praxis akzeptiert (WINNER ET AL. 1988; EVERSHEIM 1989; GRABOWSKI ET AL. 1992; LAUFENBERG 1996). Die starke Parallelisierung der Prozesse führt zu einer deutlichen Reduktion der Time-to-Market sowie einer Einsparung durch die Reduktion von kostenintensiven Änderungen in späten Phasen (LAL ET AL. 2005; TONCHIA & COZZI 2008).

Aktuelle Entwicklungen zeigen jedoch, dass die erreichten Ergebnisse hinter den Erwartungen der Anwender bezüglich der Kosteneinsparung und Verkürzung der Time-to-Market zurück geblieben sind (YAN & JIANG 1999; GAUSEMEIER 2000, S. 12; EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 225). Trotz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien entstehen Ineffizienzen in den Prozessen durch mangelnde Kommunikationsfähigkeit der beteiligten Bereiche. Hierbei stehen die Zusammensetzung der Teams sowie die gemeinsamen Prozesse im Fokus aktueller Forschungen. Neben den Mitteln der Kommunikation stellt besonders die Form der formulierten Wünsche bezüglich der Produktgestaltung der Bereiche ein zentrales Defizit dar (LENHART 2008). Dies führt zu Schwächen der zielgerichteten Kommunikation zwischen den produzierenden und den entwickelnden Bereichen (MCCORD & EPPINGER 1993; STUFFER 1994; KOC 2002). Aufgrund dieser mangelnden Artikulationsfähigkeit der Bereichsvertreter erfolgt lediglich eine suboptimale Integration in die Entwicklungsaktivitäten während der frühen Phase des PEP (EGBERS ET AL. 2012). Gerade dem produzierenden Bereich fehlen heute die Möglichkeiten einer effizienten Definition und Nutzung von Anforderungen (MÜTZE-NEIWÖHNER 2004; REINHART & MEIS 2012).

Hieraus lassen sich drei forschungsleitende Fragestellungen für diese Arbeit ableiten:

1. *Welche Schwachstellen in den Ansätzen der kooperativen Produktentwicklung behindern weitere Effizienzsteigerungen gegenüber aktuellen Implementierungen in der Praxis?*

2. *Wie lassen sich Schwachstellen mit Bezug auf den systematischen Austausch von Informationen mithilfe des Anforderungsmanagements reduzieren?*
3. *Wie muss ein Gesamtkonzept zur Generierung und Nutzung von produktionsseitigem Wissen im klassischen Anforderungsmanagement gestaltet sein?*

1.2 Zielsetzung

Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag zur effizienten Dokumentation und Weitergabe von produktionsseitigen Anforderungen geleistet werden. Hierdurch soll eine zielführende und effiziente Kommunikation zwischen den Beteiligten in der frühen Phase der Produktentwicklung ermöglicht und damit die Aussagefähigkeit der Vertreter der Produktion langfristig und nachhaltig gesteigert werden. Besondere Berücksichtigung sollen vor allem strategische Aspekte, die über eine produktionsgerechte Konstruktion hinausgehen, finden.

Leitziel dieser Arbeit ist es, die erfolgreiche Einführung und effiziente Nutzung von Simultaneous Engineering (SE) in der Industrie durch Verbesserung der Kommunikation zwischen Produktionsplanung und den entwickelnden Bereichen zu unterstützen. Das zu entwickelnde Konzept ist dabei so zu gestalten, dass eine praktische Nutzbarkeit branchenübergreifend ermöglicht wird.

1.3 Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Die zuvor beschriebene Zielsetzung dieser Arbeit beinhaltet die Verbesserung der kooperativen Produktentwicklung und birgt damit die Einschränkung auf Branchen und Produkte, in denen eine gemeinsame Entwicklung mit hohem Abstimmungsbedarf von Bedeutung ist. Damit sind besonders Produkte mit einer hohen Produkt-, Produktions- und Organisationskomplexität geeignet und entsprechende Unternehmen können den größten Mehrwert mithilfe des zu entwickelnden Konzepts realisieren¹. Kleine Unternehmen, in denen eine Abstimmung der Bereiche direkt, bspw. zwischen Fertigungsleiter und Produktentwickler, stattfinden kann, müssen hingegen sorgfältig den Mehrwert einer Formalisierung der Prozesse evaluieren. Eine erhebliche Flexibilität der

¹ Grundsätzlich ist es für Nutzung des Konzeptes unerheblich, ob die Produkt- und Produktionskomplexität direkt im Unternehmen zum tragen kommt oder ob diese an anderer Stelle im Wertschöpfungsnetzwerk auftritt. Somit können auch Unternehmen profitieren, welche primär die Rolle des Systemintegrators einnehmen. Die Ansätze dieser Arbeit sind dabei ggf. um eine Integration der Zulieferer zu erweitern.

Produktionsmittel, wie sie beispielsweise im Bereich der Einzelstück- bis Kleinserienfertigung (HIRSCH 1992; GULDEN 2009; GRUSS 2010) vorhanden ist, reduziert ebenfalls den Bedarf die Anforderungen der Produktion systematisch zu strukturieren. Leichte Effizienzverluste innerhalb der Produktion sind in diesem Fall dem Aufwand zur systematischen Aufbereitung von produktionsseitigen Anforderungen untergeordnet. Grundlegende unternehmensinterne und -externe Gestaltungsrichtlinien und Normen sowie globale produktionstechnische Prämissen sind hierfür ausreichend. Die andere Extremform stellen Produkte im Bereich der Massenfertigung dar. Hierbei ist davon auszugehen, dass Änderungen an der Produktion aufgrund der Stückzahl im Vergleich zu Kostenvorteilen im Produkt einen geringen Einfluss besitzen. Hierbei kann von einer Produktion ausgegangen werden, die vollständig auf das Produkt ausgerichtet ist.

Zusammenfassend schließt der Untersuchungsbereich sämtliche Unternehmen und Branchen, die sich mit der Entwicklung und Produktion von physischen Erzeugnissen beschäftigen, ein. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf Unternehmen mit einer mittleren bis hohen Produkt-, Produktions- und Organisationskomplexität und eingeschränkter Flexibilität der Produktion. Diese Einschränkungen stellen allerdings keine strikte Grenze dar, sondern verändern primär die Kosten-Nutzen-Bilanz des zu entwickelnden Konzepts. Eine Definition der Anforderungen aller Beteiligten an ein zu entwickelndes Produkt, und im Rahmen dieser Arbeit aus Sicht der Produktion, stellt für alle Unternehmen einen Mehrwert dar.

1.4 Forschungsmethoden und Forschungsdesign

Die vorliegende Arbeit orientiert sich, bezogen auf die Forschungsmethode, an Ansätzen zur Beeinflussung der Realität durch Artefaktgestaltung² sowie Artefaktevaluation nach JÄRVINEN (2000). Damit folgt die Arbeit Konzepten zur Gestaltung weiterer Facetten des Anforderungsmanagements wie BERKOVICH (2012) und ordnet sich in den Bereich der gestaltungsorientierten Forschung ein (SIMON 1996, S. 111 ff.; GREGOR & JONES 2007). Nach HEVNER ET AL. (2004, S. 77) erzeugt und evaluiert gestaltungsorientierte Forschung IT-Artefakte zur Lösung organisatorischer Fragestellungen. Analog der Argumentation von BERKOVICH (2012, S. 11) bietet sich die gestaltungsorientierte Forschung aufgrund der hohen Komplexität der Zusammenhänge der einzelnen Elemente sowie der nur geringen Erforschung des Betrachtungsbereiches nach HEVNER ET AL.

² Im Rahmen dieser Arbeit wird unter dem Begriff Artefakt bzw. Wissensartefakt ein künstliches Element verstanden, welches Strukturierungsregeln und einem beschriebenen Aufbau folgt.

(2004, S. 81) an. Damit bilden die in Tabelle 1.1 dargestellten Schritte nach HEVNER ET AL. (2004, S. 83) die methodischen Grundlagen bzw. die Ziele im Vorgehen dieser Arbeit.

Tabelle 1.1: Richtlinien für gestaltungsorientierte Forschung nach HEVNER ET AL. (2004, S. 83)

Richtlinie	Beschreibung	Umsetzung
Design als Artefakt	“Erzeugung eines anwendbaren Artefakts in Form einer Methode, eines Modells oder einer Instanz“. (BERKOVICH 2012, S. 12)	Die vorliegende Arbeit stellt ein Vorgehen auf Basis eines anwendbaren Modells zur Verfügung.
Sicherstellung der Problemrelevanz	Erzeugung einer Lösung für ein relevantes Problem.	Die Relevanz wird mit Hilfe einer umfassenden Literaturrecherche sichergestellt.
Evaluation des Designs	Nachvollziehbare Überprüfung der Effektivität und Effizienz des entwickelten Konzeptes.	Effektivität und Effizienz werden mit Hilfe einer tiefgreifenden Detailbeobachtung demonstriert (Fall 1 nach HEVNER ET AL. 2004, S. 86)
Wissenschaftlicher Beitrag	Eindeutig erkennbarer, wissenschaftlicher Beitrag.	Die Methode sowie das Modell als Artefakt stellen selber die wissenschaftliche Neuerung dar (Fall 1 nach HEVNER ET AL. 2004, S. 87).
Stringenz der Argumentation	Während der Erzeugung des Designs muss stets eine stringente Argumentation ausgehend von etablierten Modellen und Prinzipien verfolgt werden.	Grundlage der Arbeit bilden allgemein anerkannte Regeln und Prinzipien für Anforderungsmanagement und die damit verbundenen Inhalte.
Design als Suchprozess	Das Design ist als iterativer Such- und Anpassungsprozess auszulegen.	Design und Evaluation der Artefakte werden im fortlaufenden Anwendungsfall eng verzahnt durchgeführt.
Kommunikation der Ergebnisse	Das Ergebnis muss sowohl einem Fach- als auch Managementpublikum präsentiert werden.	Das entwickelte Konzept schließt alle Hierarchieebenen mit ein. Sowohl in Evaluation als auch Präsentation wurden diese eingebunden.

1.5 Aufbau der Arbeit

Anschließend an diese Einleitung werden in Kapitel 2 die Grundlagen der allgemeinen Produkterstellung dargestellt und die Schwachstellen der kooperativen

Produktentwicklung aufgezeigt. Danach wird der Umgang mit Anforderungen und das sog. Anforderungsmanagement beleuchtet und dessen grundlegende Ansätze vorgestellt. Kapitel 3 beginnt mit der Definition von Anforderungen an ein produktionsseitiges Anforderungsmanagement und stellt bestehende Ansätze vor. Diese werden abschließend bezüglich der zuvor definierten Anforderungen bewertet und der notwendige Handlungsbedarf abgeleitet.

Kapitel 4 und 5 bilden den Kern dieser Arbeit. In Kapitel 4 erfolgt die Definition der Grundelemente des Anforderungsmanagements, bestehend aus Informationsmodell (Abschnitt 4.1), Wissensartefakten (Abschnitt 4.2), Statussystem (Abschnitt 4.4), Qualitätsfragen, Rollen und Rechten (Abschnitt 4.3 und 4.5) sowie den Modellen zur Ableitung von Ähnlichkeit zwischen Anforderungen (Abschnitt 4.6) und zur monetären Bewertung (Abschnitt 4.7). Kapitel 5 stellt darauf aufbauend ein stufenbasiertes Vorgehen zur Einführung bereit. Die Vorstellung der beispielhaften Anwendung des Konzeptes sowie die dafür notwendige prototypische Umsetzung in einer Software und die kritische Evaluation erfolgt in Kapitel 6. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten in Kapitel 7. Abbildung 1.1 zeigt den Aufbau der Arbeit grafisch. Die blau hervorgehobenen Bereiche weisen den primären wissenschaftlichen Mehrwert dieser Arbeit auf.

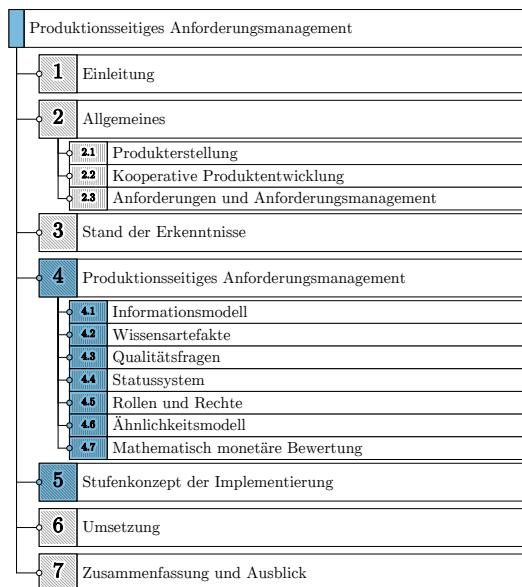


Abb. 1.1: Aufbau der Arbeit

2 Produktentstehung und Anforderungsmanagement

2.1 Produkterstellung

Der Prozess der Produkterstellung umfasst den gesamten Vorgang zur Erzeugung eines Produktes (vgl. Abbildung 2.1), angefangen von der Produktdefinition über die Entwicklung und Konstruktion, die Fertigungs- und Montagevorbereitung und Produktionsentwicklung bis zur Produktion und ggf. der Inbetriebnahme (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 155 ff.).

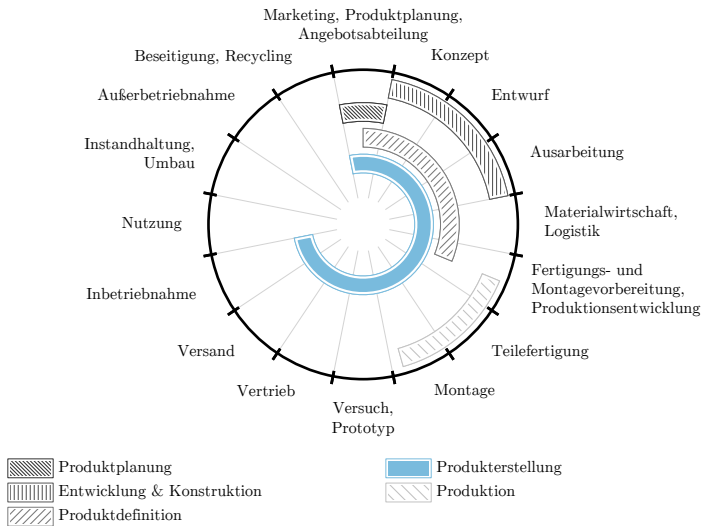


Abb. 2.1: Produkterstellung im Lebenslauf eines Produkts nach EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 158)

Gleichzeitig zeigt sich, dass in der Praxis eine Vielzahl von parallelen Entwicklungsprojekten durchgeführt wird und diese sich in unterschiedlichen Phasen der Produkterstellung befinden können (BULLINGER ET AL. 2008, S. 366 f.). Der Prozess der Produkterstellung wird innerhalb der Literatur und Praxis

als Produktentstehungsprozess³ bezeichnet und soll im Folgenden dargestellt werden.

2.1.1 Produktentstehungsprozess

Der Produktentstehungsprozess (PEP) beschreibt alle Schritte, die zur Entstehung eines Produktes notwendig sind sowie deren Schnittstellen und Abhängigkeiten. Trotz gleichlautender Abkürzung unterscheidet er sich damit von dem Produktentwicklungsprozess bpsw. nach GRUNDNER 2012, S. 7), welcher lediglich die Entwicklung des Produktes berücksichtigt und nachgelagerte Prozesse ausklammert. Die einzelnen Phasen des Produktentstehungsprozesses sind nach FELDHUSEN & GROTE (2013a, S. 22):

1. „Planung
2. Entwicklung mit den Hauptschritten: Lösungserarbeitung, Lösungsbewertung, Lösungsauswahl
3. Konzeptentwicklung mit den Hauptschritten: Festlegung der vorläufigen Produktarchitektur, Festlegung der Hauptkenngrößen der Hauptgruppen, wie Funktionsumfang, Kosten und Schnittstellen der Produktebenen Mechanik, Elektrik, Elektronik, Software
4. Konzeptkonstruktion mit den Hauptschritten: Festlegung der Produktstruktur (mechanische Sicht auf das Produkt), Festlegung der Hauptkenngrößen der Hauptbaugruppen wie Bauraum, Gewicht, Gestalten der Hauptbaugruppen, Erstellen des Service-Konzepts (Wartung, Reparatur, Ersatzteile . . .), Erstellen des Fertigungskonzepts
5. Gestaltung mit den Hauptschritten: Gliederung der Hauptbaugruppen in Bauteile, Gestalten der Bauteile, Gestalten der Baugruppenschnittstelle
6. Dokumentation mit den Teilbereichen: Herstellungsunterlagen, Nutzungsunterlagen, Wartungsunterlagen, Reparaturunterlagen, Recyclingunterlagen, weitere Unterlagen für z. B. Arbeitssicherheit, Sicherheitsnachweise usw.
7. Herstellung“⁴

³ In der Praxis findet vielfach der Begriff Produktentstehung als Synonym für Produkterstellung Anwendung. Nach EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 155 ff.) spiegelt dieser allerdings nicht ausreichend die Aktivitäten zur Entwicklung und Produktion wider. Unabhängig hiervon werden im Rahmen dieser Arbeit sämtliche Aktivitäten zur Produktion mit eingeschlossen.

⁴ Dieser Schritt findet sich nicht in der Aufzählung, wohl aber in der korrespondierenden Abbildung der Originalquelle. Hierbei zeigt sich, dass trotz der Berücksichtigung der Herstellung der klare Fokus auf der Produktentwicklung liegt. Diese Erkenntnis deckt sich mit EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 158) und MÜTZE-NIEWÖHNER (2004).

Diese sieben Phasen finden sich innerhalb des Produktentstehungsprozesses in Abbildung 2.2. Es ist ersichtlich, dass die dargestellten Prozesse nicht ausschließlich parallel ablaufen, sondern überlappende Elemente beinhalten. Die Produktion kann bspw. bereits beginnen während Reparaturunterlagen erzeugt werden. Zusätzlich wird der PEP durch begleitende Prozesse unterstützt. Hierzu zählen Qualitäts- und Risikomanagement, Normung und Normanwendung, Änderungsmanagement sowie die Beschaffung und Fertigungsplanung (FELDHUSEN & GROTE 2013a, S. 22). Diese Prozesse beginnen zu jeweils unterschiedlichen Phasen des PEP (vgl. Abbildung 2.2).

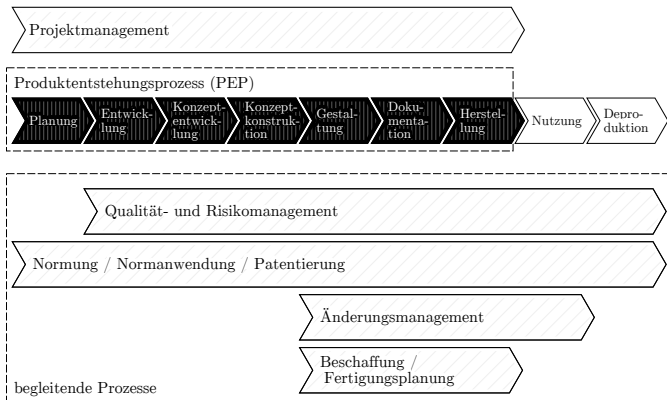


Abb. 2.2: PEP mit begleitenden Prozessen nach FELDHUSEN & GROTE (2013a, S. 23)

Gleichzeitig unterstützen sie PEPs mehrerer Produkte simultan. Beispielsweise kann die Neuplanung einer Produktion im Rahmen der Fertigungsplanung bereits die Fertigung von zwei zukünftigen Produkten berücksichtigen. Es ergibt sich ein komplexes Geflecht aus PEP und begleitenden Prozessen. In der Praxis existieren unternehmensspezifische Definitionen des PEP, welche im Allgemeinen der oben genannten Prozessstruktur folgen (bspw. nach BRAESS & SEIFFERT 2012, S. 882 und DECKER ET AL. 2013).

Definition 2.1: Produktentstehungsprozess

Der Produktentstehungsprozess bezeichnet nach FELDHUSEN & GROTE (2013a, S. 22) alle Aktivitäten zur Definition und Erzeugung eines Produktes von der Planung bis zur Herstellung.

2.1.2 Frühe Phase des PEP

Hinter der Bezeichnung *frühe Phase* des PEP verbirgt sich eine im wissenschaftlichen Sprachgebrauch uneinheitliche zeitliche Abgrenzung der ersten Phasen der o. g. Prozessbeschreibung (GAUSEMEIER 2012, S. 86; TATARCZYK 2009, S. 15; VERWORN 2005). Trotz dieser uneinheitlichen Abgrenzung sind sich die Autoren (bspw. EHRENSPIEL 1991, SCHLOTTMANN & SCHNEGAS 2002 und VERWORN 2005) einig, dass besonders an dieser Stelle eine sinnvolle Beeinflussung der späteren Produktkosten durchgeführt werden kann (JÜRGENS 2000, S. 35 ff.). Die 10er Regel der Fehlerkosten (MUELLER 2014, S. 7)⁵ deutet darauf, dass sich die Kosten zur Behebung eines Fehlers mit jedem weiteren Prozessschritt verzehnfachen. Änderungen in frühen Prozessschritten können daher mit deutlich geringerem Aufwand durchgeführt und Fehler behoben werden. TATARCZYK (2009, S. 15) definiert die frühe Phase des PEP als die, welche vor der Produktentwicklung durchgeführt wird. Dies korreliert mit der ersten bis dritten Phase des Modells nach FELDHUSEN & GROTE (2013a, S. 22). Dieser Einteilung wird im Rahmen dieser Arbeit in Bezug auf die frühe Phase des PEP entsprochen. Aktivitäten, welche das Ziel haben, Tätigkeiten und Umfänge ganz oder teilweise aus einer späteren in eine frühere Phase zu verschieben, werden als *Frontloading* bezeichnet (THOMKE & FUJIMOTO 2000; PETERS & HOFSTETTER 2008, S. 19).

2.1.3 Involvierte Unternehmensbereiche

Im Rahmen des PEP arbeitet eine Vielzahl unterschiedlicher Unternehmensfunktionen und -bereiche zusammen. Nachfolgend sollen beispielhaft einige dieser Funktionen aufgezeigt werden. Alle an dieser Stelle Genannten müssen einen Beitrag zur Produkterstellung leisten, eine Aussage über deren Interaktion bzw. Kooperation soll noch nicht erfolgen.

Nach SEIBERT (1998, S. 304) sind am Produktentstehungsprozess die Unternehmensfunktionen Controlling, Marketing und Vertrieb, Produktion, Qualitätssicherung sowie Forschung und Entwicklung beteiligt. EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 171) nennen beispielhaft beteiligte Unternehmensfunktionen wie Produktplanung und Marketing, Entwicklung und Konstruktion, Materialwirtschaft, Arbeitsvorbereitung, Qualitätssicherung sowie Kalkulation. PONN & LINDEMANN (2011, S. 17) stellen die starke Abhängigkeit zur

⁵ MUELLER (2014, S. 7) bezeichnet den Zusammenhang als „empirisch“ ohne weiter auf dessen Ermittlung einzugehen. Autoren wie EHRENSPIEL (1991), BULLINGER (1995, S. 11), BIELERT (1997, S. 24) oder SCHLOTTMANN & SCHNEGAS (2002, S. 120) sowie die Richtlinie VDI 2247 (1994) interpretieren den Zusammenhang primär qualitativ im Sinne einer exponentiellen Steigerung.

Produktionsentwicklung im Sinne der Konzeption und Gestaltung des Produktionssystems und damit die Verbindung dieser Aktivitäten zum PEP dar. Analoge Zuordnungen der Tätigkeiten, mit zum Teil leicht unterschiedlichen Benennungen, finden sich auch bei EVERSHEIM (1995, S. 2) und FELDHUSEN & GROTE (2013b, S. 21 f.). GÜNTNER ET AL. (2006, S. 62) betonen, dass vor allem für individualisierte Produkte, eine starke Vernetzung der Auftragsabwicklung mit den Funktionen der Produktion stattfindet. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass innerhalb produzierender Unternehmen eine Vielzahl der Unternehmensfunktionen am PEP beteiligt ist.

2.2 Kooperative Produktentwicklung

Die rein sequentielle, funktionale Unterteilung der Produktentstehung und Zuordnung zu Unternehmensabteilungen wird in vielen Anwendungen systematisch zugunsten einer stärker kooperativen Entwicklung aufgebrochen. In aktueller Literatur findet sich *Collaborative Engineering* als Sammelbegriff für diese Kooperation (LI 2007, S. 38 ff.; KAMRANI & NASR 2008, S. 1 ff.; DANIEL 2012, S. 14 ff.). Im Folgenden werden Ansätze vorgestellt, kritisch verglichen und deren Schwachstellen aufgezeigt.

2.2.1 Ansätze der kooperativen Produktentwicklung

Ansätze der kooperativen Produktentwicklung gehen bereits auf die Zeit vor dem zweiten Weltkrieg zurück (LACEY 1986; DOODY & BINGAMAN 1990; ZIEMKE & SPANN 1993). Diese kooperative und interdisziplinäre Arbeitsweise in Entwicklungsteams fand keine explizite Bezeichnung, da sie den Regelfall darstellte (PRASAD 1996). Im Rahmen zunehmender Produktkomplexität und wachsender Unternehmensstrukturen wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit eine starke Einteilung in Bereiche und Unternehmensfunktionen durchgeführt. Dies führte zu einer klaren Aufgaben- und Kompetenztrennung, innerhalb welcher die Experten sich nur wenig austauschten (PRASAD 1996; EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 183) oder sogar unabhängig und in Konkurrenz zueinander traten (ZIEMKE & SPANN 1993). Anfang der 1980er Jahre entwickelte sich dieser Trend zurück zu einer kooperativen Produktentwicklung, die allerdings der gewachsenen Produkt- und Organisationskomplexität gerecht werden sollte (DOODY & BINGAMAN 1990). Um diesen Problemen der funktional orientierten Organisationsstruktur zu begegnen, entwickelten sich die im Weiteren aufgeführten Ansätze zur Zusammenarbeit des Simultaneous Engineering (SE), des Concurrent Engineering (CE) und der Integrierten Produktentwicklung (IPE). Sowohl in der Theorie als auch der Industrie finden sich Mischformen dieser Konzepte (BULLINGER & WARSCHAT 1996).

2.2.1.1 Simultaneous Engineering

Eine der frühen und umfassenden Definitionen für Simultaneous Engineering (SE) ist durch EVERSHEIM (1989, S. 6) gegeben: „Simultaneous Engineering ist eine Organisationsstrategie, die eine vertrauensvolle Zusammenarbeit der Konstruktions- und Produktionsbereiche, des Kunden und des Maschinenherstellers in der Phase der Produktplanung gestaltet. Durch die parallele und zeitgleiche Planung des Produktes und der Produktionsmittel wird eine frühzeitige Festlegung der wesentlichen Produktionskomponenten ermöglicht. Hierbei wird die Zielsetzung verfolgt, die Qualität des Produktes und der Produktionseinrichtungen zu steigern und die Innovationszeiten und -kosten drastisch zu senken.“

Grundlage hierfür bildet die interdisziplinäre Zusammenarbeit sowie die vorzeitige und intensive Weitergabe von unvollständigen Informationen an andere Prozessbeteiligte (MCCORD & EPPINGER 1993, S. 5; EVERSHEIM 1995, S. 2; BERNDES & STANKE 1996, S. 20; KRISHNAN ET AL. 1997, S. 437; LOCH & TERWIESCH 1998, S. 1034).

Neben der organisatorischen Ausrichtung an der abteilungsübergreifenden Kooperation rückt die gezielte Ausrichtung aller Aktivitäten auf den Kundenwunsch an die zentrale Stelle. Durch die Parallelisierung der Aktivitäten wird eine konsequente Reduktion der Durchlaufzeiten ermöglicht und durch frühzeitige Änderungen eine Verringerung der Gesamtkosten für die Entwicklung, die Fertigung, die Montage und die Qualitätssicherung erreicht (SARETZ 1993; EVERSHEIM 1995; LAUFENBERG 1996; EVERSHEIM & SCHUH 2005; EHRLENSPIEL ET AL. 2007). „Soll Simultaneous Engineering zu einer anhaltenden Leistungssteigerung der Produktentwicklung beitragen, muß die Strategie über die Synchronisation der Produkt- und Produktionsmittelentwicklung und die intensive Einbeziehung der prozeßbeteiligten Stellen hinausgehen. Sie muß vielmehr als Integrationskonzept aufgefasst werden, das durch eine ganzheitliche Betrachtungsweise die Effizienz der Produktentwicklung steigert.“ (BULLINGER 1995, S. 11 f.) Die kurzen Rückkopplungseffekte des SE erlauben eine Beeinflussung der Produktgestaltung bereits auf Basis früher Konzepte. Änderungen lassen sich mit deutlich geringeren Kosten gegenüber konventionellen Ansätzen durchführen, da eine Kostenfestlegung vor allem in den frühen, die Realisierung der Kosten erst in späten Phasen stattfindet (vgl. Abbildung 2.3⁶). Dies führt i. d. R. zu einer deutlich verlängerten Konzeptphase gegenüber sequentiellen Ansätzen. Dennoch verringert sich aufgrund der verbesserten

⁶ Die VDI Richtlinie 2235 nutzt für die Darstellung eine Einteilung nach Unternehmensbereichen an Stelle der Phasen des PEP. Aufgrund der angenommenen sequentiellen Bearbeitung durch die Abteilungen korreliert diese Zuordnung allerdings mit Phasen des Entwicklungsprozesses.

Abstimmung die Gesamtzeit für die Produktentstehung (EVERSHEIM 1995, S. 15; EHRENSPIEL ET AL. 2007, S. 45)⁷. EVERSHEIM (1995) zeigt am Beispiel einer Untersuchung bei neun Herstellern schwerer Nutzfahrzeuge, dass die mit längeren Konzeptionsphasen (mit einer Ausnahme), kürzere Zeiträume für die Gesamtentwicklung benötigen als solche mit kurzen Konzeptphasen. Während der beste Hersteller in Bezug auf Entwicklungszeit eine Konzeptionsphase von zwei Jahren für eine Gesamtentwicklungszeit von vier Jahren benötigt, bedarf eine Gesamtentwicklung beim schlechtesten Hersteller über sieben Jahre bei einer Konzeptionsphase von weniger als einem Jahr.

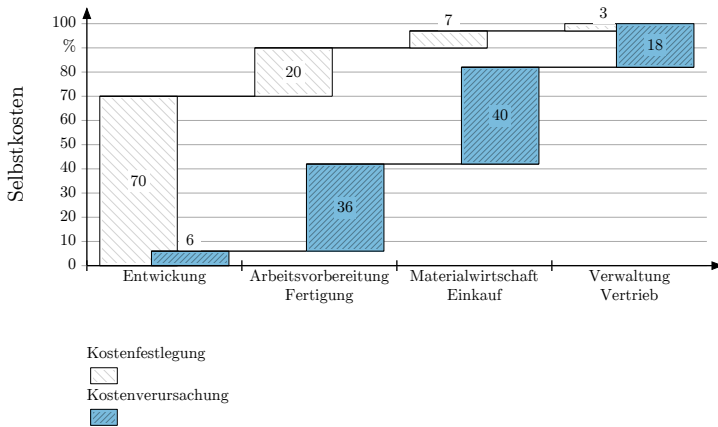


Abb. 2.3: Kostenfestlegung und Kostenverursachung nach VDI 2235 (1987)

Neben der Kosten- und der Zeitreduktion stellt die Verbesserung der Produkt- und Planungsqualität das dritte zentrale Ziel dar (EVERSHEIM & SCHUH 2005). EVERSHEIM (1995, S. 14) leitet hierzu zwei grundlegende Leitlinien für SE ab, welche den Kerngedanken widerspiegeln:

1. „Große Verbesserungspotentiale durch abgestimmte Entscheidungen in frühen Phasen nutzen!“
2. Änderungen zu hohen Kosten in späten Phasen vermeiden!“

Die Bausteine des SE sind nach EVERSHEIM & SCHUH (2005) die Gestaltung von Zielvorgaben, die Ablaufgestaltung, die Methoden, die Organisationsstrukturen sowie die SE-Teams (DIXIUS 1998, S. 53 ff.; WANG ET AL. 2003; CHUNG

⁷ BRAESS & SEIFFERT (2012, S. 881 ff.) bestätigen diesen Zusammenhang anhand aktueller Beispiele der industriellen Anwendung von SE.

ET AL. 2010). SEIBERT (1998, S. 303) betont neben der reinen Entwicklung von Produkten auch die Parallelisierung und Implementierung von Prozessen im Rahmen des SE. Neben verschiedenen Methoden und Prinzipien, welche grundsätzlich die Zusammenarbeit verbessern und einen Informationsaustausch zwischen den verschiedenen am PEP beteiligten Bereichen ermöglichen, stellt SE vor allem eine Philosophie dar, welche die parallele Abarbeitung der verschiedenen Phasen des Entwicklungsprozesses sowie die damit verbundene enge Abstimmung in den Vordergrund stellt (GERPOTT & WINZER 2000, S. 262). In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl an weiteren Definitionen für SE, die sich nur bezüglich geringfügiger Interpretationen der Autoren hinsichtlich der individuellen Fragestellungen unterscheiden. Eine umfassende Übersicht findet sich bei ADDO-TENKORANG (2011).

2.2.1.2 Concurrent Engineering

Die Bezeichnung Concurrent Engineering (CE) findet sich seit den 1990er Jahren vorwiegend innerhalb der englischsprachigen Literatur. Eine der umfassendsten Definitionen ist durch CLEETUS (1992) gegeben: Concurrent Engineering stellt demnach einen systemischen Ansatz zur integrierten Produktentwicklung dar, welcher die Umsetzung der Kundenwünsche bereits in frühen Phasen fokussiert. Teamarbeit wird auf Basis von Kooperation, Vertrauen und Austausch so gestaltet, dass Entscheidungen in großen Abständen getroffen und ein hohes Maß an Parallelarbeit aller Beteiligten erreicht werden kann. Eine Synchronisation erfolgt auf Basis von kurzzyklischen Informationsweitergaben zur Erreichung eines gemeinsamen Konsens (Übersetzt nach CLEETUS 1992).

Weitreichende Bekanntheit erhielt das Konzept des CE nach (WIENDL 2000, S. 14 ff.) durch den Report R-338 des Institute for Defense Analysis (IDA), welcher auf den Ergebnissen des Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) Concurrent Engineering Workshops 1987 aufbaut. Ziele waren sowohl die Stärkung der amerikanischen Verteidigungsindustrie als auch der zivilen Industrie. Unterstützt wurde diese Verbreitung, auch international durch die Defence Advanced Research Agency Initiative on Concurrent Engineering (DICE). Mit Hilfe intensiver Kooperation der an der Produktentstehung beteiligten Bereiche sowie durch Bildung von interdisziplinären Teams soll eine zielgerichtetere Einbindung der Kundenwünsche in den gesamten Prozess ermöglicht werden (GÖTZE 1995). Dieses Ziel soll durch die frühe Integration und die starke Parallelisierung der Prozessschritte erreicht werden. Ziele wie Qualität, Kosten und Termintreue werden zusätzlich angestrebt (WIENDL 2000, S. 15). SOHLENIUS (1992) sieht hierbei die Verkürzung der Zeit bis zur Markteinführung als primäres Ziel, während Qualität und Kosten diesem untergeordnet sind. Für eine umfassende Beschreibung sei an ADDO-TENKORANG (2011) verwiesen. Vor

allem aktuellere Veröffentlichungen im deutschsprachigen Raum, wie beispielsweise STAHL (1998), WIENDL (2000), KABEL (2001) oder MÜTZE-NIEWÖHNER (2004), greifen die Bezeichnung CE als Synonym für SE auf.

2.2.1.3 Integrierte Produktentwicklung

Das Konzept der integrierten Produktentwicklung (IPE) wurde maßgeblich durch EHRENSPIEL (1995)⁸, BULLINGER (1995) und EVERSHEIM & SCHUH (2005) geprägt. Nach EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 188) zeichnet sich Integrierte Produktentwicklung dadurch aus, dass alle am Erstellungsprozess beteiligten Abteilungen und die betroffenen Spezialisten zusammenarbeiten. Hierbei sollen durch enge Abstimmung und Parallelisierung der Tätigkeiten sowohl die Kosten der Produktentwicklung als auch die des finalen Produktes positiv beeinflusst werden. Abbildung 2.4 zeigt die angestrebte Prozessorientierung der verschiedenen Unternehmensfunktionen. Es ist zu erkennen, dass neben den bereichsübergreifenden Prozesszielen für den Produkterstellungsprozess, den Auftragsabwicklungsprozess sowie den Serviceprozess jeweils Ziele für die einzelnen Unternehmensfunktionen existieren. EHRENSPIEL (2003) räumt ein,

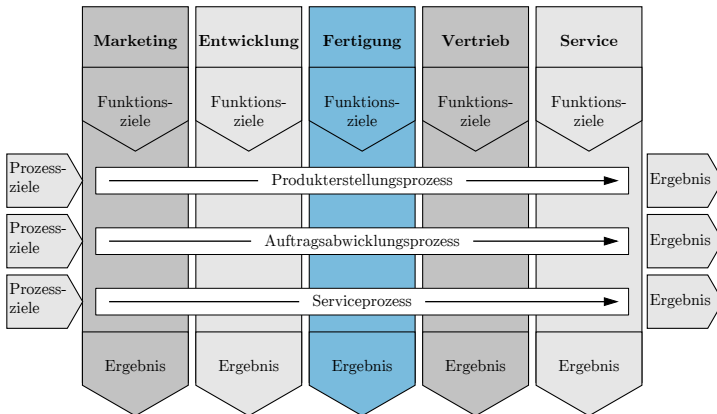


Abb. 2.4: Integration der unterschiedlichen Unternehmensfunktionen zur Erreichung der Ziele von Produkten, Aufträgen und dem Service. (SCHMELZER & SESSELMANN 2003, S. 53)

⁸ Das Werk von EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013) stellt die überarbeitete Auflage des Buches von EHRENSPIEL (1995) dar. In dieser Aufzählung wurde bewusst die ursprüngliche Auflage angegeben, um deren langfristige Relevanz heraus zu stellen.

dass eine reine Kooperation im Rahmen einer klassischen Entwicklung ebenfalls essentieller Bestandteil sei, aber „Reibungsverluste durch Bereichs- (oder hier Funktions-) Egoismen“ einen erheblichen Einfluss auf Kosten, Qualität und Zeit haben können. Die IPE nutzt vor allem organisatorische Methoden zur Gesamtoptimierung des Produktes und der Produkterstellung. Methoden zur Zielorientierung und Zusammenarbeit von Menschen stehen laut EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013) im Fokus des Konzeptes. EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 199) sehen in diesem Rahmen CE als ein Element zur organisatorischen Integration innerhalb der IPE. Weitere Elemente und Methoden finden sich in den drei Gruppen *Persönliche Integration*, *Informatorische Integration* sowie *Organisatorische Integration*. Die in Abbildung 2.5 dargestellte Unterteilung wird im Rahmen dieser Arbeit als Ordnungsrahmen verwendet und in Abschnitt 2.2.2 detailliert erläutert.

2.2.1.4 Collaboration Engineering

Collaboration Engineering bildet die Wissenschaftsdisziplin welche sich im allgemeinen mit der systematischen Gestaltung der Kooperationsprozesse im gesamten Engineering Prozess beschäftigt (KOLFSCHOTEN ET AL. 2006, LEIMEISTER 2014, S. 51). Eine Unterdisziplin stellt hierbei *Computer Supported Cooperative Work* dar, also die Nutzung digitaler Vernetzung als Basis für die Zusammenarbeit (WILSON 1991, S. 1; GROSS & KOCH 2007, S. 10 ff.). Aktuelle Betrachtungen in diesem Rahmen stellen vor allem die Software für die Zusammenarbeit in den Vordergrund und betrachten die technischen Voraussetzungen für eine Vernetzung als gegeben (LEIMEISTER 2014, S. 209 ff.). Nach KOLFSCHOTEN ET AL. (2006) geht es vor allem darum Prozesse so zu gestalten, dass sie nach ihrer Einführung von sog. *Practitioners* ohne weitere Betreuung durch den Prozessgestalter umgesetzt werden können. LU ET AL. (2007) interpretiert Collaboration Engineering als den wissenschaftlichen Rahmen für die Übertragung allgemeiner Zusammenarbeitsmodell auf den konkreten Bereich des Engineerings und versteht damit das Engineering weniger im Sinne der Erzeugung dieser Prozesse als die Fokussierung auf das Engineering als Betrachtungsgegenstand (LU ET AL. 2007).

Autoren wie KUMAR & WELLBROCK (2009), POPESCU ET AL. (2012), JOVANOVIĆ ET AL. (2015) verwenden den Begriff *Collaboration Engineering* bzw. *Collaboration Engineering Teams* ohne jedoch auf die Unterschiede zu bestehenden Begrifflichkeiten einzugehen. Der Definition folgend ist anzunehmen, dass es sich hierbei um wissenschaftliche Teams in diesem Gebiet handelt. Dem Kontext der Arbeiten ist allerdings zu entnehmen, dass es sich hierbei um ein Entwicklungsteam im Sinne eines SE-Teams handelt. Sowohl die Probleme als auch die spezifischen Lösungsansätze der Autoren geben keine Rückschluss auf Besonderheiten von *Collaboration Engineering* gegenüber SE.

MAS ET AL. (2013) betonen die Ähnlichkeit zwischen *Collaboration Engineering* und *Concurrent Engineering*, definieren den Unterschied aber vor allem darin, dass *Collaboration Engineering* versucht ein Team zu befähigen, den gesamten Entwicklungsprozess von der Idee bis zur Serienproduktion zu gestalten. Aus Sicht der Autoren fokussiert *Concurrent Engineering* hingegen die Zusammenarbeit über ein Team hinaus. JIN ET AL. (2007) nutzen *Collaboration Engineering* als den Überbegriff für alle Kooperationsansätze im Produktentstehungsprozess.

KOLFSCHOTEN & VREEDE (2009) geben ein sechstufiges Vorgehen zur Erstellung von Zusammenarbeitsansätzen bestehend aus Aufgabendiagnose, Aufgabenzerlegung, Auswahl der thinkLets⁹. LEIMEISTER (2014, S. 71 ff.) betont die Wichtigkeit von Zielen als Grundlage für die Entwicklung von Zusammenarbeitsansätzen. Die weiteren Ebenen stellen Gruppenprodukte, Gruppenaktivitäten, Gruppenprozeduren, Kollaborationswerkzeuge und Kollaborationsverhalten dar (LEIMEISTER 2014, S. 58 ff.).

Collaboration Engineering stellt somit im Rahmen der Literatur keinen eigenen Lösungsansatz dar, welcher in Ergänzung oder Widerspruch zu den zuvor genannten steht sondern bildet die Zusammenfassung und Grundlage der Forschungsaktivitäten zu diesen Themen. Es ist zu beobachten, dass diese Begriffe vergleichsweise jung sind. So stellen bspw. LEE ET AL. (2003) erste Werke mit dieser expliziten Bezeichnung dar und LU ET AL. (2007) argumentieren für die Entwicklung einer wissenschaftlichen Grundlage für diesen Fachbereich.

2.2.1.5 Zusammenfassung

Das Prinzip des SE fokussiert im Gegensatz zu CE vor allem die Parallelisierung der Prozesse, wohingegen bei CE die optimale Produkterstellung durch interdisziplinäre Zusammenarbeit im Team im Vordergrund steht (WIENDL 2000, S. 17).

GRABOWSKI ET AL. (1992) sehen den Unterschied zwischen SE und CE darin, dass im Rahmen des CE eine Aufgabenstellung, die bisher von einer Person ausgeführt wurde, nun von mehreren Bearbeitern zusammen gelöst wird. Beim SE werden die Tätigkeiten, die bisher nacheinander ausgeführt wurden, parallel durchgeführt. LINCKE (1995) hebt diese Abgrenzung ebenfalls hervor und fasst SE durch die *Festlegung der zeitlichen Folge der Arbeiten* und CE durch die *Festlegung der persönlichen Beteiligung* zusammen. DENNER (1998) greift die Betrachtung von GRABOWSKI ET AL. (1992) auf und stellt zusätzlich dar, dass

⁹ Thinklets stelle vorgegebene Bausteine dar, welche eine definierte Form der Zusammenarbeit erzeugen. Eine detaillierte Übersicht und Möglichkeiten zur Kombination finden sich bei KOLFSCHOTEN ET AL. (2006)

CE die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet, während SE die Produktentwicklung fokussiert. Trotz der Ähnlichkeit der Begriffe wird von LINDBERG & SOHLENIUS (1993) die stärkere Ausprägung der „Abstimmung, Zusammenarbeit und Kooperation“ im Rahmen des CE als geringfügiger Unterschied identifiziert. Nach EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013) werden CE und SE im deutschen Sprachraum überwiegend bedeutungsgleich verwendet. Laut DENNER (1998) wird Integrierte Produktentwicklung (IPE) ebenfalls analog zu CE in der Literatur synonym verwendet. Auch DÖLLNER (1997, S. 245) stellt fest, dass Simultaneous Engineering zunehmend durch den Ausdruck IPE ersetzt oder ergänzt wird. Dabei sind die Ziele und Ansatzpunkte bei der Integrierten Produktentwicklung gleich denen des Simultaneous Engineering .

Definition 2.2: Simultaneous Engineering

Simultaneous Engineering umfasst alle Ansätze und Methoden zur zielgerichteten, interdisziplinären Zusammen- und Parallelarbeit von allen an der Produktentstehung beteiligten Bereichen. CE und IPE sind hierbei als Synonym anzusehen.

Zusammenfassend können, unabhängig von den Unterschieden, die drei dargestellten Ansätze für diese Arbeit als synonym angesehen werden. Damit wird den Argumentationen von DENNER (1998), EHRENSPIEL (1995), KROTTMAIER (1995) und SOHLENIUS (1992) gefolgt. Im Weiteren soll einheitlich die Bezeichnung SE verwendet werden, da sie der Betrachtung der frühen Phase am besten gerecht wird. Es umfasst dabei aber alle Elemente und Methoden der IPE nach Abbildung 2.5. Zur Darstellung vorhandener Methoden und Ansätze wird im Folgenden der ursprünglichen Bezeichnung des Autors gefolgt.

2.2.2 Methoden der Kooperativen Produktentwicklung

EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 199) teilt die Methoden und Elemente der integrierten Produkterstellung in die drei Handlungsbereiche *Persönliche Integration*, *Informationstechnische Integration* sowie *Organisatorische Integration* ein (vgl. Abbildung 2.5).

Die *persönliche Integration* lässt sich weiter in die Integration der Leistungsbereitschaft, die Integration der Ziele sowie das integrative Wissen unterteilen. Alle Elemente fokussieren den Mitarbeiter bzw. dessen organisatorische Eingliederung (bspw. durch Mitarbeiter-Beteiligung).

Informatorische Integration untergliedert sich in die Bereiche Integration der Kunden, Aufgabenintegration, Methodenintegration, integrative Eigenschaftsfrüherkennung sowie Datenintegration. Elemente der Kundenintegration berücksichtigen Ansätze zur Nutzung des Kundenwissens für den Entwicklungsprozess.

Die Aufgabenintegration umfasst zum einen Methoden des Qualitätsmanagements¹⁰, zum anderen des Target Costings¹¹. Zusätzlich werden arbeitsorganisatorische Aspekte, wie Gruppen- und Teamarbeit, der Aufgabenintegration zugeordnet. Elemente der Methodenintegration fordern unter anderem eine übergreifende Methodennutzung, die Verwendung einheitlicher Begriffe und Systemtechnik. Die integrative Früherkennung beinhaltet Methoden der Simulation, der Virtual Reality und des Rapid Prototyping. Abschließend finden sich im Rahmen der Datenintegration Elemente zur einheitlichen Verwendung von Daten innerhalb der Entwicklung, aber auch darüber hinaus (bspw. CAD/CAM).

Die dritte Übergruppe bildet die *organisatorische Integration*, welche sich in die drei Bereiche Aufbauorganisation, Ablaufintegration und örtliche Integration gliedert. Neben flachen Hierarchien finden sich im Bereich der Aufbauintegration Forderungen nach einer produktorientierten Organisation. Die Ablaufintegration gruppiert konkrete Methoden, wie Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Design for Assembling (DFA) und Design for Manufacturing (DFM)¹² sowie übergeordnete Ansätze, wie CE und Kooperation mit Systemlieferanten. Die Gruppe der örtlichen Integration stellt Elemente der gemeinsamen Arbeitsräume und Entwicklungszentren dar. Diese Übersicht zeigt, dass SE durch eine Vielzahl von Methoden und Elementen¹³ definiert und unterstützt wird. Besonders die Methode des Quality Function Deployment (QFD)¹⁴ stellt eine der am häufigsten genannten dar, gefolgt von FMEA, DFA und DFM (TWIGG & VOSS 1992, S. 29).

2.2.3 Defizite und Herausforderungen von SE

Trotz der dargestellten Vorteile des SE findet es in der industriellen Praxis noch immer keine flächendeckende Verbreitung (GERPOTT & WINZER 2000, S. 256 ff.) und die großen Erwartungen bezüglich der Verbesserungen durch SE der 1980er

¹⁰ Für Grundlagen zu Methoden und Techniken des Qualitätsmanagements sei auf REINHART ET AL. (1996), MUELLER (2014) und BRÜGGEMANN & BREMER (2015) verwiesen.

¹¹ Target Costing beschreibt die Ausrichtung auf Zielkosten über den gesamten Prozess der Produktentstehung im Sinne eines Managementprinzips. Detaillierte Informationen finden sich bspw. bei DAVILA & WOUTERS (2004), KREMIN-BUCH (2007), AFONSO ET AL. (2008) und REIM (2015).

¹² Detaillierte Informationen zu DFA, DFM sowie Design for Manufacturing and Assembling (DFMA) finden sich bei ANDREASEN ET AL. (1983), SWIFT (1987) und BOOTHROYD ET AL. (2011).

¹³ Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Elemente überschreitet den Rahmen dieser Arbeit. Der geneigte Leser sei hierfür an die einschlägige Literatur wie bspw. PARSAEI & SULLIVAN (1993), BULLINGER & WARSCHAT (1996), HUANG (1996), PRASAD (1996), STAHL ET AL. (1997) und ROY ET AL. (1999) verwiesen.

¹⁴ Eine detaillierte Einführung in die Methode des QFD findet sich bei EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 229 ff.).

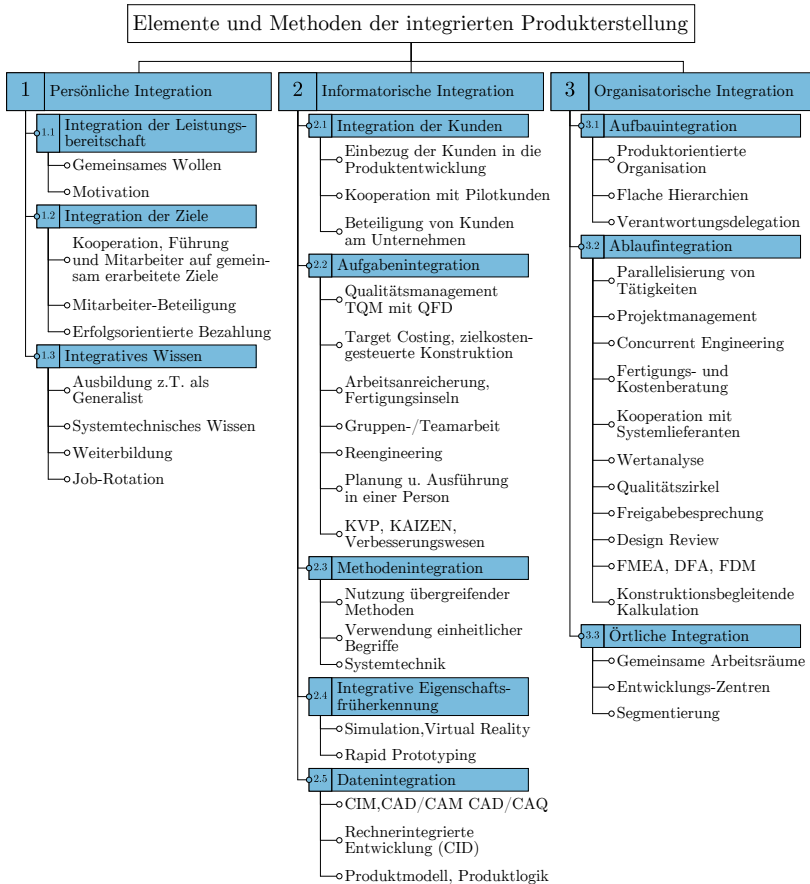


Abb. 2.5: Arten und Methoden der Integration nach (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 199)

Jahre werden heute zum Teil ernüchert betrachtet (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 225). Obwohl die angestrebte Verkürzung der Entwicklungszeit zu beobachten ist, wirkt sich SE nur selten positiv auf weitere Zielgrößen, wie Entwicklungskosten und Produktqualität, aus (GERPOTT & WINZER 2000, S. 262). Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt eine Analyse verschiedener Forschungs-

arbeiten, die direkt oder indirekt Defizite¹⁵ in der Implementierung von SE aufzeigen.

GARRETT (1990) stellt in seiner Betrachtung die mangelnde Fähigkeit der Führungskräfte, die unzureichende Identifikation mit dem SE-Programm¹⁶, die hohe bzw. unbehandelte Komplexität der Aktivitäten zwischen vielen Abteilungen sowie die fehlende Bewertung der vielfältigen Design- und Fertigungsbetriebsfaktoren heraus. Zusätzlich spielen für GARRETT (1990) persönliche Gründe der Mitarbeiter eine entscheidende Rolle für den Erfolg von SE-Einführungen¹⁷

BULLINGER & WASSERLOOS (1990) argumentieren primär, dass der Einsatz der CAx¹⁸ Technologie und geeigneter Werkzeuge während der Entwicklung einen Konstrukteur nur unzureichend bei seiner Arbeit entlastet. Die von den Autoren angestrebte Unterstützung von 50% der Tätigkeiten werde nicht erreicht und lediglich 10% der Arbeitszeit wird durch CAx-Systeme erleichtert.

LU (1990) zeigt auf, dass die traditionellen Computer-Aided-Engineering-Ansätze der verteilten Entwicklung im Rahmen von SE der Umgestaltung der Organisation, Technologie und Unternehmenskultur nicht gerecht werden. Hierbei wird insbesondere die Forderung nach intelligenten Computer-Werkzeugen formuliert.

Der Beitrag von VOLGER (1990) stellt existierende, organisatorische Grenzen in den Vordergrund. Bestehende Ressort- und Budgetgrenzen, sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch übergreifend, werden nicht ausreichend zugunsten einer interdisziplinären SE-Teamarbeit aufgehoben. Dies verhindert effiziente Informationsübergänge und einen optimalen Ablauf der Produktentwicklung.

Herausforderungen im Zusammenhang mit der engen informationstechnischen Kopplung der Entwicklung, Erprobung, Bewertung und Entscheidung bilden nach EIFF (1991) das zentrale Defizit. Gleichzeitig stellen ungeplante Übergabezeitpunkte und Verantwortlichkeiten ein erhebliches Risiko für die Erzeugung von Vorrichtungen dar. Es ist in diesem Zusammenhang noch nicht ausreichend geklärt, wie diese Kosten zu bewerten sind und ob diese einem Unternehmensbereich zugeordnet werden können.

¹⁵ Als Schwachstellen werden in diesem Kontext auch Handlungsbedarfe interpretiert, für welche die entsprechenden Autoren einen Mangel in der Umsetzung identifizieren.

¹⁶ GARRETT (1990) bezeichnet mit dem Begriff *Programm* eine unternehmensinterne Maßnahme zur Etablierung des SE sowie die Methoden und Denkmuster von SE.

¹⁷ Durch die intensive interdisziplinäre Projektarbeit, ist die die erfolgreiche zwischenmenschliche Kommunikation im Team nach GARRETT (1990) von besonderer Wichtigkeit.

¹⁸ CAx bildet einen Sammelbegriff für Computer-Unterstützung für verschiedene Bereiche der Produktentstehung. So existieren bspw. Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM) und Computer Aided Engineering (CAE).

BULLINGER ET AL. (1992) beobachten einen Trend, in dem durch verteilte Systeme Unternehmen zunehmend von Hard- und Software unabhängig werden. Gleichzeitig weisen sie aber auch auf die Risiken hin, welche durch die starke, auch unternehmensübergreifende Vernetzung der IT-Systeme gegeben sind.

Die durch BÜHNER & PHARAO (1992) durchgeführten Arbeiten betonen die Notwendigkeit der Umgestaltung der Zusammenarbeitsplätze für eine effektive und erfolgreiche Teamzusammenarbeit und zeigen, dass diese noch nicht ausreichend durchgeführt wird.

FANGER & LACEY (1992) stellen in ihrer Arbeit vier grundsätzliche Probleme bei der Nutzung von SE auf Basis von Interviews mit Entwicklungsmanagern heraus. Viele Mitarbeiter seien zu unflexibel, die Vorbereitung auf und innerhalb der SE-Projekte sei unzureichend und häufig fehle es an der notwendigen Unterstützung der Geschäftsführung. Zusätzlich weise die Organisation als Ganzes ebenfalls eine zu geringe Flexibilität auf.

WARNECKE (1993) stellt Interviews mit PROF. DR. J. BECKER und PROF. DR.-ING. G. SPUR gegenüber und zeigt, dass trotz der Bemühungen um die Computer-Integrated-Manufacturing-Initiative (CIM) noch immer Defizite bezüglich der Modelle und Standards sowie der Beschreibbarkeit von parallelen Prozessen existieren. Hierbei bildet vor allem die mangelnde Benutzerfreundlichkeit der Beschreibung komplexer Strukturen eine Herausforderung.

MCCORD & EPPINGER (1993) stellen in ihrer Arbeit vor allem die Herausforderung des häufigen Austausches von vorläufigen Informationen zwischen den Abteilungen heraus und betonen die Notwendigkeit einer systematischen Planung dieser Übergabezeitpunkte und -inhalte.

Im Rahmen einer Befragung von US-Unternehmen konnten LAWSON & KARANDEKAR (1994, S. 4 ff.) eine Reihe von Barrieren für die Anwendung von CE identifizieren.

- die Tendenz von Unternehmen und Organisation, sich nicht oder nur langsam zu verändern,
- unzureichend oder unpraktikabel definierte CE Prozesse,
- fehlende Kriterien und Indikatoren, um die Einführung und Umsetzung zu messen,
- mangelnde Schulung und Ausbildung im Bereich CE,
- geringe Erfahrung im Umgang mit Änderungsprozessen¹⁹,
- verteilt und interdisziplinär arbeitende Teams aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen,
- fehlende durchgängige Werkzeuge und Methoden,
- fehlende Budgetierung des durch die CE-Aktivitäten erzeugten Aufwandes,
- mangelnde Einsicht der Notwendigkeit einer Änderung,
- unzureichendes Bewertungssystem innerhalb des CE,
- schlechte Quantifizierbarkeit des Erfolges und Geschäftsbeitrages von CE-Projekten
- sowie fehlende CE-Standards.

FAN & FILOS (2001) zeigen, dass die o. g. bei US-Unternehmen identifizierten Schwachstellen sich ebenfalls auf europäische Unternehmen übertragen lassen.

STUFFER (1994) stellt fest, dass es umso schwieriger wird, in einem Team allgemein akzeptierte und verständliche Ziele zu formulieren, je interdisziplinärer es besetzt ist. Gleichzeitig führt dieser Mangel an einer klaren Aufgabenstellung dazu, dass die vom Kunden erwarteten Ergebnisse i. d. R. nicht vollständig erreicht werden.

DÖLLNER (1997) stellt eine umfassende Betrachtung der Schwachstellen vor. Hierbei fokussiert er zum einen die Gründe für die geringer ausfallende Zeiterparnis durch Informationstechnik und zum anderen organisatorische Abläufe. Im Bereich der rechnergestützten Verfahren postuliert DÖLLNER (1997), dass die vorhandenen Systeme und Modelle die Entwicklungsprozesse im Rahmen von SE nicht ausreichend unterstützen und Methoden sowie Verfahren nur unzureichend an die Anforderungen des Unternehmens angepasst werden. Darüber hinaus mangelt es an Methoden zur frühzeitigen Produktoptimierung und Fehlererkennung, sodass Abweichungen erst spät identifiziert werden könnten. Für sich ändernde Ziele und Anforderungen, sog. *moving Targets*, bedingt durch einen unzureichenden Informationsrückfluss aus nachgelagerten Bereichen, ist

¹⁹ Unter Änderungsprozessen werden Prozesse zur Änderung einer Organisation bzw. der Prozesse darin verstanden. Technische Änderungsprozesse sind nicht Teil dieser Definition.

dies besonders kritisch. Die Gründe hierfür liegen zum einen in inkompatiblen oder unvollständigen Modellen und zum anderen darin, dass die Prozesse diese Rückflüsse nicht ausreichend vorsehen.

Die Qualität der Interaktion innerhalb eines SE-Teams ist für HAUCK ET AL. (1997) von entscheidender Bedeutung für den Erfolg des Projektes. Hier sehen HAUCK ET AL. erhebliches Verbesserungspotential.

DENNER (1998) stellt fest, dass die Planung und Optimierung der vorzeitigen Übergabepunkte sowie die parallele Bearbeitung durch bestehende Modelle und Systeme nicht ausreichend unterstützt wird, obwohl diese den Rahmen für die SE-Arbeit liefern sollten.

Für eine erfolgreiche Durchführung von SE-Aktivitäten ist nach YAN & JIANG (1999) die Gruppenzusammensetzung von hoher Priorität. Diese stellt erhebliche Anforderungen an die Veränderungsfähigkeit von Organisationen welche noch nicht erfüllt werden.

SCHÖTTNER (1999) stellt die Beobachtung auf, dass zwar Produkte, nicht aber die dazu notwendigen Prozesse, modularisiert werden. Durch diese Entkopplung werden Aktivitäten wie Variantenmanagement und Konfigurationsmanagement stark behindert.

Die frühzeitige Einbindung der Produktion und produktionsnaher Bereiche durch adäquate IT-Unterstützung stellt für HERRMANN (2000) eine der zentralen Herausforderungen dar.

Die durch FAN & FILOS (2001) identifizierten Herausforderungen²⁰ umfassen:

- die interdisziplinäre Zusammenarbeit innerhalb von Teams mit unterschiedlichen kulturellen Hintergründen über die Unternehmensgrenzen hinweg,
- die Arbeit innerhalb von geografisch verteilten Teams,
- unzureichende Simulationen der gesamten Wertschöpfung inklusive der Prozesse,
- Verarbeitung und Nutzung großer Datenmengen aus unterschiedlichen Quellen,
- unzureichendes technisches Änderungswesen,
- Kennzahlen und Methoden zur Erfolgsmessung von Concurrent Enterprises,
- Defizite in der Zusammenarbeitsmentalität,
- Sicherheitsaspekte der dezentralen IT-Systeme,

²⁰ FAN & FILOS (2001) führen den Begriff der *Concurrent Enterprises* als Kombination von Concurrent Engineering und Virtual Enterprise ein. Die aufgezeigten Herausforderungen beziehen sich aber auf Ansatz des CE.

- Investitionskosten für IT-Infrastruktur sowie
- mangelnde Integration der Supply Chain.

Nach KABEL (2001) liegen die Defizite der SE-Forschung und Implementierung vorwiegend darin, dass kein adäquates Modell zur Unterstützung der Zusammenarbeit in SE-Teams existiert.

Die für erfolgreiche SE-Arbeit notwendige Wirtschaftlichkeitsabschätzung wird nach KOC (2002) nicht ausreichend unterstützt. Für mechatronische Produkte stellen sich diese Defizite als besonders gravierend dar.

MÜTZE-NIEWÖHNER (2004) identifiziert mangelnde Methoden zur produktabhängigen Gestaltung von Arbeitssystemen und stellt die damit verbundene fehlende Integration der produzierenden Bereiche in den SE-Prozess als starke Schwachstelle der SE-Implementierung heraus.

MERGET (2004) argumentiert, dass eine effiziente Parallelisierung durch mangelnde Transparenz zwischen den Bereichen der Konstruktion und Fertigung behindert wird. Es fehlt an geeigneten Methoden und Modellen, um die frühzeitige Kommunikation zwischen diesen Bereichen sicherzustellen.

Nach LAMGHABBAR ET AL. (2004) fehlt es an geeigneten Werkzeugen und der technischen Infrastruktur, um den SE-Prozess optimal zu unterstützen.

Ansätze zur Standardisierung von Baugruppen werden durch Product Data Management Systeme (PDMS) und Engineering Data Management Systeme (EDMS) zwar unterstützt, sind nach MACKÉ (2007) jedoch mit einem erheblichen administrativen Aufwand verbunden und finden daher aktuell nur wenig effiziente Verwendung.

SCHMITT & BASSE (2011) fokussieren primär die Prüfplanung im Rahmen des CE, zeigen aber, dass die frühzeitige Gestaltung der nachgelagerten Bereiche aktuell nicht vollständig in den SE-Prozess integriert ist und notwendige Modelle sowie Werkzeug noch immer fehlen.

Das umfassende Werk von EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013) enthält eine Vielzahl von Herausforderungen für die Implementierung von SE, welche primär im Bereich der Zusammenarbeit und Kommunikation liegen. Zum einen erkennen EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013), dass ein Großteil der aktuellen Produkte als Variationen bestehender erstellt werden. Dies hat zur Folge, dass eine hohe Anzahl an Entwicklungsprojekten mit gleichem Basisprodukt parallel ablaufen. Die für die SE-Arbeit nötigen Experten sind aber nicht ausreichend vorhanden, um alle Projekte gleichzeitig zu bearbeiten. Zum anderen existieren Schwachstellen in der Kommunikation im Team, da langsame, aber oft gründlich denkende Mitarbeiter ihre Ziele bei Diskussionen nicht ausreichend einbringen können.

Die zeitliche Kontinuität der Beiträge zu Schwachstellen und Herausforderungen betont die einleitend vorgestellte Erkenntnis, dass SE noch immer nicht optimal realisiert ist und weiterer Verbesserungsbedarf besteht. Gleichzeitig ist die Tendenz zu erkennen, dass in frühen Quellen die Forderung nach Computer-Systemen und die Steigerung deren Leistungsfähigkeit zu finden ist, aktuelle Erkenntnisse dagegen primär den Bedarf an Modellen für eine effiziente Kommunikation und Zusammenarbeit betonen. Abbildung 2.6 zeigt zusammenfassend die Betrachtung der Schwachstellen und Herausforderungen durch die o.g. Autoren. Indirekte Nennungen sowie durch die Autoren am Rande betrachtete Felder wurden zur Illustration reduziert gewichtet. Die blau hervorgehobenen Bereiche stellen die im Rahmen dieser Arbeit primär adressierten Potentiale dar. Eine genaue Übersicht sowie eine Erklärung findet sich in Tabelle 8 im Anhang dieser Arbeit.

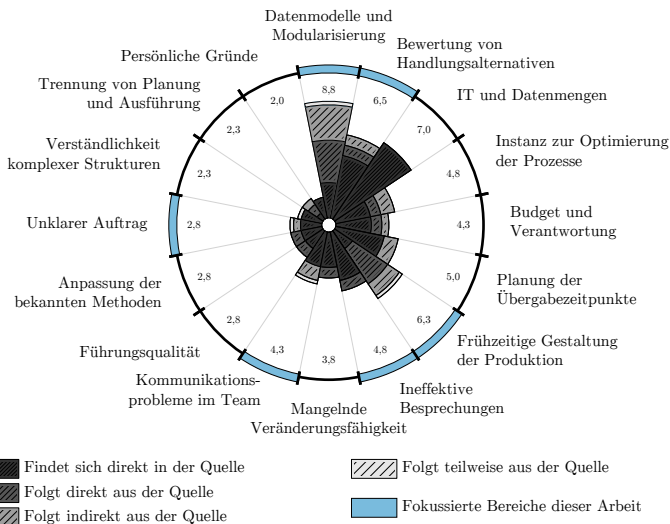


Abb. 2.6: Betrachtung der Herausforderungen und Probleme von SE sowie der fokussierten Bereiche dieser Arbeit

2.2.4 Zusammenfassung

Die vorgestellten Ansätze vereinen den Aspekt der Vorverlagerung von Entwicklungsaktivitäten und der Weiterarbeit auf Basis unvollständiger Daten. Hierdurch wird ein zusätzlicher Koordinations- und Abstimmungsbedarf erzeugt.

Gleichzeitig erfordern diese Ansätze, dass besonders die Vertreter der Produktion eine proaktive Rolle innerhalb der Produktkonzeptdiskussion einnehmen. Obwohl alle Ansätze diesen Bedarf aufzeigen und die effiziente Kommunikation als einen Erfolgsfaktor identifizieren, stellen nur wenige Arbeiten Methoden zur Erreichung dieses Ziels bereit. Die ursprünglichen Ansätze betonen primär die Schaffung von organisatorischen Strukturen, um einen erfolgreichen Austausch zu ermöglichen (KABEL 2001; ADDO-TENKORANG 2011), bspw. durch sog. Cross-Functional-Teams. Zusätzlich verweisen sie auf die IT-gestützten Systeme mit dem Fokus auf die Projektsteuerung und das Produktmodelle, welche primär den Bereich der Produktentwicklung unterstützt, aber den Bereich der Produktionsentwicklung vernachlässigt (MÜTZE-NIEWÖHNER 2004). Vor allem die Standardwerke, wie GAUSEMEIER (2000), EVERSHEIM & SCHUH (2005) und EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013), betonen die absolute Notwendigkeit einer frühzeitigen Integration der Produktion (und weiterer an der Produktentstehung beteiligter Bereiche), liefern aber in diesem Bereich nur wenig konkrete Methoden hierfür. Besonders die Fragestellung nach einer effizienten Kommunikation durch strukturiertes Wissensmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und produzierenden Bereichen wird nicht behandelt (DÖLLNER 1997, S. 2; MERGET 2004).

2.3 Anforderungen und Anforderungsmanagement

2.3.1 Allgemeines

Kooperative Produktentwicklung basiert auf dem Austausch von Wissen zwischen den verschiedenen am Entstehungsprozess beteiligten Bereichen und ist somit stark durch die Effizienz dieses Austausches geprägt. Daher stellt Wissensmanagement²¹ im SE eines der zentralen Optimierungsfelder dar. Besonders die Kommunikation über die Disziplingrenzen hinweg in Bezug auf das zu erreichende Ziel sowie die einzuhaltenden Randbedingungen legen die Basis für eine effiziente und unternehmensoptimale Entwicklung von Produkten. Die Sammlung von und der Umgang mit Anforderungen²² stellt eine wichtige Aufgabe vor allem in der Software-Entwicklung dar. Die umfangreichen Arbeiten,

²¹ Im PEP wird Wissen in unterschiedlichstem Kontext generiert, verwaltet und verwendet. Eine allgemeine Betrachtung des Themenkomplexes *Wissensmanagement* würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Grundlegende Informationen finden sich bei PIRCHER (2010), WILLKE (2011), MEIXNER & HAAS (2012) und HISLOP (2013). PAUSE (2016) präsentiert ein konkretes Konzept zum Wissensmanagement für die Kostenanalyse und gibt eine Übersicht über relevante Ansätze.

²² Der Begriff des Anforderungsmanagements bzw. des Requirements Engineerings wird an dieser Stelle bewusst vermieden, da eine genaue Begriffsabgrenzung in Abschnitt 2.3.6 erfolgt.

sowohl international als auch national, manifestieren sich in Normen und Richtlinien (IEEE 610, IEEE 830, IEEE 1233) sowie umfassender Primärliteratur. Maßgeblich lassen sich im deutschen Sprachraum vor allem die Autoren POHL (POHL 2008, 2010) und RUPP (RUPP & SOPHISTEN 2009; POHL & RUPP 2011; RUPP & SOPHISTEN 2014) sowie SCHIENMANN (2002) identifizieren. Trotz geringfügig divergierender Bezeichnungen herrscht bezüglich der Grundlagen weitgehende Konsistenz zwischen den Autoren. Die Arbeiten fokussieren aber primär die Software-Entwicklung, worauf im Weiteren eingegangen wird. In Abschnitt 2.3.9 wird basierend auf diesen Grundlagen die Übertragung auf den Bereich der Entwicklung physischer Produkte erläutert. Die Integration des Anforderungsmanagements für diese Produkte wird sowohl in der Theorie als auch in der Praxis von einer Vielzahl an Autoren und Unternehmen durchgeführt (SCHÄPPI 2005, S. 15; ENGELN 2011, S. 45 ff.; PONN & LINDEMANN 2011, S. 35 ff.; EHRENSPIEL 2014, S. 58 ff.). Gemein ist allen Ansätzen, dass sie sowohl den Endkunden als auch Normen und Gesetze als primäre Anforderungsquellen heranziehen und Anforderungen aus der Produktion ausschließlich beispielhaft und nicht systematisch darstellen. Ansätze zur strukturierten Generierung und Sammlung dieser Anforderungen werden nicht dargestellt. Diese Fokussierung der Anforderungsquellen deckt sich größtenteils mit der der Industrie. Im Folgenden sollen zunächst die grundlegenden Begriffe definiert und für den Rahmen dieser Arbeit abgegrenzt werden.

2.3.2 Definition für den Begriff der Anforderung

Für den Begriff Anforderung existiert in der wissenschaftlichen Literatur eine Vielzahl unterschiedlicher, aber inhaltlich ähnlicher Definitionen (HESSELER & VERSTEEGEN 2004, S. 2 ff.). Die im Folgenden gewählte Definition nach IEEE 610 bildet die Grundlage für eine Großteil an Übersetzungen und marginale Erweiterungen.

Definition 2.3: Anforderung nach IEEE 610
übersetzt von POHL & RUPP (2011, S. 11)

- (1) Eine Bedingung oder Fähigkeit, die von einem Benutzer (Person oder System) zur Lösung eines Problems oder zur Erreichung eines Ziels benötigt wird.
- (2) Eine Bedingung oder Fähigkeit, die ein System oder Teilsystem erfüllen oder besitzen muss, um einen Vertrag, eine Norm, eine Spezifikation oder andere, formell vorgegebene Dokumente zu erfüllen.
- (3) Eine dokumentierte Repräsentation einer Bedingung oder Eigenschaft gemäß (1) oder (2).

Diese im technischen Bereich allgemeingültige Definition enthält sowohl die dokumentierte als auch die undokumentierte Bedingung oder Eigenschaft, und wird i. A. durch die anwendende Disziplin weiter konkretisiert. Im Rahmen dieser Arbeit soll der von POHL (2008, S. 83 ff.) eingeführte Begriff *Anforderungsartefakt* für einen expliziten Verweis auf die dokumentierte Anforderung verwendet werden. Für den Bereich der Betriebswirtschaft gilt bspw. nach HACHE & SANDER (1994, S. 351) eine Anforderung als „Gesamtheit der objektiven Erfordernisse der Tätigkeit des Menschen für das erfolgreiche Erfüllen einer bestimmten Aufgabe, d. h. das Überführen eines bestimmten Ausgangszustandes des Tätigkeitsobjektes in einen bestimmten und bewertbaren Endzustand“²³. Die strukturierte Definition von Anforderungen hat sich zunächst im Bereich der Informationstechnik etabliert (PARTSCH 2010, S. 5 ff.) und wurde dann auf den Bereich der physischen Produktgestaltung ausgeweitet (EHRLENSPIEL 2014, S. 58 ff.). Die einschlägige Literatur zum Thema Anforderungen ist aber in weiten Teilen noch immer durch den Bezug zur Software-Entwicklung geprägt.

Eine Anforderung beinhaltet der Definition folgend lediglich zu erfüllende Eigenschaften und beschreibt somit den Problemraum, nicht den Lösungsraum (POHL 2008, S. 21; BALZERT 2009, S. 437).

2.3.3 Eigenschaften von Anforderungen

Für einen effizienten Umgang mit Anforderungen gelten grundlegend zu erfüllende Eigenschaften von Anforderungen. Diese werden im Regelwerk der IEEE 830 aufgezählt und durch POHL & RUPP (2011, S.54 ff.) vom Anforderungsdokument auf die einzelnen Anforderungen erweitert. Tabelle 2.1 zeigt die allgemeine Akzeptanz bezüglich der in der IEEE 830 Norm definierten Kriterien mit Ausnahme der Modifizierbarkeit. Letztere wird von den Autoren primär den Eigenschaften des Gesamtdokuments bzw. der Summe der Anforderungen zugeordnet und findet daher keine Nennung auf Ebene der einzelnen Anforderung. Des Weiteren finden die Kriterien Realisierbarkeit, Gültigkeit und Aktualität, Abgestimmtheit, Klassifikation und Verständlichkeit ebenfalls Anwendung in der genannten Literatur. Eine starke Überdeckung, wengleich auch keine vollständige Austauschbarkeit, kann zwischen Klassifikation und Priorisierung sowie zur Notwendigkeit²⁴ identifiziert werden. Somit lassen sich die grundlegenden zehn Kriterien in Anlehnung an RUPP & SOPHISTEN (2014, S. 27 ff.) für diese Arbeit verwenden.

²³ Der Bereich der Betriebswirtschaft bzw. Arbeitswissenschaft soll lediglich einen beispielhaften Vergleich zwischen Anforderungen an technische Systeme gegenüber Anforderungen an Personen darstellen. Eine allgemeingültige, disziplinübergreifende Definition, die über die IEEE 610 hinausgeht, ist nicht zielführend.

²⁴ Notwendigkeit stellt hierbei eine besondere Form der Priorisierung dar.

Tabelle 2.1: Eigenschaften von Anforderungen nach IEEE 830, SCHIENMANN, POHL & RUPP und RUPP & SOPHISTEN

IEEE 830		SCHIENMANN 2002, S. 177 ff.	POHL & RUPP 2011, S.54 ff.	RUPP & SO- PHISTEN 2014, S. 27 ff.
Ranked	Bewertet		Bewertet	Bewertet
Unambiguous	Eindeutig	Eindeutigkeit	Eindeutig	Eindeutig
Correct	Korrekt	Korrektheit	Korrekt	Korrekt
Consistent	Konsistent	Konsistenz	Konsistent	Konsistent
Verifiable	Verifizierbar	Verifizierbar	Prüfbar	Prüfbar
Traceable	Nachverfolgbar	Nachvollziehbar	Verfolgbar	Verfolgbar
Complete	Vollständig	Vollständigkeit	Vollständig	Vollständig
Modifiable	Modifizierbar			
		Umsetzbarkeit	Realisierbar	Realisierbar
		Geltung	Gültig und Aktuell	Gültig und Aktuell
			Abgestimmt	
		Priorisierung		Klassifizierbar
		Verständlichkeit	Verständlich	Verstehbar
				Notwendig

Definition 2.4: Eigenschaften von Anforderungen nach RUPP & SOPHISTEN (2014, S. 27 ff.)

- Vollständigkeit
- Korrektheit
- Konsistenz
- Prüfbarkeit
- Eindeutigkeit
- Verständlichkeit
- Gültigkeit und Aktualität
- Realisierbarkeit
- Notwendigkeit
- Bewertbarkeit

Die Grundeigenschaften bzw. Qualitätskriterien einer Anforderungsspezifikation nach POHL & RUPP (2011, S. 52) werden von SCHIENMANN (2002, S.

177) um die Eigenschaften Strukturiertheit, Aktualität, Modifizierbarkeit, Zugreifbarkeit, Projizierbarkeit und Relevanz für ein Anforderungsdokument erweitert. Im Kontext werden diese als Definition für die Eigenschaften an ein Anforderungsdokument bzw. die Summe an Anforderungen übernommen.

**Definition 2.5: Eigenschaften eines Anforderungsdokuments
nach SCHIENMANN (2002, S. 177)
und POHL & RUPP (2011, S. 52)**

- Eindeutigkeit
- Konsistenz
- Strukturiertheit
- Modifizierbarkeit
- Erweiterbarkeit
- Vollständigkeit
- Verfolgbarkeit
- Aktualität
- Zugreifbarkeit
- Projizierbarkeit
- Relevanz

Die Aktualität beschreibt daher im Kontext dieser Arbeit sowohl die Aktualität der einzelnen Anforderung als auch die Aktualität eines Gesamtdokuments. Unabhängig von der hohen Korrelation zwischen diesen Bezugsgrößen sind Anwendungsfälle möglich, in denen, obwohl die Aktualität für Anforderungen sichergestellt ist, dieses nicht für das Gesamtdokument gilt, da hier ein abweichender Kontext vorliegt. Beispielsweise liegen jeweils die neuesten, zum Teil geänderten Anforderungen vor, im Rahmen der Validierung muss aber ein Lastenheft abgeleitet werden, welches dem konkreten Zustand bei Projektstart entspricht. Unter Projizierbarkeit wird nach SCHIENMANN (2002, S. 177) die Möglichkeit verstanden, das Anforderungsdokument benutzeradäquat aufzubereiten, bspw. durch verschiedene Gliederungsmöglichkeiten der Anforderungen. Die genaue Interpretation der einzelnen Kriterien ist wiederum abhängig vom Einsatzzweck und Anwendungsfall.

2.3.4 Arten von Anforderungen

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl an Klassifikationen von Anforderungen. Nach POHL (2008, S. 14) und IEEE 830 (1998) lassen

sich die grundlegenden Arten *funktionale Anforderungen*, *Qualitätsanforderungen* und *Rahmenbedingungen* unterscheiden, welche sich nach Bedarf weiter verfeinern lassen. *Funktionale Anforderungen* definieren nach POHL & RUPP (2011, S. 16) „die durch ein System oder eine Systemkomponente zu erbringende Funktion“. *Qualitätsanforderungen* hingegen beschreiben eine qualitative Eigenschaft des Systems oder einer Funktion (POHL & RUPP 2011, S. 16). *Rahmenbedingungen* stellen Vorgaben dar, welche die Realisierung des Projektes einschränken (POHL & RUPP 2011, S. 17). RUPP & SOPHISTEN (2014, S. 15) nennen neben funktionalen auch technische Anforderungen, Anforderungen an die Benutzerschnittstelle, Qualitätsanforderungen, Anforderungen an sonstige Lieferbestandteile, Anforderungen an durchzuführende Tätigkeiten und rechtlich-vertragliche Anforderungen.

Eine detailliertere Einteilung mit starkem Fokus auf der Software-Entwicklung findet sich bei POHL (1996, S. 7 ff.) unter der Bezeichnung Requirements Specifications Model (RSM). Funktionale und nichtfunktionale Anforderungen werden als Hauptklassen²⁵ mit dazugehörigen, konkretisierten und auf der Basis einer Vielzahl von primär für die Software-Entwicklung relevanten Regeln und Standards definiert. Regelwerke wie IEEE 830 (1998) sowie BS 6719 (1986) bilden hierbei die Grundlage für die große Mehrheit der Kategorien. Eine analoge Aufteilung findet sich bspw. bei ROBERTSON & ROBERTSON (2009, S. 155 ff.).

SCHIENMANN (2002, S. 122 ff.) gibt eine zusammenfassende Übersicht vorhandener Klassifikationen für Anforderungen. Hierbei werden die Hauptkategorien Kundenanforderungen, Produkthanforderungen und Projektanforderungen unterschieden.

Die Klassifikationen für Anforderungen zeigen den klaren Bezug zu bzw. die thematische Herkunft aus dem Bereich der Software-Entwicklung (bspw. Verfügbarkeit und Zeitverhalten). Hierbei ist eine Übertragung dieser Kategorien auf weitere Disziplinen ohne direkte Kundenanforderungen nur eingeschränkt möglich. Im Bereich der Produktentwicklung lassen sich, trotz weiter Verbreitung der o.g., vereinzelt zusätzliche Klassifikationen mit anwendungsspezifischen Ausprägungen finden (SCHULTE 2006, S. 60; BRUHN 2011).

2.3.5 Lastenheft und Pflichtenheft

Die grundlegenden Dokumente im Umgang mit Anforderungen stellen im industriellen Umfeld das *Lastenheft* sowie das *Pflichtenheft* dar, wobei letztere

²⁵ Aufgrund des starken Bezugs zur Software-Entwicklung mit geringer Übertragbarkeit auf das Fachgebiet dieser Arbeit soll an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung der Klassifikation verzichtet werden.

res als Beschreibung der Anforderungserfüllung nicht Teil des Umgangs mit Anforderungen im engeren Sinne ist.

Definition 2.6: Lastenheft (VDI 69901 2009)

Vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferung und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines Auftrags.

Definition 2.7: Pflichtenheft (VDI 69901 2009)

Das vom Auftragnehmer erarbeitete Realisierungsvorhaben aufgrund der Umsetzung des vom Auftraggeber vorgegebenen Lastenhefts.

Während ein Lastenheft eine zeitpunktbezogene Zusammenstellung der Anforderungen umfasst, stellt eine Gruppe an Anforderungen, welche nicht notwendigerweise einen konkreten Anwendungsbezug bzw. einen konkreten zeitlichen Bezug aufweisen muss, eine *Anforderungsspezifikation* nach POHL & RUPP (2011, S. 35) dar. Es ist zu beobachten, dass bspw. POHL (2008, S. 742) unter einer Anforderungsspezifikation explizit ein Dokument versteht, während aktuellere Literatur eine allgemeine Sammlung beschreibt.

Definition 2.8: Anforderungsspezifikation (POHL & RUPP 2011, S. 35)

Eine systematisch dargestellte Sammlung von Anforderungen (typischerweise für ein System oder eine Komponente), die vorgegebenen Kriterien genügt.

Eine analoge Basisdefinition findet sich auch in der IEEE 610 (1990). Somit stellt ein Lastenheft immer eine *Anforderungsspezifikation* dar. Diese kann aber auch nur ein Teil einer Gesamtspezifikation sein, bezogen auf einen konkreten Anwendungsfall. Im Rahmen dieser Arbeit wird bewusst eine klare Trennung der o.g. Begriffe verwendet, auch wenn in der Praxis Lastenheft, Pflichtenheft und Anforderungsspezifikation teilweise synonym verwendet werden (FUCHS ET AL. 2012, S. 16).

2.3.6 Anforderungsmanagement (AM)

Die für die Nutzung von Anforderungen notwendigen Prozesse und Organisationen werden in der wissenschaftlichen Literatur unterschiedlich und teilweise widersprüchlich eingeteilt und bezeichnet. Der folgende Abschnitt soll ein für diese Arbeit gültiges Gesamtverständnis schaffen.

Der Definition von POHL & RUPP (2011, S. 12) folgend beinhaltet das Requirements Engineering (RE) die vier primären Tätigkeiten *Ermitteln von Anforderungen*, *Dokumentieren von Anforderungen*, *Prüfen und Abstimmen von Anforderungen* sowie das *Verwalten der Anforderungen*. Die letzte Tätigkeit, welche die Aufbereitung der Anforderungen für verschiedene Rollen, aber auch das Sicherstellen der konsistenten Anpassung der Anforderungen beinhaltet, wird nach POHL & RUPP (2011, S.12) unter dem Begriff Verwalten bzw. *Requirements Management* verstanden.

Definition 2.9: Requirements Engineering (POHL & RUPP 2011, S. 12)

Das Requirements Engineering ist ein systematischer und disziplinierter Ansatz zur Spezifikation und zum Management von Anforderungen mit den folgenden Zielen:

- (1) Die relevanten Anforderungen zu kennen, Konsens unter den Stakeholdern über die Anforderungen herzustellen, die Anforderungen konform zu vorgegebenen Standards zu dokumentieren und die Anforderungen systematisch zu managen.
- (2) Die Wünsche und Bedürfnisse der Stakeholder zu verstehen, zu dokumentieren sowie die Anforderungen zu spezifizieren und zu managen, um das Risiko zu minimieren, dass das System nicht den Wünschen und Bedürfnissen der Stakeholder entspricht.

Die Verwendung des Begriffes *Requirements Management (RM)* ist allerdings in der aktuellen Literatur nicht einheitlich definiert (JANZEN ET AL. 2013, S. 6). LEFFINGWELL & WIDRIG (2003), SCHIENMANN (2002) und beispielsweise HOOD & WIEBEL (2005) verstehen das *Requirements Engineering* als Teil des *Requirements Managements*, welches somit alle Aufgaben im Umgang mit Anforderungen einschließt.

Andere Autoren (WIEGERS 2005; RUPP & SOPHISTEN 2009; PARTSCH 2010; EBERT 2010; POHL & RUPP 2011) verstehen hingegen das *Requirements Management* als Teil des *Requirement Engineerings*. Vor allem im englischen Sprachraum kann allerdings der Begriff *Requirements Engineering (RE)* als Oberbegriff identifiziert werden, welcher die operativen Tätigkeiten unter *Requirements Development* und die strategischen Aufgaben unter *Requirements Management (RM)* zusammenfasst (SCHIENMANN 2002, S. 32). In Anlehnung an SCHIENMANN (2002, S. 32) wird in dieser Arbeit die erste, umfassende Definition für RM bzw. Anforderungsmanagement verwendet, welche sämtliche Aktivitäten einschließt. Das zweite Argument von SCHIENMANN (2002), wonach Probleme im Umgang mit Anforderungen primär aus dem mangelnden Management von Anforderungen herrühren, unterstützt diese Definition. Daher gilt im Rahmen dieser Arbeit folgende Definition für Anforderungsmanagement:

Definition 2.10: Anforderungsmanagement

Anforderungsmanagement (AM) bezeichnet alle Aktivitäten, die zur Aufnahme, systematischen Dokumentation und zielgruppenorientierten Aufbereitung von Anforderungen und den damit verbundenen, zusätzlichen Informationen nötig sind und die der Gestaltung, Steuerung und Überwachung aller Prozesse zur Änderung von einzelnen Anforderungen sowie von Anforderungsspezifikationen im Ganzen dienen.

Diese Definition schließt somit die Definitionen des RE nach POHL & RUPP (2011, S. 12) als Teil mit ein.

AM lässt sich weiter in die drei Teilbereiche des Kunden-AM, Produkt-AM sowie das Projekt-AM unterteilen (SCHIENMANN 2002, S. 62). Das Kunden-AM verfolgt die zentralen Fragestellungen welche Anforderungen existieren und welche umgesetzt werden sollen. Das Produkt-AM legt eine Bündelung und zeitliche Einteilung fest, während das Projekt-AM die Umsetzung der Anforderungen unterstützt (SCHIENMANN 2002, S. 62)²⁶.

2.3.7 Kernkonzepte des AM

In diesem Abschnitt sollen zunächst die Rahmenbedingungen in Form der Dimensionen des AM erläutert und darauf aufbauend die für das Verständnis notwendigen Begriffspaare Problem und Lösung, Anforderung und Abnahmekriterium sowie Fachseite und Technik nach SCHIENMANN (2002, S. 49) vertieft werden. Das AM lässt sich nach POHL (1996, S. 38) in die drei Dimensionen *Spezifikation*, *Repräsentation* und *Geltung* unterteilen, welche eine Anforderungsdefinition beschreiben. In diesem Raum bewegt sich nach SCHIENMANN (2002, S. 49) eine Rohanforderung hin zur Anforderungsdefinition (vgl. Abbildung 2.7). Dabei findet eine Entwicklung in den Bereichen der Erzeugung des Problemverständnisses, der Formalisierung und der Übereinstimmung bezüglich der Bewertung der Anforderung statt. Der Dimension *Spezifikation* liegt dabei die Kernfrage „Was soll beschrieben werden, um zu einer möglichst vollständigen Anforderungsdefinition zu kommen?“ zugrunde (SCHIENMANN 2002, S.49). Die Auswahl der Darstellungsmittel, welche eine Verständlichkeit für alle Beteiligten ermöglicht, folgt der Dimension der *Repräsentation*. *Geltung* bzw. *Übereinstimmung* beschreibt die Frage, wie von „allen Beteiligten getragene,

²⁶ Die Durchgängigkeit dieser Prozesse wird nach SCHIENMANN (2002, S. 61) als kontinuierliches AM verstanden.

gemeinsame Ergebnisse erarbeitet und begründet“ werden können (SCHIENMANN 2002, S. 49). Abbildung 2.7 zeigt diesen Verlauf im Entwicklungsprozess qualitativ.

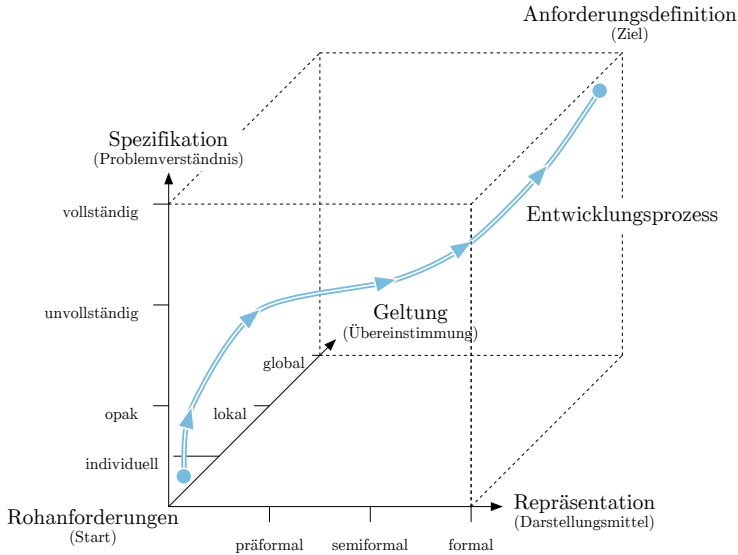


Abb. 2.7: Dimensionen des AM nach SCHIENMANN (2002, S. 49) in Anlehnung an POHL (1996, S. 38)

2.3.7.1 Problem und Lösung

Probleme beschreiben den grundsätzlichen Handlungsbedarf des Anforderungstellers. Die Abgrenzungen zu Elementen der Lösung ist nach SCHIENMANN (2002, S. 54) eine der wichtigsten Herausforderungen für ein effizientes AM. THOMSETT (2002, S. 319 ff.) stellt hierbei klar heraus, dass Anforderungen nicht synonym mit Erwartungen oder gar Hoffnungen zu setzen sind. In einer Vielzahl an Projekten schlägt eine Formulierung der Anforderungen fehlt, da die Begriffs- und Prozesswelt des Anforderungstellers nicht ausreichend verstanden wurde. SCHIENMANN (2002, S. 49) bezeichnet diese Welt als Anwendungsbereich, wäh-

rend sich die Lösung im Bereich des Anwendungssystems befindet²⁷. Obwohl KOTONYA & SOMMERVILLE (2002, S. 7) feststellen, dass eine Trennung zwischen Problem und Lösung in der Praxis schwierig durchzuführen sei. Dennoch ist die Trennung von besonderer Wichtigkeit, damit die Gefahr eines zu frühen Übergangs in den Entwurf einer Anwendung vermindert werden kann (BRAY 2002, S. 36; SCHIENMANN 2002, S. 54; GRADY 2014, S. 104).

2.3.7.2 Anforderung und Abnahmekriterium

Abnahmekriterien ermöglichen die Überprüfung der Einhaltung einer Anforderung und sind damit ein Indikator für die Qualität der Anforderung. Lediglich eine sinnvoll überprüfbare Anforderung kann die Kriterien der Konsistenz, Korrektheit und Vollständigkeit erfüllen (SCHIENMANN 2002, S. 56). Das Begriffspaar zeigt somit die Kundenorientierung²⁸ des gesamten Entwicklungsprozesses. RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 323) zeigen, dass Anforderungen ein Abnahmekriterium oder im Falle komplexer Anforderungen mehrere Abnahmekriterien mit dem Ziel des Nachweises der Spezifikationstreue zugeordnet werden. RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 323 ff.) geben detaillierte Erklärungen und Beispiele für die Definition von Abnahmekriterien und betonen die Wichtigkeit dieser im AM.

2.3.7.3 Fachseite und Technik

Anforderungssteller und vor allem Nutzer des zu entwickelnden Produktes sind i. A. nicht an technischen Realisierungen interessiert, sondern erwarten eine Lösung der Aufgaben in ihrem Betrachtungsbereich. Hierbei übernimmt im Regelfall die Unternehmensfunktion des Produktmanagements die Repräsentation des Kundenwunsches im Entwicklungsprojekt (SCHIENMANN 2002, S. 58). Unter Verweis auf MCMENAMIN & PALMER (1984) bezeichnet SCHIENMANN (2002, S. 58) die Fachseite als Systemessenz und die Technik als Systeminkernation. Systemessenz beinhaltet danach die „fachlichen Aufgaben und Eigenschaften einer Anwendung ohne Berücksichtigung der zugrundeliegenden Technologie“ (SCHIENMANN 2002, S. 59) und stellt aus Sicht des Anwenders die eigentliche Begründung für die Existenz bzw. den Bedarf nach einem System dar. Die Inkernation hingegen beschreibt die technischen und technologischen

²⁷ Die Bezeichnungen Anwendungsfall und Anwendungssystem basieren auf dem Bereich der Software-Entwicklung als Bezugsraum des Autors. Das Anwendungssystem beschreibt hierbei das resultierende Produkt.

²⁸ SCHIENMANN (2002) betrachtet den Kunden als primären Anforderungsgeber bzw. versteht die Bezeichnung in Relation zum Auftraggeber im Sinne einer Beauftragung einer Software-Entwicklung.

Randbedingungen, die sich durch die Implementierung unter Verwendung der Technologie ergeben. Ziel des AM muss es daher sein, zunächst den Fokus auf die Essenz zu legen und erst im Anschluss eine technische Konkretisierung der Anforderungen vorzunehmen (SCHIENMANN 2002, S. 59). Das Begriffspaar von Fachseite und Technik unterscheidet sich von der Paarung Problem und Lösung dadurch, dass das Bezugsobjekt der Systeminkarnation noch immer die Anforderung ist und keine Entwicklung einer technischen Lösung stattfindet. Im Rahmen des AM erfolgt eine iterative Konkretisierung (RUPP & SOPHISTEN 2009, S. 416), sodass ein enger Zusammenhang zwischen diesen Paaren besteht.

2.3.8 Hauptaufgaben des AM

Nach POHL & RUPP (2011, S. 12) beinhaltet das AM vier Haupttätigkeiten²⁹. Die Tätigkeiten *Ermitteln*, *Dokumentieren*, *Prüfen und Abstimmen* sowie *Verwalten* von Anforderungen decken sich in weiten Teilen mit den durch SCHIENMANN (2002, S. 33) definierten Aufgaben. SCHIENMANN (2002, S. 33) teilt diese in einen Bereich der *Entwicklung und Durchführung* des AM sowie die Elemente zur *Steuerung und Verwaltung* (vgl. Abb. 2.8) ein. Zusätzlich sind alle Tätigkeiten in das Konzept einer kontinuierlichen Verbesserung der Prozesse eingebettet. Die Elemente der *Entwicklung und Durchführung* beinhalten die *Ermittlung*, *Analyse*, *Verständigung*, *Dokumentation* sowie die *Qualitätssicherung*. Entsprechende Tätigkeiten finden sich trotz marginaler Unterschiede in Benennung und Aufteilung auch bei RUPP & SOPHISTEN (2009), WIEGERS (2005), POHL & RUPP (2011), GRANDE (2011), NIEBISCH (2013) und RUPP & SOPHISTEN (2014). MARTIN ET AL. (2002) führen eine vergleichende Fallstudie bezüglich der Strukturierung der Abläufe des AM bei zwei australischen Unternehmen in einer Vielzahl von Entwicklungsprojekten durch. Das auf Basis der initialen Literaturrecherche entwickelte Framework zur Strukturierung deckt sich ebenfalls mit den o. g. Autoren und zeigt eine starke Konvergenz bezüglich dieser Struktur. LOUCOPOULOS & KARAKOSTAS (1995) betonen hierbei die starken Iterationen und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Aktivitäten gegenüber der verbreiteten linearen Modellierung der Abläufe. Es ist zu beachten, dass diese Elemente Teile des AM nach der in dieser Arbeit geltenden, umfassenden Definition darstellen. Die aufgeführten Autoren verwenden z. T. andere Bezeichnungen hierfür.

Im Folgenden sollen die Teilaufgaben, der Struktur von SCHIENMANN (2002, S.33) folgend, kurz erläutert werden.

²⁹ POHL & RUPP (2011) verwenden den Begriff Requirements Engineering, welcher im Kontext der Definition dieser Arbeit dem AM entspricht.

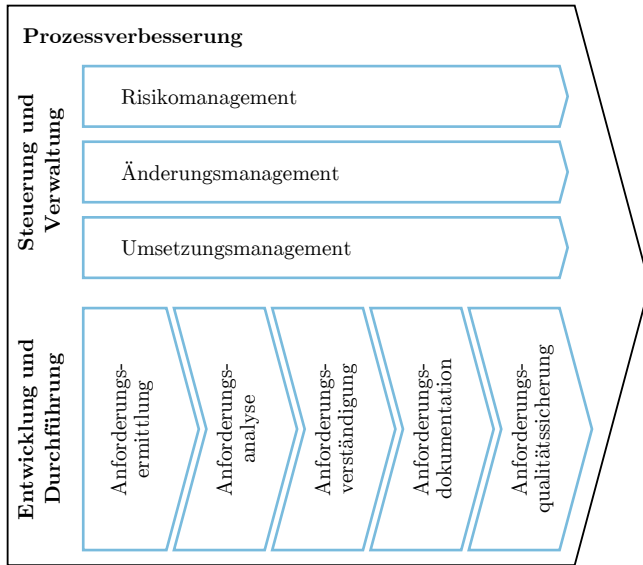


Abb. 2.8: Hauptaufgaben des Anforderungsmanagements nach SCHIENMANN (2002, S. 33)

2.3.8.1 Entwicklung und Durchführung

Die Aufgaben zur Generierung der Anforderungen werden nach SCHIENMANN (2002, S. 33) als operative Tätigkeiten im Entwicklungs- bzw. Durchführungspfad bezeichnet.

Anforderungsermittlung

Die Anforderungsermittlung beinhaltet die Aufnahme des Kundenwunsches³⁰ und die gemeinsame Identifikation der daraus resultierenden Anforderungen. Zusätzliche Anforderungsquellen, wie bspw. Gesetze und Verordnungen, aber auch Organisationsstandards und Konkurrenzprodukte, werden ebenfalls in diesem Prozessschritt betrachtet und notwendige Anforderungen abgeleitet (SCHIENMANN 2002, S. 35; POHL & RUPP 2011, S. 29; RUPP & SOPHISTEN 2014, S. 93). POHL (2010) und POHL & RUPP (2011, S. 29) fassen die Anfor-

³⁰ SCHIENMANN (2002) betrachtet, wie RUPP & SOPHISTEN (2014) und POHL & RUPP (2011) den Kunden als primären Anforderungssteller an ein zumeist informationstechnisches System.

derungsquellen in die drei Gruppen *Stakeholder*, *Dokumente* und *Systeme im Betrieb* zusammen, worin sich die von SCHIENMANN (2002, S. 35) genannten Anforderungsquellen ebenfalls wiederfinden. Detaillierte Erklärungen bezüglich der Stakeholderidentifikation finden sich in RUPP & SOPHISTEN (2014, S. 93 ff.). In nahezu allen Entwicklungsprojekten können aufgrund der Anzahl an involvierten Stakeholdern lediglich ausgewählte Repräsentanten berücksichtigt werden, sodass die Auswahl dieser von besonderer Wichtigkeit ist (POHL & RUPP 2011, S. 30). SCHIENMANN (2002, S. 34) betont die Wichtigkeit, bei allen Beteiligten ein einheitliches Verständnis zu erzeugen. Für eine systematische Identifikation der Anforderungen ist nach SCHIENMANN (2002, S. 34) ein Fragenkatalog oder ein Beschreibungsmuster unbedingt erforderlich. Die Grundlage hierfür können die in Tabelle 2.2 aufgeführten offenen W-Fragen darstellen. Darüber hinaus wird mit der Technik der sog. Snowcards³¹, eine einheitliche Vorlage zur Dokumentation der Aufnahmeergebnisse, aufgezeigt. POHL & RUPP (2011, S. 34 ff.) identifizieren fünf Gruppen von Ermittlungstechniken: Befra-

Tabelle 2.2: W-Fragen nach SCHIENMANN (2002, S.34)

WAS	Was ist das Problem, was bereitet Sorgen?
WARUM	Warum besteht dieses Problem, was ist die zugrundeliegende Zielsetzung?
WER	Wer ist von dem Problem und seinen Auswirkungen direkt oder indirekt betroffen?
WO	Wo trat das Problem auf (Stellen, Informationsobjekte, Prozessschritte, ...)?
WIE	Wie kann das Problem beseitigt werden, welche Anforderungen ergeben sich?
WOMIT	Womit bewältigen Sie aktuell das Problem (Anwendungen, Dokumente, ...)?
WIE VIEL	Welches sind die Anforderungen an die Problemlösung (Kosten, Dringlichkeit, ...)?

³¹ Snowcards oder auch *requirements shell* stellt eine Vorlage dar, welche die Kerninformation einer atomaren Anforderung enthält. Eine detailliertere Darstellung der Technik sowie der Vorlage findet sich in SCHIENMANN (2002, S. 215) und in einem weiteren Kontext in ROBERTSON & ROBERTSON (2013).

gungstechniken³², Kreativitätstechniken³³, dokumentenzentrierte Techniken³⁴, Beobachtungstechniken³⁵ und unterstützende Techniken. Sie folgen aber der Aussage von HICKEY & DAVIS (2003), dass keine universelle Methode zur Ermittlung von Anforderungen existiert.

SCHIENMANN (2002, S. 198) liefert eine detaillierte Übersicht über verschiedene Erhebungstechniken und deren Bewertung bezüglich deren Eignung. Für das produktseitige AM kommen vor allem das Studium der Fachliteratur, Fragebogenbefragungen, strukturierte Interviews, Anforderungsworkshops und Karten- sowie Kreativitätstechniken zum Einsatz.

Anforderungsanalyse

Ziel der Anforderungsanalyse ist es nach SCHIENMANN (2002, S. 37), die „ermittelten Anforderungen inhaltlich und formal zu strukturieren, zu konsolidieren und Konsistenz herbeizuführen“. Hierbei folgt eine reaktive Strukturierung auf Basis der bereits aufgenommenen Anforderungen. Nach SCHIENMANN (2002, S. 37) stehen Techniken wie *Anwendungsfälle*³⁶, *Problem Frames*³⁷, *CRC-Karten*³⁸ und *Begriffs- oder Bedeutungsanalysen*³⁹ zur Verfügung. Der Prozess der Anforderungsanalyse stellt nach SCHIENMANN (2002, S. 37) häufig ein iteratives Vorgehen dar. RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 386 ff.) und POHL & RUPP (2011, S. 47) beschreiben die Strukturierung von Anforderungen proaktiv im Sinne

³² POHL & RUPP (2011, S. 34 ff.) unterscheiden hierbei zwischen Interview und Fragebogen. Für Grundlagen zu diesen Themen sei bspw. an BÜHNER (2011) und FLICK (2011) verwiesen.

³³ Eine detaillierte Auflistung von Kreativitätstechniken im Zusammenhang mit der Anforderungsgenerierung findet sich bspw. bei MAIDEN & GIZIKIS (2001) und MAIDEN ET AL. (2004). Allgemeine Grundlagen zu Kreativitätstechniken finden sich bspw. bei AUDEHM (1999), MALORNY ET AL. (1997), AMBROSE & HARRIS (2010) und BAYERL (2005).

³⁴ POHL & RUPP (2011, S. 38) beschreiben die drei Techniken Systemarchäologie, perspektivenbasiertes Lesen sowie Wiederverwendung.

³⁵ POHL & RUPP (2011, S. 38) unterscheiden zwischen Feldbeobachtung und Apprenticing. Letzteres erfordert vom Anforderungssammler, dass er die Tätigkeiten des Anforderungstellers erlernt.

³⁶ Anwendungsfälle definieren nach SCHIENMANN (2002, S. 223) „die von Benutzern erwarteten Leistungen eines Anwendungssystems.“ Die Technik beschreibt die Modellierung und Dokumentation des Anwendungsfalls aus Sicht des Nutzers.

³⁷ Problem Frames stellen nach SCHIENMANN (2002, S. 241) ein Werkzeug zur Strukturierung und Spezifikation von Problemen dar, welche aufgrund der Aufteilung in handhabbare Teilprobleme eine Überführung in Anforderungen erleichtern. Grundlagen zu Problem Frames finden sich in JACKSON (1995, S. 170 ff.) und JACKSON (2001). Anschauliche Anwendungsbeispiele finden sich in KOVITZ (1999).

³⁸ Die Dokumentation in Form von sog. Class-Responsibility-Collaboration-Karten beschreibt die Verantwortlichkeit und Zusammenarbeit von Klassen bzw. Geschäftsobjekten im informationstechnischen Kontext (SCHIENMANN 2002, S. 219).

³⁹ Begriffs- oder Bedeutungsanalysen stellen eine Technik zur Reduktion der Mehrdeutigkeit, Vagheit oder Unvollständigkeit von Aussagen bereit, welche vor allem durch unterschiedliche Interpretation von Fachbegriffen entstehen (SCHIENMANN 2002, S. 234). Grundlagen und Details finden sich in ORTNER (1997) und RUPP & SOPHISTEN (2009).

von Standardgliederungen und stellen hiermit eine Alternative zur reaktiven Strukturierung bereit. Die Aspekte der Konsolidierung und das Erzeugen von Konsistenz wird von beiden Autoren unabhängig hiervon als unabdingbare Aufgabe des AM angesehen.

Anforderungsverständigung

Die Anforderungen unterschiedlicher Stakeholder können widersprüchlich sein und damit im Rahmen der Entwicklung keine Lösung zulassen. Die Anpassung dieser Anforderungen sowie die Einigung auf umzusetzende Anforderungen (bspw. für ein Software-Release) stellt nach SCHIENMANN (2002, S. 40) den Prozess der Anforderungsverständigung dar und ist eng mit der Konsolidierung im Sinne der Anforderungsanalyse verbunden. Widersprüche müssen theoretisch mit allen beteiligten Stakeholdern gelöst werden (RUPP & SOPHISTEN 2009, S. 320 ff.), wobei hierbei eine quantitative Bewertung nach Kriterien wie Wichtigkeit, Dringlichkeit oder Umsetzungsaufwand anzustreben ist (SCHIENMANN 2002, S. 42). RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 320) betonen aber, dass die Konsolidierung der Meinungen mit allen Stakeholdern nicht selten einen nicht unerheblichen Aufwand bedeutet und häufig eine Entscheidung von wenigen Stakeholdern getroffen werden kann.

Anforderungsdokumentation

Die Dokumentation der Anforderungen legt die Basis für eine Zusammenarbeit verschiedener Beteiligter. Hierbei ist es das Ziel, die Anforderungen trotz der Heterogenität der am Entwicklungsprozess beteiligten Bereiche verständlich darzustellen (SCHIENMANN 2002, S. 42). Die Anforderung nimmt unter der Vielzahl an Dokumenten im AM eine zentrale Rolle ein (POHL & RUPP 2011, S. 386 ff.), wobei die Einordnung der Anforderungen im Systemkontext von entscheidender Bedeutung ist und ebenfalls dokumentiert sowie visualisiert werden muss (POHL & RUPP 2011, S. 190 ff.). Auf Basis der zunächst natürlichsprachlich formulierten Anforderungen werden diese in semiformale oder formale Sprachen überführt (SCHIENMANN 2002, S. 42). POHL & RUPP (2011, S. 59) unterscheiden hierbei zwischen *Anforderungen natürlichsprachig dokumentieren* und *Anforderungen modellbasiert dokumentieren*. Letztere finden zunehmende Verwendung als Ergänzung oder Ersatz für natürlichsprachige Anforderungen (POHL & RUPP 2011, S. 69), beinhalten aber eine verstärkte Gefahr, bereits durch Konkretisierung der Systemvorstellung den Lösungsraum zu stark einzuschränken. Obwohl die Bedeutung dieser Modellierungssprachen bzw. -diagramme in der industriellen Praxis anerkannt ist, erfolgt die Auswahl nicht selten willkürlich oder aus Tradition (RUPP & SOPHISTEN 2009, S. 180). Nach POHL & RUPP (2011, S. 220) stellen ereignisgesteuerte Prozessketten, Kontextdiagramme, Szenarioformulierung, Use-Case-Diagramme, Use-Case-Beschreibungen, Aktivitätendiagramme, Klassendiagramme, Zustandsautomaten und Sequenzdiagramme die am weitesten verbreiteten Arten der formalisierten Sprachen dar,

wobei sich diese zum einen stark auf den Kontext der Anforderung beziehen und zum anderen einen Fokus auf Softwareentwicklung legen. DAVIS (1993), POHL ET AL. (2005, S. 307 ff.) und POHL & RUPP (2011, S. 81) definieren die Struktur-, Funktions- und Verhaltensperspektive und empfehlen eine getrennte Modellierung der Anforderungen in diesen Perspektiven⁴⁰.

Die Diagramme der Unified Modeling Language (UML) finden ebenfalls bei SCHIENMANN (2002, S. 43) sowie POHL & RUPP (2011, S. 69) im Bereich der modellbasierten Dokumentation Anwendung. Hierbei stehen vor allem die sog. Use Cases (Anwendungsfälle) im Fokus der Betrachtung. Aus diesen werden nach POHL & RUPP (2011, S. 80) Szenarien und Alternativszenarien abgeleitet, welche die Anforderungen an das System beschreiben (POHL & RUPP 2011, S. 81). Die Dokumentation von natürlichsprachigen Anforderungen wird in der Mehrheit der Anwendungsfälle nicht durch eine vollständig formalisierte Dokumentation ersetzt. Um dennoch eine einheitliche Dokumentation zu ermöglichen, werden von der Mehrheit der Autoren (RUPP & SOPHISTEN 2009, S. 225; VAN LAMSWEERDE 2009, S. 121 ff.; POHL & RUPP 2011, S. 63) sog. Satz- bzw. Anforderungsschablonen empfohlen, welche die syntaktische Struktur einer einzelnen Anforderung beschreiben (POHL & RUPP 2011, S. 63). Ein erfolgreicher Einsatz wird von POHL & RUPP (2011, S. 67) vor allem dann beobachtet, wenn sich bereits eine Bereitschaft zur starken Formalisierung im Projektteam herauskristallisiert und die Methode nicht verbindlich, sondern als Hilfsmittel angeboten wird. Abbildung 2.9 zeigt beispielhaft eine Satzschablone. Jede Anforderung muss ein Satzglied der verschiedenen Blöcke aufweisen. Übereinander liegende Kästen signalisieren Alternativen. Großbuchstaben bezeichnen ein explizites Wort (bspw. *MUSS*) während Kleinbuchstaben eine Beschreibung erfordern.

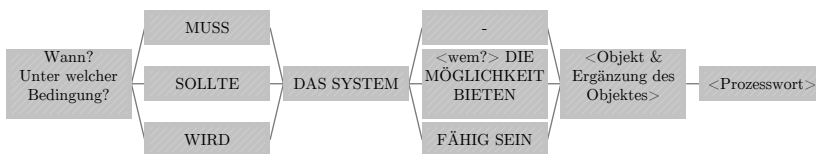


Abb. 2.9: Satzschablone nach POHL & RUPP (2011, S. 66)

Anforderungsqualitätssicherung

⁴⁰ Die Strukturperspektive beschreibt nach POHL & RUPP (2011, S. 81) „die Struktur von Ein- und Ausgangsdaten sowie die statisch-strukturellen Aspekte von Abhängigkeitsbeziehungen des Systems.“ Die Funktionsperspektive enthält die Beschreibung, welche Informationen in welcher Weise manipuliert werden. Die Verhaltensperspektive beschreibt den Zustandswechsel des Systems im Systemkontext.

Die Sicherung der Anforderungsqualität steht im engen Zusammenhang zu den vorherigen Prozesselementen. Grundsätzlich müssen von einer Anforderung die in Abschnitt 2.3.3 eingeführten Eigenschaften erfüllt werden. Bezogen auf eine Anforderung steht hierbei die Verifikation, d. h. die Überprüfung, ob die Anforderung richtig gestellt wurde, im Vordergrund. Für die Gesamtheit der Anforderungen wird primär die Validierung durchgeführt, d. h. die Überprüfung, ob die richtigen Anforderungen an das System gestellt wurden (SCHENMANN 2002, S. 45). Zur Verifikation finden nach SCHENMANN (2002, S. 45) vor allem harte Techniken wie Inspektion mit Befunden, Reviews oder Walkthroughs Anwendung. Dabei erfolgt eine Überprüfung anhand festgelegter Kriterien nach formalen und inhaltlichen Gesichtspunkten.

Mit Hilfe von weichen Techniken lässt sich hingegen der Prozess der Validierung durchführen (SCHENMANN 2002, S. 45), da eine Überprüfung der Gesamtheit aller Anforderungen nicht streng kriterienbasiert erfolgen kann. Zu diesen weichen Techniken zählen Prototyping oder die fachliche Simulation (SCHENMANN 2002, S. 45).

HOOD (2007, S. 223ff.) stellt ein Modell vor, welches vier zentrale Qualitätsstufen unterscheidet. Stufe Null stellt die Basis ohne RE dar. Für Stufe eins liegen die einzelnen Anforderungen in hoher Qualität vor und werden aus bestehenden Lastenheften gewonnen. Die darauf aufbauende Stufe Zwei erfordert eine Prüfbarkeit der Anforderungen und die Aufnahme durch alle relevanten Rollen. Die finale Stufe des *Experten* wird dann erreicht, wenn alle Anforderungen bis zur Quelle zurück verfolgt werden können.

2.3.8.2 Steuerung und Verwaltung

Umsetzungsmanagement

Aufgabe der Tätigkeiten des Umsetzungsmanagements als Teil des AM ist die „Verwaltung, Weitergabe und Verfolgung von Anforderungen bis zur Umsetzung und Lösungsbereitstellung“ (SCHENMANN 2002, S. 45). Dies schließt alle Aktivitäten zur Steuerung der Umsetzung aus Kapitel 2.3.8.1 ein und berücksichtigt das Projektmanagement zwischen verschiedenen Anforderungsaktivitäten. Hierzu erfolgt eine Pflege der Anforderungsbezüge und Kontextinformationen mit dem Ziel der Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit von Anforderungen gegenüber den beteiligten Stakeholdern.

Änderungsmanagement

Anforderungsspezifikationen unterliegen permanenten Änderungen. Nach LEFINGWELL & WIDRIG (2003, S. 372) und JONES (1997) finden diese bei ein bis vier Prozent aller Anforderungen pro Monat statt und führen bei kleinen Projekten zu Änderungen von bis zu 25%, bei großen sogar bis zu 50% aller

Anforderungen. Daher ist eine sorgfältige Behandlung und Berücksichtigung der Änderung sowie die Identifikation und Bewertung der Auswirkungen auf die Gesamtheit eine zentrale Aufgabe des AM (SCHIENMANN 2002, S. 46). Mit Hilfe der Beobachtung und Verfolgung der Änderungsraten lassen sich darüber hinaus Aussagen zur Berücksichtigung und Qualität der Anforderungsspezifikation ableiten und ggf. frühzeitig Gegenmaßnahmen einleiten. Die Sicherstellung der Nachverfolgbarkeit der Änderungen sowie die Dokumentation des Entscheidungsprozesses ist in diesem Kontext von entscheidender Bedeutung (RUPP & SOPHISTEN 2009, S. 410 ff.). Für eine effiziente Durchführung der Änderungen sind nach RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 426 ff.) ein Änderungsprozess, dokumentierte Änderungsanträge, ein definierter Change Manager und eine Diskussion und Entscheidung in einem Change Control Board (CCB) Voraussetzung. Um eine Umsetzung der Änderungen sicherzustellen, sind Kennzahlen nötig, welche bei Bedarf das Ergreifen von Gegenmaßnahmen einleiten. RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 428 ff.) liefern eine schematische Darstellung für einen Änderungsprozess (vgl. Abbildung 2.10). Hierbei sind neben der Identifikation der Auswirkungen der Änderung die zwei Pfade der Annahme sowie der Ablehnung der Anforderung erkennbar.

Risikomanagement

Die Tätigkeiten des AM sind mit einer Vielzahl von Risiken behaftet. Nach SCHIENMANN (2002, S. 46) sind typische Risiken zu häufige Änderungen, zu viele Anforderungen sowie eine mangelnde Nutzerbeteiligung. Hierbei lassen sich die vier Hauptaufgaben, die der Identifikation potentieller Risiken, der Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Schwere der Folgen eines Schadensfalles sowie die Ermittlung von Maßnahmen zur Reduktion des Risikos identifizieren (SCHIENMANN 2002, S. 47). RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 469 ff.) betrachten das Risikomanagement primär im Sinne der Risiken, die durch unerwartete Nutzung des fertigen Systems, durch unzureichende Qualität und durch defizitäre Kommunikation entstehen. Die von SCHIENMANN (2002, S.

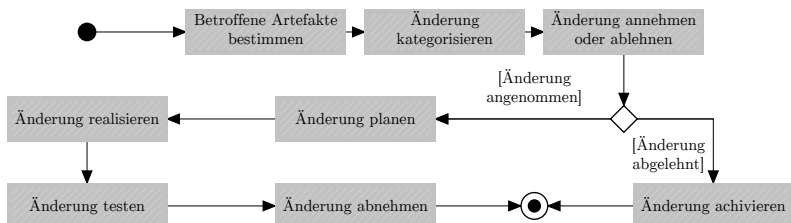


Abb. 2.10: Definierter Änderungsprozess nach RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 428)

46) durchgeführte explizite Betrachtung der Risiken des Prozesses bzw. des AM findet sich bei RUPP & SOPHISTEN (2009) und POHL & RUPP (2011) implizit innerhalb der einzelnen Aktivitäten (bspw. der Anforderungsverständigung) wieder.

2.3.8.3 Prozessverbesserung und Einführung

Die kontinuierliche Verbesserung aller Tätigkeiten eines Unternehmens ist die Basis für nachhaltig effizientes Handeln (GAIROLA ET AL. 2003, S. 504; CRE-SPO ET AL. 2009; KOSTKA & KOSTKA 2013, S. 5 ff.). Dies gilt ebenso für alle Aktivitäten und Prozesse des AM. KOTONYA & SOMMERVILLE (2002, S. 42 ff.) entwickeln ein dreistufiges Vorgehen zur Implementierung, welchem der Capability-Maturity-Model-Ansatz des CARNEGIE MELLON UNIV. SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE (1995) zugrunde liegt. Die initiale Stufe wird durch einzelne und unverbundene Anforderungsdefinitionen auf Basis kurzfristiger AM-Aktivitäten charakterisiert. Hierbei sind Probleme im Gesamtprozess des AM häufig. Die zweite Stufe setzt eine Wiederholbarkeit sowie Standardisierung der Prozesse des AM voraus. Die dritte und letzte Stufe erfordert darüber hinaus eine fortlaufende Anpassung der Prozesse an sog. Best-Practice-Lösungen und die Einführung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP).

SCHIENMANN (2002, S. 358 ff.) entwickelt ebenfalls auf Basis des Capability-Maturity-Model -(CMM)Ansatzes des CARNEGIE MELLON UNIV. SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE (1995) ein Reifegradmodell mit vereinfachten vier Stufen. Hierbei erfolgt eine Entwicklung von einem initialen Prozess über einen elementaren und standardisierten bis hin zu einem adaptiven Prozess. Die Grundstufe beschreibt einen Zustand, in dem die Qualität der Anforderungen sowie der Aufwand zur Erzeugung dieser für Entwicklungsprojekte ungeeignet und unplanbar sind. Abläufe sind nicht dokumentiert und Wissen kann nur unzureichend konserviert werden. Sobald grundlegende Tätigkeiten des AM durchgeführt werden und erste Vorlagen und Strukturen vorhanden sind, aber noch immer keine klare Trennung zu anderen Prozessen existiert, wird die Stufe des elementaren Prozesses erreicht (SCHIENMANN 2002, S. 360). Die dritte Stufe ist in besonderem Maße zeitaufwändig und hat das Ziel, klar definierte, dokumentierte und stabile Prozesse des AM im Unternehmen zu etablieren. Die finale Stufe des adaptiven Prozesses beinhaltet zusätzlich einen Fehlervermeidungs- und einen Controlling-Prozess zur kontinuierlichen Verbesserung des AM (SCHIENMANN 2002, S. 361). Obwohl RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 514) die Einführung von AM als Projekt mit den klassischen Stufen des Wandels nach CZICHOS (1997, S. 414) erklären und keinen expliziten Verbesserungsprozess für das AM definieren, finden sich innerhalb der einzelnen Abschnitte Aspekte der kontinuierlichen Verbesserung. In Bezug auf die Inhalte und auf die Abläufe des AM, beschreiben RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 514)

Elemente der kontinuierlichen Verbesserung und verweisen bspw. ebenfalls auf das Capability Maturity Model (CMM) (RUPP & SOPHISTEN 2009, S. 519). Sie definieren die Stufen *Initial*, *Managed* und *Established* als Schritte zum *RE-Könnner*⁴¹. Eine Anpassung des Prozesses, sowohl während der Betriebsphase als auch schon bei der Einführungsphase, ist von besonderer Bedeutung, da kein allgemeingültig optimaler Prozess des AM existiert (KOTONYA & SOMMERVILLE 2002, S. 9).

Grundsätzlich wird die Frage der Einführung im Bereich der Literatur zum AM nur wenig behandelt und primär die Durchführung und Verbesserung des AM-Prozesses erläutert (ROBERTSON & ROBERTSON 2013, S. 18; VAN LAMSWERDE 2009, S. 22; KOTONYA & SOMMERVILLE 2002, S. 31). Die Einführung von AM ist aber, wie jede Veränderung innerhalb eines Unternehmens, mit Angst und Widerstand der Beteiligten konfrontiert (HESSELER & VERSTEEGEN 2004, S. 211 ff.; RUPP & SOPHISTEN 2009, S. 514 ff.; NIEBISCH 2013, S. 17 ff.). Aus diesem Grund ist eine geeignete Strategie für eine erfolgreiche Einführung unerlässlich. Neben der Erzeugung optimaler Einführungsbedingungen durch Schaffung einer offenen und vertrauensvollen Atmosphäre der Kooperation betonen NIEBISCH (2013, S. 24) und RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 514 ff.) die Durchführung in Form eines Projektes als besonders erfolgskritisch. Dieses beinhaltet klare Ziele und eine Erfolgskontrolle, einen Projektplan und dessen Fortschrittskontrolle sowie ein Projektteam und ausreichende Ressourcen (RUPP & SOPHISTEN 2009, S. 516 ff.). Neben der Einführung als Projekt empfehlen RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 529) und VALENTINI & HERRMANN (2013, S. 113 ff.) die Einführung des AM im Rahmen eines geeigneten Pilotprojektes, d. h. einer direkten Nutzung innerhalb eines Entwicklungsprojektes. Bereits laufende Entwicklungsprojekte eignen sich generell schlecht als Pilotprojekte, da mit höheren Widerständen gerechnet und der Aufwand leicht unterschätzt werden kann (POHL & RUPP 2011, S. 159). Darüber hinaus erfordert die Einführung eines komplexen Ablaufes die Qualifizierung einer Vielzahl an Mitarbeitern, für welche RUPP & SOPHISTEN (2009, S. 534) die Erstellung und interne Veröffentlichung eines Leitfadens empfehlen. POHL & RUPP (2011, S. 157) verknüpfen die Einführung von AM mit der Einführung der nötigen Werkzeuge zur Durchführung, da diese einen entscheidenden Beitrag zur späteren Durchführung der Prozesse liefern.

⁴¹ RUPP & SOPHISTEN (2009) verwenden RE im Rahmen dieser Arbeit der Definition von AM entsprechend.

2.3.9 Anforderungen und AM in der technischen Produktentwicklung

Ausgehend von der Entwicklung des Anforderungsmanagements in der Software-Entwicklung, konnten die Konzepte auf die Gestaltung physischer Produkte übertragen werden (JUNG 2006, S. 9 ff.; BERKOVICH ET AL. 2009; PONN & LINDEMANN 2011, S. 35 ff.). Hierbei können zwei grundlegende Bereiche innerhalb der Forschungslandschaft identifiziert werden. Diese sind zum einen die Beschreibung allgemeiner Vorgehensweisen zur Definition von Anforderungen, zum anderen die konkrete Anwendung auf eine spezifische Produktart. Im Folgenden sollen diese exemplarisch, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, dargestellt werden.

Anforderungen in Form von Lastenheften finden sich in Normen und Standardwerken wieder. Die VDI Richtlinie 2221 (VDI 2221 1993) beschreibt ebenso wie GAUSEMEIER (2000), EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013) und EHRENSPIEL (2014) die Verwendung eines Lastenheftes als Eingangsgröße für die technische Produktentwicklung. EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 377) gehen hierbei detaillierter auf Anforderungen im Entwicklungsprozess ein, stellen aber vor allem die Ermittlung von, sowie die Abhängigkeit zwischen Anforderungen im Sinne von Widersprüchen in den Fokus der Betrachtung. Grundlagen der Anforderungen bilden in weiten Teilen auch hier die bereits im vorherigen Abschnitt beschriebenen Regelwerke mit dem Ursprung in der Software-Entwicklung. EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 385) stellen eine allgemeine Auflistung von möglichen Produkthanforderungen zu Hauptmerkmalen wie Geometrie, Kinematik oder Kräften dar, welche für den Endkunden zu beantworten sind. Trotz möglicher Iterationen steht die Anforderungsermittlung und Anforderungsklä rung am Anfang eines sequentiellen Prozesses. Weitere Elemente des AM, wie bspw. die Wiederverwendung von Anforderungsspezifikationen, finden sich nicht wieder.

Der von JUNG (2006) vorgestellte Ansatz zur interdisziplinären Anforderungsklä rung leistet einen Beitrag zur Unterstützung des Produktentwicklers physischer Produkte und konkretisiert die bestehenden Ansätze der Informatik. Hierbei erfolgt eine iterative Anforderungsklä rung teilweise parallel zur Entwicklungstätigkeit. JUNG (2006) bezieht unterschiedliche Entwicklungsperspektiven im Sinne der Interdisziplinarität ein. Eine Ausweitung auf bspw. Produktionsbereiche findet keine explizite Erwähnung.

Die Anzahl und Ausprägung der spezifischen Ansätze sind enorm und reichen von Normen bis hin zu konkreten Einzelkonzepten. Allein die technischen Regeln des VDI, welche den Bereich des Anforderungsmanagements berücksichtigen, umfassen über hundert Regelwerke. VDI 2519 (2001) stellt bspw. explizite Richtlinien für Anforderungen an Förder- und Lagersysteme oder VDI/VDE 3694 (2014) für den Einsatz von Automatisierungssystemen bereit.

Werke, wie bspw. SCHEDL (2009), beschäftigen sich zwar mit Anforderungen im Kontext von Produktionsanlagen, betrachten diese aber als technisches Produkt und erweitern die Entwicklungsprozesse auf diese spezielle Gruppe. Daher sind diese Arbeiten nicht dem produktionsseitigen Anforderungsmanagement zuzuordnen.

Eine Übertragung der Ansätze des Anforderungsmanagements auf die Entwicklung physischer Produkte ist sowohl im Allgemeinen als auch im Speziellen für Produktarten erfolgt. Anforderungsspezifikationen in Form von Lastenheften stellen eine etablierte Eingangsgröße für Entwicklungsprozesse dar. Trotz individueller Ausgestaltungen der grundlegenden Ansätze aus dem Bereich der Software-Entwicklung folgen die Methoden im Rahmen der technischen Produktentwicklung den gleichen Standards bzw. bauen auf diesen auf, ohne sie bezüglich der grundlegenden Eigenschaften zu erweitern.

2.3.10 Zusammenfassung

Anforderungsmanagement bildet ein Hilfsmittel für eine effiziente und zielgerichtete Kommunikation zwischen verschiedenen am Produktentstehungsprozess beteiligten Bereichen. Damit ist es prinzipiell geeignet die in Abschnitt 2.2.4 aufgezeigten Defizite von SE zu verbessern. Gleichzeitig hat die vorherige Betrachtung gezeigt, dass AM einen starken Bezug zur Entwicklung von Softwaresystemen aufweist und Konkretisierungen der allgemeingültigen Normen und Werke primär auf diesen Anwendungsfall fokussiert sind. Im Bereich der Entwicklung physischer Produkte findet Anforderungsmanagement zunehmende Verbreitung. Hierbei erfolgt ein starke Konzentration auf den Umgang mit den Anforderungen des Kunden. Die in Abschnitt 2.2.4 vorgestellte Integration von anderen Unternehmensbereichen erfolgt nur vereinzelt. Im Folgenden sollen zunächst der Betrachtungsbereich weiter eingegrenzt und entsprechende Vorarbeiten vorgestellt werden.

3 Untersuchungsrahmen und Stand der Erkenntnisse

3.1 Produktionsseitiges Anforderungsmanagement

Simultaneous Engineering (SE) als grundlegendes Entwicklungsparadigma bietet eine Vielzahl an Verbesserungspotentialen, die den Rahmen einer einzelnen Arbeit sprengen. Umfassende Konzepte, welche die allgemeine Philosophie bzw. die Grundgedanken darlegen, haben allerdings in der Vergangenheit nicht ausgereicht, um die erfolgreiche Verbreitung und Umsetzung im industriellen Umfeld zu ermöglichen (vgl. Abschnitt 2.2.3). Aufbauend auf dem zuvor dargestellten Stand der Erkenntnisse soll der Betrachtungsrahmen dieser Arbeit eingegrenzt und somit eine höhere Detailtiefe erreicht und schlussendlich eine konkrete Umsetzung im industriellen Umfeld unterstützt werden. Die Erkenntnis, dass der Aufwand zur Kommunikation und die mangelnde Berücksichtigung strategischer Einflüsse innerhalb der frühen Phase der Produktentwicklung grundlegende Probleme darstellen (vgl. Abschnitt 2.2.4), führt zur Eingrenzung auf das Gebiet des *produktionsseitigen Anforderungsmanagements*, also allen Aktivitäten, die für eine Nutzung der Anforderungen der produzierenden Bereiche an ein Produkt nötig sind. Hierbei steht vor allem der Stakeholder *Produktion* im Fokus der Betrachtung, wobei alle Funktionen der Intralogistik sowie einzelne Elemente der Supply Chain Berücksichtigung finden. Abbildung 3.1 zeigt stark vereinfacht die Einbindung der produzierenden Bereiche im *klassischen* AM. Anforderungen der Stakeholder werden gesammelt und im Rahmen der Produktentwicklung in ein Konzept überführt, welches die gegebenen Anforderungen optimal erfüllt. Diese Produktdefinition wird durch die produzierenden Bereiche in ein Produkt überführt. Anforderungen betreffen die Produktion daher indirekt.

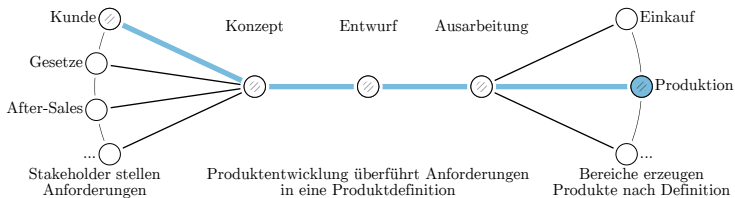


Abb. 3.1: Rolle der produzierenden Bereiche im *klassischen* Anforderungsmanagement (REINHART & MEIS 2015)

Im Sinne des produktionsseitigen Anforderungsmanagements treten die produzierenden Bereiche hingegen selbst als Anforderungssteller in Erscheinung und beeinflussen so die Definition des Produktes, um ein Gesamtoptimum aus Unternehmensperspektive zu erreichen (vgl. Abbildung 3.2).

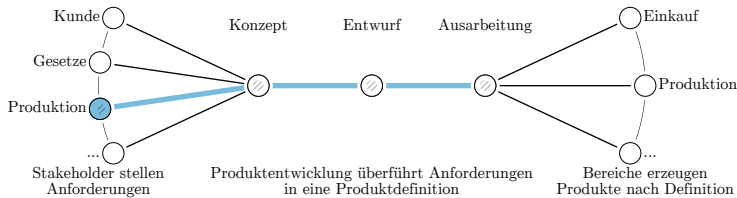


Abb. 3.2: Rolle der produzierenden Bereiche im *produktionsseitigen* Anforderungsmanagement (REINHART & MEIS 2015)

Die vorgestellte Trennung zwischen produktionsseitigen und klassischen AM ist, vor allem vor dem Hintergrund von SE, lediglich aus illustrativen Zwecken gezogen. Beide Darstellungen (Abbildung 3.1 und 3.2) beziehen sich auf den gesamtheitlichen Umgang mit Anforderungen, indem die produzierenden Bereiche sowohl indirekt als auch, im Sinne des produktionsseitigen Anforderungsmanagements, direkt beteiligt sind.

Definition 3.1: Produktionsseitiges Anforderungsmanagement nach REINHART & MEIS (2015)

Produktionsseitiges Anforderungsmanagement umfasst die Gesamtheit aller Aktivitäten zur Ermittlung, Aufbereitung sowie Weitergabe von Anforderungen der produzierenden Bereiche an die Produktentwicklung im Rahmen der gemeinsamen Entwicklung als Bestandteil des SE.

Obwohl der Betrachtungsrahmen vollständig branchenneutral gehalten wird, stellt diese Fokussierung dennoch eine Einschränkung auf das produzierende Gewerbe dar. Gleichzeitig sollen die generierten Erkenntnisse, wie bereits in der initialen Eingrenzung des Untersuchungsrahmens in Abschnitt 1.3 erläutert, vor allem für Unternehmen mit Großserienprodukten Relevanz aufweisen. Unternehmen, welche ihren Schwerpunkt auf die Massenproduktion legen, erfordern eine geringere Abstimmung zwischen Produkt und Produktion, da sich erhebliche Anpassungen der Produktionsstruktur aufgrund der Stückzahl schnell amortisieren. Hingegen basieren Kleinserien sowie Unikatfertigungen auf hochindividuellen Anlagen und Werkzeugen, die nur geringe Wechselwirkungen zum Produkt aufweisen.

Wenngleich alle Erkenntnisse dieser Arbeit nicht auf eine bestimmte Unternehmensgröße eingeschränkt werden sollen, so liegt der Fokus doch auf mittleren bis großen Unternehmen, welche von einer strukturierten Methodik für das produktionsseitige Anforderungsmanagement profitieren können, da die starke Arbeitsteilung eine wechselseitige Berücksichtigung der Auswirkungen von Produktänderungen auf die Produktion erschwert. In kleinen Unternehmen ist diese individuelle Übersicht über die Wirkzusammenhänge teilweise noch möglich. Tabelle 3.1 fasst die Einschränkungen des Untersuchungsrahmens zusammen.

Tabelle 3.1: Untersuchungsrahmen

Einschränkung des Untersuchungsbereichs
Anforderungen der Produktion als Grundlage für Simultaneous Engineering
Produzierendes Gewerbe
Großserienproduktion
Große und mittlere Unternehmen

3.2 Anforderungen an produktionsseitiges Anforderungsmanagement

3.2.1 Allgemeine Anforderungen

Ein Konzept für das produktionsseitige Anforderungsmanagement muss die Erzeugung von Anforderungen und Anforderungsspezifikationen, welche die Eigenschaften an die Qualität nach Abschnitt 2.3.3 erfüllen, ermöglichen und unterstützen.

Da das produktionsseitige Anforderungsmanagement, der Definition dieser Arbeit folgend, lediglich einen Teil des Anforderungsmanagements für physische Produkte darstellt, muss die Integration in den konventionellen Entwicklungsprozess möglich sein. Dies bedeutet im Detail, dass die generierten Anforderungen und Anforderungsspezifikationen für die Nutzer im bekannten Systemkontext der Produktentwicklung verständlich, zu Anforderungen aus weiteren Bereichen bezüglich der Form kompatibel und vergleichend bewertbar sein müssen.

Das klassische Verständnis der Anforderungssteller (i. A. Endkunde und Gesetzgeber) trifft auf die Anforderungen der Produktion nicht zu. Unternehmensfunktionen der Produktion rücken an diese Stelle und müssen durch ein Konzept adäquat integriert werden. Hier muss neben den grundlegenden Fähigkeiten

und Fertigkeiten der Anforderungssteller im Bezug auf die Formulierung der Anforderungen vor allem die Verwendung im SE-Prozess im Sinne einer unternehmensoptimalen Entwicklung vermittelt werden. Klassische Denkmuster, wie „die Produktion kann alles produzieren, was sich die Entwicklung ausdenkt“, müssen durch das Konzept verringert bzw. vermieden werden.

Ein Konzept für das produktionsseitige AM muss eine industrielle Verwendung ermöglichen und für Unternehmen innerhalb des Untersuchungsbereiches geeignet sein. Gültige Normen und Leitlinien sowie Unternehmensfunktionen und Organisationseinheiten müssen berücksichtigt und definierte Organisationen und Prozesse sowie generierte Ergebnisse hierzu kompatibel gestaltet sein. Eine grundlegende Übertragbarkeit in informationstechnische Systeme unterstützt diese Verwendung.

Neben allgemeinen Anforderungen an das Gesamtkonzept existieren Vorgaben bezüglich der Prozesse. Diese sollen im Folgenden beleuchtet werden.

3.2.2 Prozessbezogene Anforderungen

Produktionsseitige Anforderungen unterscheiden sich innerhalb des Unternehmens maßgeblich von denen des Kunden und stellen damit besondere Voraussetzungen an die Abläufe des damit verbundenen Anforderungsmanagements. Gleichzeitig ist es notwendig, dass eine Synchronisation der Prozesse und Aktivitäten des produktionsseitigen AM mit den übergeordneten Prozessen des PEP durchführbar ist, sodass Anforderungsspezifikationen zur geeigneten Zeit, also in der frühen Phase, in die Prozesse des SE eingebracht werden können. Die Erzeugung einer Anforderungsspezifikation bzw. des entsprechenden Teils, der die Anforderungen der Produktion enthält, muss mit den entsprechenden Aktivitäten weiterer Bereiche, welche Anforderungen generieren, parallelisiert werden, sodass die Zusammenführung und Abstimmung aller Anforderungen im Rahmen des PEP erfolgen kann.

Konventionelles AM berücksichtigt den Prozess der Anforderungsermittlung und die damit verbundenen Schritte als einen zwar repetitiven, aber für jedes Entwicklungsprojekt dezidiert durchzuführenden Prozess (ROBERTSON & ROBERTSON 2013, S. 13 ff.). Die Anforderungssteller innerhalb der Produktion passen die aus den Umgebungsbedingungen resultierenden Anforderungen in vielen Bereichen unabhängig voneinander an. Daraus resultiert eine quasi kontinuierliche Veränderung der Gesamtheit der Anforderungen. Gleichzeitig besteht aus Unternehmenssicht der Vorteil, dass die Berücksichtigung dieser Änderungen proaktiv durch den Betroffenen durchgeführt werden kann. Im Bezug auf den klassischen Endkunden ist dies im Allgemeinen nicht möglich. Ein Konzept für das produktionsseitigen AM muss daher eine quasi kontinuierliche Änderung der Gesamtheit der Anforderungen bei gleichzeitiger Verwendung

in expliziten und entwicklungsprojektbezogenen Anforderungsspezifikationen ermöglichen.

3.2.3 Organisationsbezogene Anforderungen

Das Fachwissen bezüglich der produktionstechnischen Anforderungen liegt innerhalb der produzierenden Bereiche im erheblichen Maße fragmentiert vor. Dabei variiert der Betrachtungsbereich, aber auch die Vorbildung und Qualifikation der Mitarbeiter von detaillierten Prozessthemen, für welche ein Mitarbeiter direkt im produzierenden Bereich der Experte ist, bis hin zu Anforderungen, die aus produktionsstrategischen Entscheidungen resultieren, welche durch das oberste Management getroffen werden. Ein Konzept muss daher diese Inhomogenität und Dezentralität der Wissensträger mit dem Ziel berücksichtigen, Wissen aus allen Bereichen in das AM zu integrieren.

Es ist davon auszugehen, dass bei der Mehrheit der Wissensträger kein einschlägiges Vorwissen im Umgang mit Anforderungen oder Grundzügen des AM vorhanden ist und stark begrenzte Kapazitäten für den Aufbau dieses Wissens zur Verfügung stehen.

Global verteilte Produktionsstandorte können aufgrund zunehmend komplexer Produkte und Produktionsprogramme nicht autonom betrachtet werden (PAWELLEK 2014, S. 4f.). Dies gilt daher auch für die Entwicklung dieser Produkte und damit für das produktionsseitige AM. Ein System muss daher die Bearbeitung von unterschiedlichen Standorten für Benutzer mit unterschiedlichen Sprachen erlauben.

Alle nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten stellen grundsätzlich nicht die Kernaufgabe der Produktion dar. Aktivitäten des AM müssen daher mit minimalem personellen und monetären Aufwand durchgeführt werden können⁴².

3.2.4 Zusammenfassung der Anforderungen

Ein Konzept für das produktionsseitige AM muss den in den Abschnitten 3.2.1 bis 3.2.3 definierten Anforderungen genügen, um das grundsätzliche Ziel der Unterstützung des PEP im Sinne des SE zu ermöglichen. Tabelle 3.2 fasst diese Anforderungen gegliedert nach den Hauptkategorien zusammen. Alle 13 Anforderungen sind gleichermaßen Voraussetzungen für eine effiziente Nutzung. Eine Gewichtung oder Priorisierung erfolgt daher nicht.

⁴² Die Forderung nach einer effizienten Durchführung des AM gilt nicht nur für den in dieser Arbeit betrachteten Bereich des produktionsseitigen AM sondern auch für Bereiche außerhalb des Betrachtungsrahmens.

Tabelle 3.2: Anforderungen an ein Konzept zum produktionsseitigen AM

Allgemeine Anforderungen	
A1	Erzeugung von Anforderungen hoher Qualität
A2	Erzeugung von Anforderungsspezifikationen mit hoher Qualität
A3	Erzeugung verständlicher Anforderungen im Kontext der Produktentwicklung
A4	Sicherstellung der Kompatibilität mit Anforderungen anderer Bereiche
A5	Berücksichtigung der Unternehmensfunktionen der Produktion als Anforderungssteller
A6	Industrielle Anwendbarkeit des Gesamtkonzepts
Prozessanforderungen	
P1	Synchronisierbarkeit mit dem PEP
P2	Berücksichtigung quasi kontinuierlicher Anforderungsveränderungen
Organisationsanforderungen	
O1	Berücksichtigung der Inhomogenität und Dezentralität der Wissensträger
O2	Einfacher Umgang ohne einschlägige Ausbildung
O3	Berücksichtigung globaler Organisationen
O4	Effizienter Einsatz von Mitarbeiterkapazitäten

Im Folgenden werden bestehende Ansätze, welche potentiell für das produktionsseitige AM im Sinne der Zielsetzung dieser Arbeit geeignet erscheinen, kurz beschrieben und ihre Eignung anhand dieser Anforderungen evaluiert.

3.3 Bestehende Ansätze mit Bezug zum produktionsseitigen Anforderungsmanagement

Der Begriff der *produktionsseitigen Anforderungen* wird in der Literatur nur selten verwendet. Die im Folgenden dargestellten Ansätze berücksichtigen aber die Ziele und Forderungen der Produktion bzw. die geplanten Wechselwirkungen zwischen Produktionsstruktur und Produkt, auch wenn hierfür andere Begriffe verwendet werden. Zusätzlich werden generische Regelwerke vorgestellt, welche als Basis für produktionsseitiges AM dienen können.

3.3.1 Regelwerke IEEE 610 und IEEE 830

Das Regelwerk IEEE 830 (1998) stellt den Ursprung der Dokumentationsaktivitäten für Anforderungen dar und wurde bereits in den vorherigen Abschnitten an vielen Stellen genannt, beispielsweise für eine grundlegende Definition einer Anforderung bzw. der Qualitätskriterien. Grundsätzlich bezieht sie sich in Kombination mit der IEEE 610 (1990) auf die Entwicklung von Software-Systemen und weist zunächst keinen direkten Bezug zu Anforderungen physischer Produkte oder produktionsseitigen Anforderungen auf. Die Ziele sind hierbei explizit gegeben als Unterstützung von

- Software-Kunden bei der Beschreibung, was sie erhalten wollen und
- Software-Herstellern bei dem Verständnis, was Kunden erwarten.

Einzelne Personen sollen Hilfestellung bei der Definition von Anforderungsspezifikationen, sowie der Erstellung zusätzlicher Dokumente und Prozesse erhalten. Unabhängig vom Fokus auf die Software-Erstellung erfordern sämtliche Definitionen und Richtlinien eine anwendungsbezogene Interpretation bzw. Konkretisierung, welche sich auf produktionsseitige Anforderungen ausweiten lässt. In diesem Kontext stellt die IEEE 830 (1998) den relevanten, gemeinsamen Nenner bezüglich der Anforderungen im PEP dar. Konzepte für das produktionsseitige Anforderungsmanagement müssen daher so gestaltet sein, dass das Ergebnis in Form der Anforderungsspezifikation den Ansätzen dieser Norm gerecht wird.

3.3.2 Volere-Framework

Das Volere-Framework (ROBERTSON & ROBERTSON 2013) stellt eine industriell weit verbreitete, software-unabhängige Basis für die Spezifikation von Anforderungen zur Verfügung. Neben einer Vielzahl von Vorlagen für die operative Arbeit mit Anforderungen kann ein Anwender durch ein darauf abgestimmtes proprietäres Schulungskonzept qualifiziert werden. Kernelemente des Frameworks sind ein Anforderungsmodell sowie ein Prozess zur Erzeugung einer Anforderungsspezifikation. Grundsätzlich basiert das Framework auf der IEEE 830 (1998) und konkretisiert sie für eine operative Nutzung. Im Rahmen des Volere-Frameworks stehen Anforderungen immer eingebettet in ein konkretes Projekt. Daher wird im besonderen Maße die Integration der Stakeholder unterstützt. Verbreitung hat die Aufnahmeform der *Atomic Requirements Shel* erhalten, welche in der Literatur und Praxis auch unter dem Begriff *Snow Card* zu finden ist. Dieses Anforderungsmodell enthält die Attribute Anforderungsnummer und -typ, Liste der Anwendungsfälle, die diese Anforderung benötigen, textuelle Beschreibung und Begründung für diese Anforderung, Stakeholder dieser Anforderung und Messkriterium, Priorität

sowie Abhängigkeiten und Widersprüche zu anderen Anforderungen. Zusätzlich enthält eine *Snow Card* einen Verweis auf unterstützende Materialien und die Änderungshistorie sowie die Beschreibung der Auswirkungen auf die Zufriedenheit bzw. die Unzufriedenheit des Kunden. Das Volere-Framework ist bezüglich seiner Nutzbarkeit im Allgemeinen sehr hoch einzuschätzen, was durch seine primäre Verbreitung in der Software-Entwicklung, aber auch durch seinen vereinzelt Einsatz in der Entwicklung von physischen Produkten bestätigt wird. Gleichzeitig zeigen die Definition des Prozesses und der enge Zusammenhang zur Arbeitsweise der Software-Entwicklung (bspw. Use-Cases) einen klaren Bezug zu klassischen Anforderungen. Darüber hinaus wird die Anforderungsspezifikation im Kontext eines Projektes verstanden und durch das Framework unterstützt. Ein projektübergreifendes Anforderungsmanagement findet keine explizite Unterstützung.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Volere-Framework bezüglich seiner Anwendbarkeit gute Impulse liefert. Die Verknüpfung zu Use-Cases, und damit die Sicherung der Nachvollziehbarkeit der Verwendung, stellt in dem Kontext dieser Arbeit einen wertvollen Ansatz dar. In Summe ist das Volere-Framework aber nicht für eine Anwendung im Bereich des produktionsseitigen Anforderungsmanagements geeignet, da es die besonderen Herausforderungen der Produktion wie stark verteilte Wissensträger und die kontinuierliche Änderung der Gesamtheit der Anforderungen nicht berücksichtigt.

3.3.3 Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umsetzung des Simultaneous Engineering

LAUFENBERG (1996) fokussiert in seiner Arbeit die Verbesserung der Projektgestaltung durch einen Ansatz, der die drei Ebenen der Projektvorbereitung, Projektplanung und Projektdurchführung berücksichtigt. Das zentrale Element der entwickelten Methode stellt dabei ein Modell zur integrierten Projektgestaltung dar (LAUFENBERG 1996, S. 82 ff.). Dieses Modell beinhaltet eine Ziele- und Maßnahmensicht, eine objektneutrale Mittelsicht, eine Ablaufsicht sowie eine objektspezifische Mittelsicht. Diese vier Sichten sind so gestaltet, dass sie eine durchgängige Betrachtung von Anforderungen ermöglichen (vgl. Abbildung 3.3). Zusätzlich enthält das entwickelte Vorgehen eine strukturierte Überführung der Ziele des SE-Projekts in konkrete Maßnahmen. Hierbei unterscheidet LAUFENBERG (1996) zwischen Ziel, Mussziel und Wunschziel.

Jedes dieser Ziele lässt sich wiederum durch eine Zieldefinition, Soll- und Ist-Zustände beschreiben sowie durch Handlungsbedarfe und Schwachstellen erweitern. Darauf aufbauend können Maßnahmen zugeordnet und ebenfalls im Rahmen eines Maßnahmenbaumes strukturiert, abschließend bewertet und ausgewählt werden. Dieses Konzept validiert LAUFENBERG (1996) anhand eines

3.3 Bestehende Ansätze mit Bezug zum produktionsseitigen Anforderungsmanagement

Beispielprojektes in einem mittelständischen Unternehmen des Maschinenbaus.

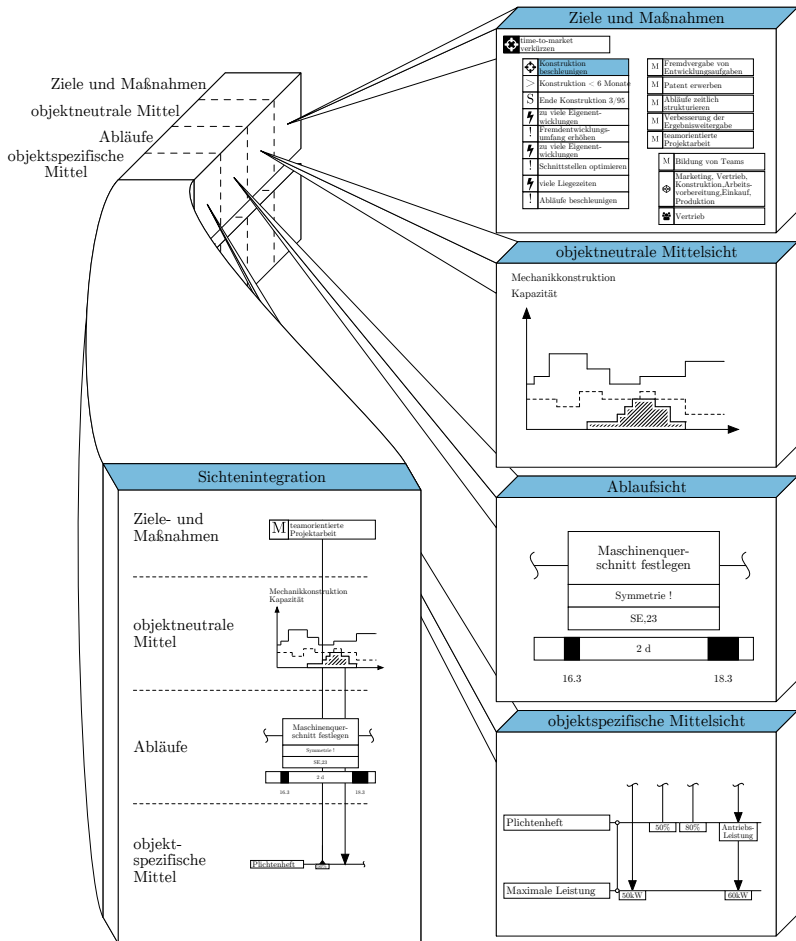


Abb. 3.3: Zusammenführung der Sichtweisen im Integrationsmodell (LAUFENBERG 1996)

Das von LAUFENBERG (1996) entwickelte Vorgehen bietet ein strukturiertes Vorgehen zur Planung der Maßnahmen innerhalb eines SE-Projektes. Jedoch liefert es keine direkten Erkenntnisse zur Generierung von Anforderungen oder

Lastenheften der Produktion, wenngleich Zieldefinitionen in Teilen den Anforderungen entsprechen. Der Ansatz der Baumstrukturierung sowie Elemente des Integrationsmodells bieten dennoch Potential für eine Adaption an die Zielstellung dieser Arbeit.

3.3.4 Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse

DANNER (1996) befasst sich mit einer tiefgreifenden Analyse der Techniken für das Quality Function Deployment (QFD) im Allgemeinen sowie den Erweiterungen von PUGH (1990) und KING (1994). Diese stellt DANNER dem Konzept der integrierten Produktentwicklung gegenüber. Der entwickelte Ansatz stellt die Vielzahl der Einflussparameter auf die Produktentwicklung in Form von verketteten Matrizen dar und illustriert die *Flüsse* der Anforderungen durch dieses Modell. Diese werden mit Hilfe von untereinander abhängigen Matrizen analog des QFD abgebildet. Eine Besonderheit gegenüber bestehenden Ansätzen stellt hierbei die ganzheitliche Berücksichtigung der Prozessentwicklung, bezogen auf Produktion und Entsorgung als Einflussfaktoren, sowie der daraus abgeleitete Lernprozess dar (vgl. DANNER 1996, S. 133). Abschließend erfolgt die Implementierung des Modells in Form einer Software für die Nutzung innerhalb des Entwicklungsprozesses. Eine umfassende Evaluierung der Methode unter praxisnahen Bedingungen erfolgt hingegen nicht.

Die Berücksichtigung des Produktionsprozesses sowie die Integration in einer kundenorientierten Anforderungsdefinition stellen einen Schritt hinsichtlich der Zielsetzung dieser Arbeit dar. Allerdings geht DANNER (1996) weder auf die konkrete Ermittlung der produktionsseitigen Anforderungen ein, noch liefert er Impulse für eine Gestaltung des AM. Das Konzept zeigt, dass der Bereich der Prozessentwicklung der Produktion nicht vollständig in das Gesamtkonzept eingebunden ist und weniger konkretisiert vorliegt als die Stufen der Qualitäts- und Technologieentwicklung. Trotz des ganzheitlichen Ansatzes folgt DANNER (1996) noch immer primär der Prämisse der Anforderungsermittlung aus Sicht des Kunden.

3.3.5 Wissensmanagement in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung

KLABUNDE & SCHEER (2003) entwickeln ein Konzept für das Wissensmana-

gement integrierter Produkt- und Prozessgestaltung⁴³ auf Basis der ARIS-Architektur⁴⁴. Hierbei liegt der Fokus vor allem auf der Gestaltung der relevanten Prozesse mit Hilfe einer Kombination aus ereignisbasierten Prozessketten und UML-Klassendiagrammen sowie auf der Auswahl von geeigneten Werkzeugen des Wissensmanagements. Zur Erreichung dieses Ziels erstellen KLABUNDE & SCHEER (2003) ein Metamodell des Wissens und teilen Prozesse in die Kategorien *Gestaltung der aktuellen Wissensbasis* sowie *Veränderung der aktuellen Wissensbasis* ein. Bei der Gestaltung der Wissensprozesse rücken KLABUNDE & SCHEER (2003, S. 160) explizit über den Kunden hinausgehende Anforderungsteller, wie bspw. die Produktion, aber auch den Vertrieb sowie Kundendienst, ins Zentrum der Betrachtung und formulieren eine Synchronisierung der einzelnen Planungsaktivitäten dieser Bereiche (KLABUNDE & SCHEER 2003, S. 189).

Die umfassende Prozessdefinition sieht allerdings hierbei lediglich die Aktivitäten *Anforderungen ermitteln* und das Element *Anforderungssystematik* vor, ohne auf eine konkrete Ausgestaltung einzugehen. Neben einer umfangreichen Darstellung der Wissensprozesse liefert die Arbeit eine weitere grundlegende Motivation für die bessere Kommunikation zwischen den verschiedenen am Entwicklungsprozess beteiligten Akteuren und spannt damit eine geeignete, ganzheitliche Lösung für mögliche Wissensprozesse im Rahmen des SE auf. Die konkrete Fragestellung des produktionsseitigen Anforderungsmanagements wird allerdings lediglich als ein integrierter Prozess verstanden, welcher nicht weiter konkretisiert wird. Das Metamodell des Wissens fokussiert vor allem die Organisation sowie die Prozesse und Ressourcen und bildet eine Ausgangsbasis der weiteren Konkretisierung des Modells für einen produktionstechnischen Einsatz. Abschließend liefern KLABUNDE & SCHEER (2003) einen Einführungsleitfaden, der die Schaffung *organisatorischer Rahmenbedingungen*, *technologischer Rahmenbedingungen* sowie die Definition eines *Vorgehensmodells zum Knowledge Engineering* vorsieht und die einzelnen Schritte weiter konkretisiert. So wird bspw. zur Schaffung organisatorischer Randbedingungen die Einführung von *Chief Knowledge Officers*, *Knowledge Managern* sowie *Knowledge Stewards* empfohlen, welche die Gestaltung und Pflege der Wissensstruktur übernehmen. Tabelle 3.3 zeigt zusammenfassend die organisatorischen und technologischen Rahmenbedingungen. Das Vorgehensmodell zum *Knowledge Engineering* (KLABUNDE & SCHEER 2003, S. 281) orientiert sich primär an Ansätzen zur Geschäftsprozessoptimierung und soll daher an dieser Stelle nicht

⁴³ Im Kontext dieser Arbeit kann Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung (IPP) als Synonym für SE verstanden werden.

⁴⁴ Die ARIS Architektur (Architektur integrierter Informationssysteme) bildet die Grundlage für eine erfolgreiche Integration betrieblicher Informationssysteme und soll sicherstellen, dass diese Systeme den Anforderungen an sie gerecht werden. Eine detaillierte Einführung findet sich bei BERNUS ET AL. (2006)

explizit vorgestellt werden. Die entwickelten Anforderungen an die Einführung bilden die Basis für die Definition der Einführung eines produktionsseitigen Anforderungsmanagements. Das Konzept von KLABUNDE & SCHEER (2003) bildet damit einen Rahmen für die Prozesse des produktionsseitigen Anforderungsmanagement, liefert aber keine Detaillierung für deren Ausgestaltung.

Tabelle 3.3: Anforderungen aus dem Einführungsleitfaden für wissensbasierte IPP-Prozesse nach KLABUNDE & SCHEER (2003, S. 274 ff.)

Organisatorische Rahmenbedingungen
Schaffung einer Vertrauenskultur, persönlicher Freiräume und wissensfördernder Anreizsysteme
Definition von Aufgaben und Verantwortlichkeiten für das Wissensmanagement
Festlegung der Verbindlichkeiten zwischen Entwicklungs- und Wissensmanagementaufgaben
Einführung eines Controllings des Vorgehens und der Ergebnisse der Aktivitäten zum Wissensmanagement
Frühe Darstellung und Reflektion der Anfangserfolge
Anpassung der Auswahl und des Einsatzes von Wissensmanagementinstrumenten an Mitarbeiterfähigkeiten

Technologische Rahmenbedingungen
Sicherstellung eines bidirektionalen, parallelisierten Informationsaustauschs
Schaffung einer Plattform für die Speicherung, den Zugriff und die Verteilung von Wissen aus IPP-Projekten
Unterstützung bei Definition, Konzeption, Umsetzung und Re-Design von IPP- und Wissensmanagementprozessen
Schaffung einer offenen IT-Infrastruktur, in die auch proprietäre, verteilte Informations- und Kommunikationssysteme integriert werden können

3.3.6 Automatisiertes Simultaneous Engineering auf Basis eines featuregestützten Unternehmensmodells

MACKE (2007) identifiziert das grundlegende Problem, dass Simultaneous Engineering und Wissensdatenbanken in der industriellen Praxis nur unzureichend die richtigen Informationen zur richtigen Zeit darstellen können (MACKE 2007, S. 31). Um dieser Problematik zu begegnen, wird innerhalb der Arbeit ein Konzept des automatisierten Simultaneous Engineering entwickelt. Damit soll die Lücke zwischen funktionsorientierter Produktentwicklung und Produktionsanforderungen geschlossen werden. Grundlage für die Nutzung bildet ein sog. featuregestütztes Unternehmensmodell, welches ein Produktdatenmodell, ein Prozess- und ein Organisationsmodell in Form eines Metamodells verbindet

(MACKE 2007, S. 62). Das Produktmodell wird wiederum in eine Produktstruktur und eine Funktionsstruktur unterteilt und bildet mit dem Prozessmodell und der Rollenstruktur als Teil des Organisationsmodells ein Feature (vgl. Abbildung 3.4). Für jedes dieser Teilmodelle stellt MACKE (2007) Strukturierungsvorschläge zur Verfügung, verweist aber darauf, dass die entsprechenden Strukturen unternehmensspezifisch ausgeprägt sind.

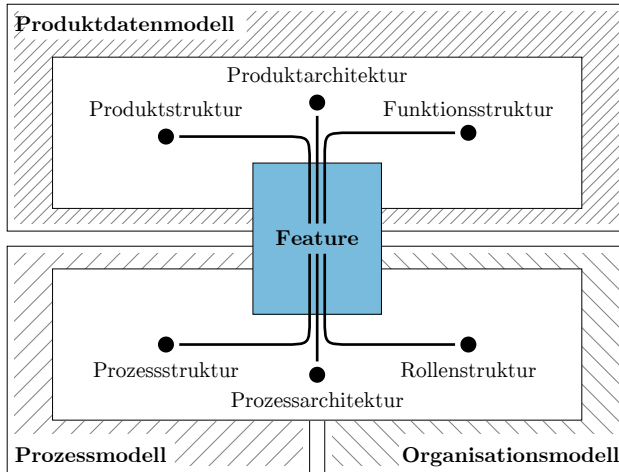


Abb. 3.4: Zusammenhang zwischen dem Unternehmensmodell, der Produkt- und Prozessarchitektur sowie dem Feature (MACKE 2007, S. 77)

Die im Zentrum der Methode stehende Featurebeschreibung erlaubt die Verknüpfung der verschiedenen Strukturen wie bpsw. eines Fertigungsfeatures mit einem Fertigungsverfahren. Somit erlaubt eine Bibliothek von Fertigungsfeatures dem Konstrukteur, den Einfluss einer technischen Gestaltung auf die Randbedingungen der Produktion umgehend zu evaluieren und eine Verknüpfung bis hin zur fertigenden Maschine herzustellen (MACKE 2007, S. 111).

Das entwickelte Modell erfüllt das Ziel einer deutlichen Reduktion des Kommunikationsaufwands. Gleichzeitig wird es lediglich in der Konstruktion unter Berücksichtigung der Fertigung eingesetzt. Obwohl der Autor eine Übertragbarkeit auf weitere Bereiche darlegt, werden keine Informationen bezüglich der Abbildung komplexer Wirkzusammenhänge innerhalb der Montage gegeben. Überdies setzt das Vorgehen eine nahezu stabile bzw. vorgegebene Produktionsstruktur voraus. Handlungsalternativen, welche sich aus den bidirektionalen Wechselwirkungen aus Produktgestaltung und Produktionsgestaltung ergeben,

werden nicht berücksichtigt. Der grundlegende Ansatz des featuregestützten Unternehmensmodells bietet allerdings eine gute Grundlage auch Anforderungen zu strukturieren.

3.3.7 Requirements Engineering für IT-gestützte Product Service Systems

BERKOVICH (2012) analysiert den aktuellen Stand zum Requirements Engineering in Bezug zur Entwicklung von Produkt-Service-Systemen und kommt zu dem Schluss, dass bestehende Ansätze aus der Produktentwicklung, der Softwareentwicklung, der Dienstleistungsentwicklung und der integrierten Entwicklung von Produkt-Service-Systemen sowohl in der Literatur als auch in der Praxis nicht ausreichend sind. Zur konkreten Bewertung bezieht sich BERKOVICH (2012) auf zehn entwickelte Kriterien (vgl. Tabelle 3.4), welche ein geeignetes Konzept auszeichnen.

Tabelle 3.4: Kriterien an Ansätze des Requirements Engineering im Kontext IT-gestützter Product Service Systems (BERKOVICH ET AL. 2011)

K1	Systematische Durchführung des Requirements Engineering
K2	Bereitstellung von Vorgehen zur Anforderungsermittlung
K3	Bereitstellung von Vorgehen zur Analyse von Anforderungen
K4	Bereitstellung von Vorgehen zum Finden und Auflösen von Konflikten zwischen Anforderungen (Anforderungsvereinbarung)
K5	Bereitstellung von Vorgehen zur Dokumentation von Anforderungen
K6	Bereitstellung von Vorgehen zur Verfolgung von Anforderungen
K7	Bereitstellung von Vorgehen zur Behandlung von Änderungen an Anforderungen
K8	Bereitstellung von Vorgehen zur Anforderungvalidierung
K9	Einbeziehung von Kunden und Stakeholdern ins Requirements Engineering
K10	Unterstützung der Modularisierung durch das Requirements Engineering

Aufbauend auf einer umfassenden Literaturrecherche und Experteninterviews entwickelt BERKOVICH (2012) ein Lösungskonzept des Requirements Engineering für Produkt-Service-Systeme. Dieses Konzept besteht zum einen aus einem Artefaktmodell, welches sowohl die Struktur als auch die Ebenen der Artefakte beschreibt, zum anderen aus einem Vorgehensmodell, welches den Umgang mit sowie die Änderungen an den Artefakten gestaltet. Die Stufen des

Artefaktmodells sind sowohl an den Phasen des Entwicklungsprozesses als auch an Elemente einer Produktstruktur gekoppelt. So stellt beispielsweise die erste Ebene die allgemeinen Ziele des Anforderungsstellers dar und die zweite die Anforderungen an das Gesamtsystem. Die dritte bis fünfte Ebene teilen diese Anforderungen zunehmend weiter auf die domainspezifischen Produktkomponenten auf. Anforderungen auf diesen Ebenen sind untereinander verknüpft, sodass eine durchgängige Nachvollziehbarkeit einer einzelnen Anforderung vom Kundenwunsch bis zur Lösungsanforderung sichergestellt werden kann.

BERKOVICH (2012) liefert umfangreiche Taxometrien für die Artefaktklassen auf allen Konkretisierungsebenen. Trotz der betont domainübergreifenden Ausrichtung steht der Kunde dennoch im Fokus der Betrachtung. Weitere an der Leistungserstellung beteiligte Bereiche, wie bspw. die Produktion, finden lediglich indirekte Beachtung. Eine Konkretisierung der Modelle für die spezifischen Bedingungen der produzierenden Bereiche erfolgt nicht. Die Definition der Ebenen legt dabei eine Ausrichtung auf die Phasen der Produktentwicklung nahe und berücksichtigt die quasi-kontinuierliche Änderung von Anforderungen in der Produktion nicht. Unabhängig von diesen Einschränkungen im konkreten Bezug stellt die Arbeit von BERKOVICH (2012) grundlegende Definitionen und Strukturen für die Entwicklung eines Konzeptes für das produktionsseitige AM dar.

3.3.8 Product Development vs. Production Development

VIELHABER & STOFFELS (2014) erarbeiten den Bedarf nach einer übergreifenden Nutzung von Anforderungen zwischen den Bereichen der Produktentwicklung und der Produktionsentwicklung. Aufbauend auf einem durch die Autoren entwickelten Framework für die Produktentwicklung erfolgt eine Gegenüberstellung der beiden Disziplinen. Die im Framework enthaltenen drei Perspektiven (Prozess, Methoden und Tool & IT) bilden die Basis für eine genaue Betrachtung der Aktivitäten im Bereich der Produktionsentwicklung. Das in Abbildung 3.5 dargestellte Modell zeigt eine enge Verzahnung der Aktivitäten des AM im integrierten Prozessmodell der Autoren. Leider bleiben aktuelle Veröffentlichungen (vgl. STOFFELS ET AL. 2014, STOFFELS & VIELHABER 2015) der Autoren auf einer ähnlich abstrakten Ebene, sodass die Anwendbarkeit nicht abschließend beurteilt werden kann. Konkrete Informationen zur Gestaltung der gemeinsamen Anforderungsbasis sowie Vorgehen zur Durchführung der Prozesse innerhalb der Produktionsdomäne werden ebenfalls nicht genannt.

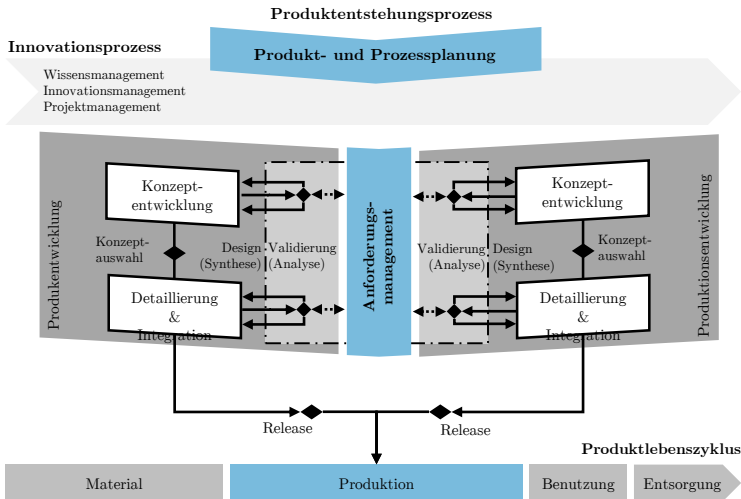


Abb. 3.5: Integriertes Prozessmodell für Produkt- und Produktionsentwicklung (VIELHABER & STOFFELS 2014)

3.4 Bewertung der Ansätze und resultierender Handlungsbedarf

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass das Regelwerk der IEEE 830 als Basis des Anforderungsmanagements und sämtlicher damit verbundener Tätigkeiten keine Einschränkung auf einen Anwendungsfall bzw. eine Branche liefert. Dennoch werden keine Erklärungen gegeben, welche die spezifischen Randbedingungen der Produktion berücksichtigen bzw. ihnen gerecht werden. Wie bereits in Abschnitt 2.3 dargestellt, kann sie als Grundlage dienen, erfordert aber eine konkrete Interpretation im Fachgebiet. Das Volere-Vorgehen erfüllt den Anspruch an klare Vorgaben bezüglich der Handlungen sowie eine strukturierte Prozessbeschreibung zur Generierung der Anforderungen, fokussiert hierbei aber ebenfalls primär den Kunden als Anforderungssteller. LAUFENBERG (1996) stellt ein Gesamtkonzept für eine Umsetzung des SE bereit, in dem die Wichtigkeit von Anforderungen sowie ihre Verwendung im Entwicklungsprozess betont werden. Es werden allerdings keine konkreten Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des produktionsseitigen Anforderungsmanagements gegeben. DANNER (1996) stellt ein ganzheitliches Konzept zum Anforderungsmanagement in den Fokus seiner Entwicklung. Hierbei wird vor allem in Bezug auf die inhaltliche Nutzung der Anforderungen, weniger auf die Generierung verstanden. Trotz einer definierten Einbindung der Anforderungen der Produktion in den Ablauf werden ebenfalls keine Hilfestellungen für die Erstellung ge-

geben. KLABUNDE & SCHEER (2003) liefern ein Konzept zur Erstellung von wissensbasierten IPP-Prozessen, welches eine Grundlage für die Definition der Prozesse des produktionsseitigen Anforderungsmanagements bereitstellt. Das entwickelte Metamodell des Wissens erfordert ebenfalls eine weitere Konkretisierung im Kontext der Produktion. MACKE (2007) entwickelt ein Modell zur featuregestützten Umsetzung von SE. Hierbei erfolgt eine präzise und für das Anwendungsbeispiel realitätsnahe Definition. Allerdings bezieht sich dieses Modell primär auf die mechanische Fertigung von Bauteilen und berücksichtigt den Bereich der Montage nicht. Zusätzlich erfolgt die Definition der Anforderungen auf einer sehr detaillierten Ebene, sodass eine strategische Anwendung in frühen Phasen des PEP nicht gewährleistet ist. Somit weist dieses Konzept zwar einen hohen Anwendungsbezug für konkrete Bauteile auf, eine übergeordnete Nutzung in allgemeinen SE-Teams erscheint aber nicht gegeben. Tabelle 3.5 stellt die Erfüllung der oben beschriebenen Anforderungen an ein Konzept zum produktionsseitigen Anforderungsmanagement zusammenfassend dar.

Die Übersicht der bestehenden Ansätze und deren Defizite im Bezug auf die Schwachstelle des effizienten Austausches von Informationen erfordert daher die Entwicklung eines Gesamtkonzepts zur Definition und Einführung des produktionsseitigen Anforderungsmanagements als Unternehmensfunktion, das es erlaubt, die Anforderungen strukturiert aufzunehmen, zu verwalten und an geeigneter Stelle in den Entwicklungsprozess im Rahmen des SE einfließen zu lassen. Dabei muss das Konzept den Vorgaben aus Abschnitt 3.2 genügen. Weitere Tätigkeiten, die zur Abstimmung der Anforderungen zwischen verschiedenen Stakeholdern sowie zur Realisierung der Anforderungen notwendig sind, wurden bereits durch die Vorarbeiten ausreichend entwickelt, sodass diese nicht weiter betrachtet werden müssen. Bestehende Normen und Richtlinien definieren diese Schnittstellen aufgrund ihrer disziplinübergreifenden Verwendung hinreichend, stellen aber keine konkreten Wissensmodelle und Umsetzungsregeln für den Bereich der Produktion bereit, was die in Abschnitt 2.2.3 dargestellte Implementierungsschwäche erklärt.

Tabelle 3.5: Erfüllung der Anforderungen an ein Konzept zum produktionsseitigen AM

		IEEE 610 (1990) / 830 (1998)	Robertson (2013)	LAUFENBERG (1996)	DANNER (1996)	KLABUNDE & SCHEER (2003)	MACKE (2007)	BERKOVICH (2012)	VIELHABER & STOFFELS (2014)
Allgemeine Anforderungen									
A1	Erzeugung von Anforderungen hoher Qualität	◐	●	○	○	○	●	●	○
A2	Erzeugung von Anforderungsspezifikationen mit hoher Qualität	◐	●	○	○	○	◐	●	○
A3	Erzeugung verständlicher Anforderungen im Kontext der Produktentwicklung	◐	◐	○	●	○	◐	●	◐
A4	Sicherstellung der Kompatibilität zu Anforderungen anderer Bereiche	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	○
A5	Berücksichtigung der Unternehmensfunktionen der Produktion als Anforderungssteller	○	○	●	◐	◐	◐	◐	●
A6	Industrielle Anwendbarkeit des Gesamtkonzepts	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Prozessanforderungen									
P1	Synchronisierbarkeit mit dem PEP	○	○	●	○	○	●	●	○
P2	Berücksichtigung quasi-kontinuierlicher Anforderungsveränderungen	○	◐	○	◐	○	◐	◐	○
Organisationsanforderungen									
O1	Berücksichtigung der Inhomogenität und Dezentralität der Wissensträger	○	○	◐	○	○	○	○	○
O2	Einfacher Umgang ohne einschlägige Ausbildung	○	○	◐	○	○	○	○	○
O3	Berücksichtigung globaler Organisationen	○	●	●	◐	◐	○	○	○
O4	Effizienter Einsatz von Mitarbeiterkapazitäten	○	◐	◐	○	○	◐	○	○
○	nicht erfüllt								
◐	teilweise erfüllt								
◐	größtenteils erfüllt								
●	vollständig erfüllt								

4 Gesamtkonzept des produktionsseitigen Anforderungsmanagements

Die einleitend definierten Anforderungen und der betrachtete Stand der Wissenschaft und Technik stellen die Ausgangsbasis für die Definition eines Gesamtkonzeptes dar.

Die Grundlage für die Erzeugung einer hohen Anforderungsqualität liefern das Regelwerk der IEEE 830 (1998) und die darauf aufbauenden Werke (bspw. ROBERTSON & ROBERTSON 2013). Um diese Bewertung zu konkretisieren, bedarf es eines Metamodells, welches die Struktur und Eigenschaften in einer Form beschreibt, in der sich die Einhaltung der Qualitätskriterien sicherstellen lassen und so die **Erzeugung von Anforderungen hoher Qualität (A1)** ermöglicht. Der Aufbau auf etablierten Standards stellt zusätzlich die **Kompatibilität zu Anforderungen aus anderen Bereichen (A4)** sicher. Die detaillierte Beschreibung der Artefakte erfolgt in Abschnitt 4.2.

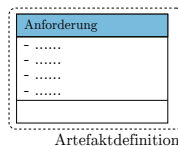


Abb. 4.1: Gesamtkonzept - Artefaktdefinition

Abbildung 4.1 zeigt schematisch die Artefaktdefinition. Anforderungen der Produktion stellen an sich keine direkte Verbesserung dar, sondern ermöglichen die Realisierung von effizienteren Produktionsabläufen. Die Festlegung von maximalen Produktabmessungen stellt bspw. sicher, dass bestehende Arbeitsplätze verwendet werden können und damit ein umfassender Umbau vermieden werden kann. Aus diesem Grund wird das Konzept der Zielhierarchie im SE nach LAUFENBERG (1996) adaptiert und die übergeordneten Elemente der *Produktionsstrategie* sowie *Probleme* als Artefaktklassen hinzugefügt und mit *Anforderungen* verbunden. Diese Zielorientierung findet sich bei BERKOVICH (2012) implizit in den Ebenen und wird im Kontext dieser Arbeit bewusst von Produktebenen getrennt. Die Vernetzung von Anforderungen, Strategie

und Problemen wird im Kontext dieser Arbeit als primäre Wissensstruktur bezeichnet (vgl. Abbildung 4.2). Die Sicherstellung der Bewertung und der Argumentation über die Produktionsstrategie leistet damit einen Beitrag zur **Berücksichtigung der Unternehmensfunktionen der Produktion als Anforderungssteller (A5)**.

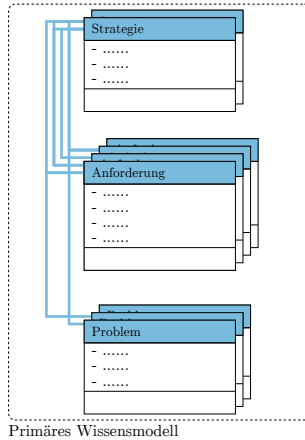


Abb. 4.2: Gesamtkonzept - primäre Wissensstruktur

Der Argumentation von MACKÉ (2007) folgend bedarf es einer Referenzstruktur, auf die sich Artefakte der des AM beziehen können. Der primär fertigungsorientierte Ansatz der Produktfeatures wird um die Sichten *Produkt*, *Verfahren*, *Prozess*, *Betriebsmittel* und *Organisation* erweitert, sodass innerhalb der Produktion eine Zuordnung zu den Vertretern der verschiedenen Funktionen sichergestellt werden kann. Eine Rollenstruktur findet als eigene Sichtweise keine Anwendung. Die Sicht *Produkt* leistet einen Beitrag dazu, die **Erzeugung verständlicher Anforderungen im Kontext der Produktentwicklung (A3)** zu erreichen. Anforderungen sind damit immer Objekten zugeordnet, welche dem Entwickler bekannt sind. Zusätzliche definierte Sichten tragen zur **Berücksichtigung der Unternehmensfunktionen der Produktion als Anforderungssteller(A5)** und zur **Berücksichtigung der Inhomogenität und Dezentralität der Wissensträger (O1)** bei, da sie eine gezielte Zuordnung zu Stakeholdern innerhalb der Produktion erlauben. **Globale Organisationen (O3)** werden mit Hilfe der Organisationssicht unterstützt.

Alle Sichten, die darin enthaltenen Objekte und die Zuordnung zu Elementen der primären Wissensstruktur werden als sekundäre Wissensstruktur bezeichnet (vgl. Abbildung 4.3).

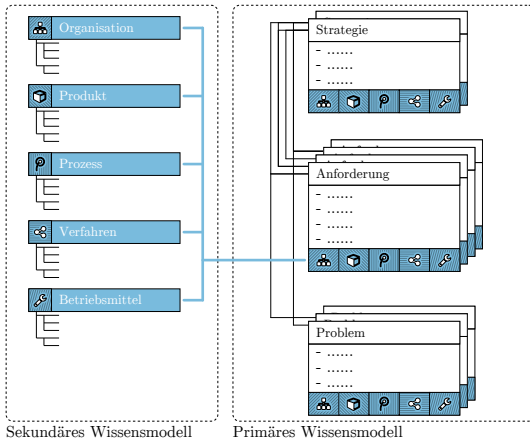


Abb. 4.3: Gesamtconcept - sekundäre Wissensstruktur

Das so gestaltete Modell aus primärer und sekundärer Struktur⁴⁵ erlaubt eine systematische Nutzung und Evaluation bezüglich der Qualität. Allerdings setzt die Artefaktdefinition auf Basis der allgemeingültigen Standards ein tiefes Fachwissen zur Interpretation der Qualitätseigenschaften voraus. Da dieses in der Produktion nicht bei allen Beteiligten zu erwarten ist, müssen Vereinfachungen bezüglich der Interpretation eingeführt werden. Hierzu kommen sog. allgemeingültige Qualitätsfragen zum Einsatz, welche sich auf Elemente des Modells (Artefakteigenschaften, aber auch Verknüpfungen zwischen Artefakten) beziehen und damit für den Ersteller leichter zu beantworten sind. Diese Fragen werden wiederum den grundlegenden Eigenschaften der Anforderungen zugeordnet. Damit wird ein Beitrag zur **Berücksichtigung der Inhomogenität und Dezentralität der Wissensträger (O1)** sowie zum **einfachen Umgang ohne einschlägige Ausbildung (O2)** geleistet. Abbildung 4.4 ordnet die Qualitätsfragen in das Gesamtconcept ein.

Die Konkretisierung und Weiterentwicklung von Anforderungen erfolgt im klassischen Anforderungsmanagement auf Ebene der Gesamtspezifikation. Dies bedeutet, dass ein gesamtes Lastenheft erarbeitet, überprüft und erweitert wird. Die **Berücksichtigung quasi kontinuierlicher Anforderungsveränderungen (P2)** bedingt eine Änderungsfähigkeit auf Instanzebene, d. h. Anforderungen lassen sich getrennt voneinander weiterentwickeln, ohne dabei

⁴⁵ Im Rahmen dieser Arbeit stellt die Wissensstruktur die reine Struktur für das Wissen im Sinne eines Metamodells bereit. Das entsprechende Wissensmodell beinhaltet zusätzlich die instanziierten Elemente.

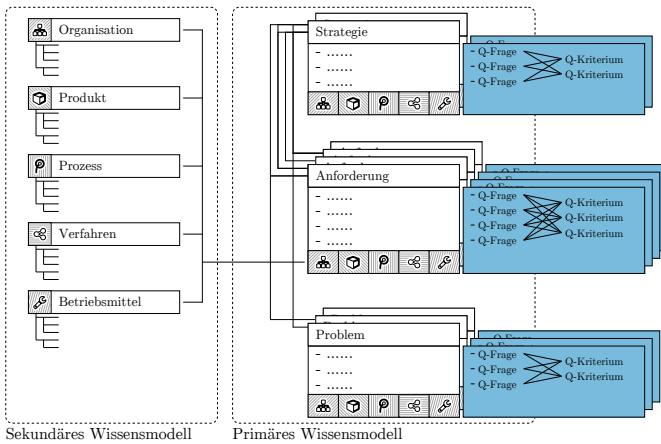


Abb. 4.4: Gesamtkonzept - Qualitätsfragen

die Integrität einer Spezifikation zu verletzen (A2). Gleichzeitig erfordert die Verteilung des Wissens innerhalb der Produktion eine getrennte Definition der Anforderungen und erlaubt damit keine vollständige Synchronisation der Erstellungsprozesse aller Instanzen.

Die **Inhomogenität der Wissensträger (O1)** und deren **geringe Qualifikation bezogen auf den Umgang mit Anforderungen (O2)** erfordern Instanzen zur Homogenisierung über die rein strukturelle Definition hinaus. Dies bedeutet, dass zentrale Funktionen hierfür existieren müssen. Für eine systematische, organisatorische Implementierung ist allerdings eine Gruppierung der Funktionen und Aufgaben zu Rollen hilfreich. Diese Rollen können Personen und Gruppen innerhalb der Organisation zugewiesen werden. Für einen reibungsfreien Ablauf müssen zusätzlich die Zugriffe auf die Wissensartefakte bzw. deren Eigenschaften realisiert werden. Dieses Rollen- und Rechtemodell stellt in Kombination mit dem Statussystem ein Vorgehensmodell bereit. Die Möglichkeit zur Zuordnung von Aktivitäten zu Rollen und damit die Zuordnung zu verschiedenen Personen innerhalb großer Organisationen unterstützt die Forderung nach einer **Berücksichtigung globaler Organisationen (O3)**. Abbildung 4.5 zeigt das Rollen- und Rechtemodell sowie das Vorgehensmodell im Gesamtkonzept.

Das so aufgebaute Gesamtkonzept erlaubt bereits eine Anwendung unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen. Die Verknüpfungen zwischen primärer und sekundärer Wissensstruktur erzeugt eine Systemkomplexität, welche eine IT-seitige Unterstützung bedingt. Diese lässt sich vor allem dadurch gestalten, dass der Nutzer bei der Definition von Anforderungen mit vorge-

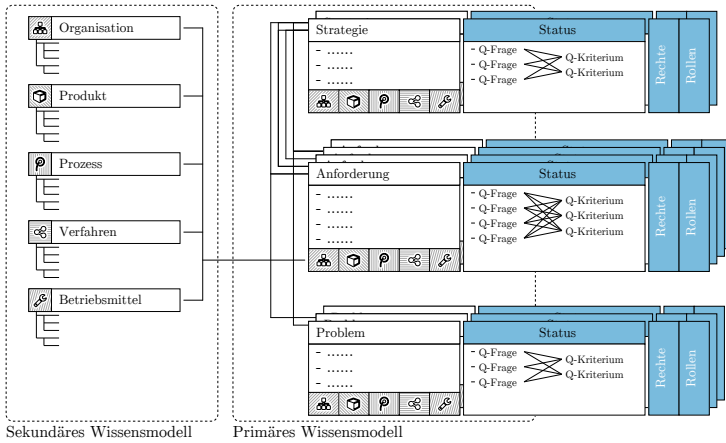


Abb. 4.5: Gesamtkonzept - Statussystem, Rollen und Rechte

schlagenen Elementen der Strukturen unterstützt wird. Hierzu ist es jedoch notwendig, ähnliche Artefakte zu identifizieren, um Eigenschaften als Vorschläge aufzubereiten. Unterstützende Werkzeuge ermöglichen einen **effizienten Mitarbeitereinsatz (O4)**.

Den abschließenden Baustein des Gesamtkonzeptes bildet die mathematisch-monetäre Bewertung. In Anlehnung an *MACKE (2007)* lassen sich produktionsseitige Anforderungen über ihre Auswirkungen nicht nur qualitativ bewerten, sondern mit quantitativen Berechnungsvorschriften belegen. Im Rahmen des Gesamtkonzeptes werden Richtlinien für die anwendungsspezifische Definition dieser Regeln entwickelt und Möglichkeiten zur Integration von Unsicherheiten⁴⁶ aufgezeigt. Die monetäre Bewertung erlaubt eine Optimierung der Anforderungen auf Unternehmensebene, da sich Abweichungen direkt quantifizieren lassen. Damit leistet sie einen Beitrag zu den Anforderungen **A3** und **A4**.

Im Folgenden sollen nun die einzelnen Elemente des Gesamtkonzeptes detailliert dargestellt werden. In Anlehnung an *SCHIENMANN (2002, S. 358 ff.)* erfolgt darauf aufbauend in Kapitel 5 die Definition eines vierstufigen Implementierungsvorgehens, inklusive der verbundenen Evaluierungskriterien für jede Stufe.

⁴⁶ Eine detaillierte Betrachtung von Entscheidungen unter Unsicherheiten finden sich bei *SCHOPPE (1991)*, *HÖNERLOH (1997)* und *BÖHLE & WEHRICH (2009)*

4.1 Informationsmodell

Im Kern des entwickelten Konzepts steht ein integriertes Informationsmodell, das die Besonderheiten von produktionsseitigen Anforderungen nutzt, um einen effizienten Prozess zu ermöglichen. Neben den eigentlichen Anforderungen stehen zwei weitere Klassen von Wissensartefakten innerhalb des Modells zur Verfügung. Diese sind zum einen die produktionsseitigen Probleme, welche im direkten oder indirekten Bezug zum Produkt stehen, und Elemente der Produktionsstrategie.

Elemente der *Produktionsstrategie* beinhalten einzelne Konzeptbausteine der konkretisierten Strategie und können daher auch als Produktionskonzept bezeichnet werden. Beispielsweise kann ein entsprechendes Element die Forderung nach der Fähigkeit zur Herstellung eines gewissen Produkttyps für einen Standort oder aber die Verwendung konkreter Transportsysteme beinhalten. Innerhalb dieser Klasse lässt sich eine hierarchische Gliederung der einzelnen Elemente erzeugen, welche an der im Unternehmen existierenden Produktionsstrategie angelehnt ist. Übergeordnete Elemente innerhalb einer Strategie werden durch Detailkonzepte weiter konkretisiert bzw. spezifiziert. In diesem Zusammenhang müssen Konzepte keinesfalls Alternativen darstellen, sondern dienen zur Lösung spezifischer Bereiche der Produktionsaufgabe.

Probleme stellen zum Zeitpunkt der Aufnahme oder Überarbeitung Produktionsprobleme dar, welche ihren Ursprung unmittelbar oder mittelbar innerhalb der Produktgestaltung bzw. der damit verbundenen Dokumentation haben und ein gewisses Maß an Allgemeingültigkeit aufweisen. Zusätzlich lassen sie sich nicht kurz- bis mittelfristig wirtschaftlich beheben. Hierzu zählen im Regelfall Bauteile, die zum Zeitpunkt der Dokumentation zwar gefertigt bzw. montiert werden können, bei denen weitere Effizienzsteigerungen im Produktionsprozess aber Aufgrund der Produkteigenschaften nicht realisierbar sind. Eine schwer zugängliche Verschraubung verhindert bspw. innerhalb der Produktion die Verwendung eines drehmomentgesteuerten Schraubers. Da das Ziel des produktionsseitigen Lastenheftes die Verbesserung zukünftiger Produkte aus Sicht der Produktion ist, werden Konstruktionsfehler, welche umgehend behoben werden müssen, ebenso wenig berücksichtigt wie Probleme während der Produktnutzungsphase.

Die dritte und zentrale Klasse repräsentiert die Wissensartefakte der Anforderungen und beinhaltet die eigentlichen *produktionsseitigen Anforderungen*.

Diese drei Klassen sind im Rahmen des Informationsmodells mit dem Ziel der Erhöhung der Herkunftstransparenz miteinander verknüpft. Anforderungen stellen die Erreichbarkeit von Elementen der Produktionsstrategie sicher und werden daher über relationale Zusammenhänge mit diesen verbunden.

Gleichzeitig können Anforderungen dazu dienen, Probleme für eine zukünftige Produktion zu vermeiden. In diesem Fall besteht ein Zusammenhang zwischen einem Problem und einer Anforderung. Grundsätzlich existiert für jedes Problem ein direkter Bezug zur Produktionsstrategie, der nur im Kontext der Produktion gültig ist. Beispielsweise erhält das Problem der schlechten Zugänglichkeit einer Verschraubung mit Hilfe eines drehmomentgesteuerten Schraubautomaten nur im Kontext der Verwendung eines ebensolchen Automaten seine Relevanz. Obwohl das Modell diese Verbindungen zulässt, stehen diese nicht im Fokus, da die Berücksichtigung der Produktionsstrategie implizit bei der Definition der Probleme angenommen werden kann. Jede formulierte Anforderung muss mindestens zur Erreichbarkeit eines Elements der Produktionsstrategie oder zur Lösung eines Problems dienen. Mehrfachverknüpfungen sowie die Verknüpfung mit Problemen und Anforderungen sind möglich und in der Praxis zu erwarten. Da es sich bei der Produktionsstrategie um von Anforderungen losgelöst entwickelte Informationen handelt, ist es möglich, dass einzelne Elemente keine Verbindung zu Anforderungen aufweisen, auch wenn die Wahrscheinlichkeit einer vollständig produktneutralen Produktionsstrategie marginal ist. Durch die entsprechende Definition macht jedes Problem eine Änderung der Produktgestaltung oder Dokumentation erforderlich, welche nur durch eine Anforderung sichergestellt werden kann. Daher muss für jedes Problem eine Verbindung zu mindestens einer Anforderung bestehen. Eine detaillierte Vorstellung der Klassen der primären Wissensstruktur erfolgt in Abschnitt 4.2.

Aufgrund der Interdisziplinarität und der Inhomogenität der Anforderungen innerhalb der Produktion lassen sich die Klassen *Anforderung* und *Problem* nicht einfach hierarchisch gliedern. Vielmehr bedarf es sog. Hilfsstrukturen, welche Anforderungen für die entsprechende Zielgruppe adäquat strukturieren. Diese Strukturen sind wiederum als Bäume aufgebaut, wobei jedem Knoten Wissensartefakte der Klassen *Anforderung* und *Problem* zugeordnet werden können. Jedes Element dieser Klassen muss mindestens einem Element aus jeder Hilfsstruktur zugeordnet werden, sodass eine Sichtbarkeit für alle Nutzer sichergestellt ist.

Zusammenfassend lässt sich eine primäre Wissensstruktur mit den Artefaktklassen *Strategie*, *Anforderung* und *Problem* definieren, welche über die beschriebenen Relationen verbunden sind. Abbildung 4.6 visualisiert diesen Zusammenhang.

Im Folgenden sollen zunächst die fünf Hilfsstrukturen Produkt-, Prozess-, Verfahrens-, Betriebsmittel- und Organisationsstruktur des sekundären Wissensmodells erläutert werden, denen jede Anforderung und jedes Problem zugeordnet wird. Tabelle 4.1 fasst die fünf Hilfsstrukturen sowie deren Zielgruppen mit Beispielen zusammen.

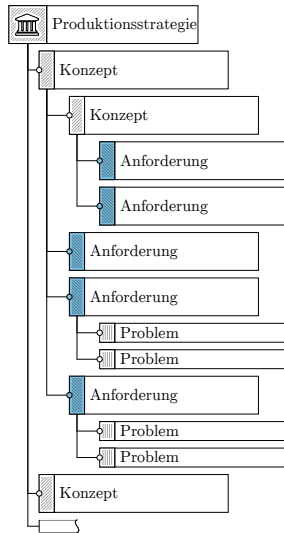


Abb. 4.6: Primäre Wissensstruktur des produktionsseitigen Anforderungsmanagements

Tabelle 4.1: Hilfsstrukturen zur Gliederung der Artefaktklassen *Anforderung* und *Problem*

Hilfsstruktur	Zielgruppe und <i>Beispiele</i>
Produktstruktur	Anforderungsnutzer mit direktem Produktbezug <i>Produktentwickler und Konstrukteure innerhalb der SE-Teams</i>
Prozessstruktur	Anforderungssteller mit direktem Bezug zu einem Prozessschritt <i>Operative Mitarbeiter, Mitarbeiter der Produktionsplanung</i>
Verfahrensstruktur	Anforderungssteller mit direktem Bezug zu einem Fertigungs- oder Montageverfahren aufweisen <i>Mitarbeiter der Verfahrens- bzw. Technologiequalifikation, Verfahrensexperten</i>
Betriebsmittelstruktur	Anforderungssteller mit direktem Bezug zu Arten von Betriebsmitteln <i>Instandhaltung, IT-Experten</i>
Organisationsstruktur	Anforderungsfreigeber mit Genehmigungsfähigkeit für Organisationsbereiche <i>Gewerkeleiter, Werksleiter</i>

4.1.1 Produktstruktur

Die Produktstruktur stellt die Schnittstelle in die entwickelnden Bereiche sicher und repräsentiert eine langfristige, vom einzelnen Produkt unabhängige Strukturierung des Produktes. Dies ist notwendig, da produktionsseitige Anforderungen schon für eine frühe Phase genutzt werden, in der noch keine konkrete Produktgliederung vorliegt und sie langfristig Bestand haben müssen. Diese Struktur ist unternehmensspezifisch und kann auch als Produktarchitektur⁴⁷ bezeichnet werden. Zusätzlich ist es notwendig, dass eine Zuordnung von verantwortlichen Entwicklungsbereichen und SE-Teams zu dieser Struktur existiert. Grundsätzlich eignet sich jede Struktur, die diesen Forderungen genügt, für eine Verwendung im Informationsmodell. Um aber eine einfachere Zuordnung der Wissensartefakte zu ermöglichen, weisen bauteil- und baugruppenorientierte Strukturen⁴⁸ Vorteile gegenüber funktionsorientierten Strukturen auf. Diese liegen primär darin begründet, dass eine rein funktionsorientierte Betrachtung keinerlei Bezug zur Produktion von Bauteilen aufweist. So ist bspw. die Fahrzeugfunktion „Bremsen“ zum einen für die produzierenden Bereiche nicht konkreten Produkten zuzuordnen und zum anderen nicht mit klaren Verantwortlichkeiten innerhalb der Entwicklungsbereiche hinterlegt, da Komponenten, wie die Reifen eines Fahrzeuges, einen Einfluss auf die Funktion ausüben, aber u. U. von anderen Entwicklungsbereichen verantwortet werden, als die Bremscheiben und die Steuergeräte. Abbildung 4.7 zeigt eine beispielhafte, abstrakte Produktstruktur an einem fiktiven Beispiel aus der Nutzfahrzeugindustrie.

⁴⁷ Detaillierte Informationen zu Produktarchitekturen finden sich bei DAHMUS ET AL. (2001), MÜHLENBRUCH (2008), GÖPFERT (2009), SCHUH (2012) und HABERFELLNER (2012). Spezifische Informationen für die Nutzfahrzeugbranche finden sich bei KREIMEYER ET AL. (2014) und FÖRG ET AL. (2014).

⁴⁸ Detaillierte Informationen zu bauteil- und baugruppenorientierten Strukturen finden sich bspw. bei LÖFFLER (2011) und FELDHUSEN & GROTE (2013a, S. 255 ff.).

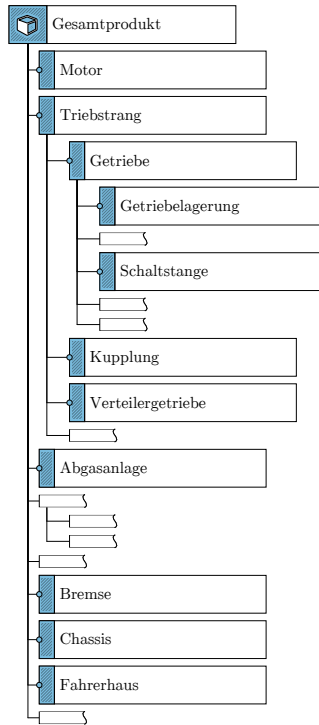


Abb. 4.7: Beispielhafte Produktstruktur

4.1.2 Prozesstruktur

Die Prozesstruktur stellt eine abstrakte und für alle Standorte gleiche Repräsentation des Herstellungsprozesses dar. Während sich vor allem in einer verketteten Linienproduktion bzw. -montage die organisatorische Aufteilung von Bandabschnitten und Meisterbereichen stark am Prozess orientiert, erfordert das Informationsmodell für einen effizienten Prozess eine standortunabhängige Darstellung. Neben den operativen müssen auch alle anderen Prozesse innerhalb der Produktion berücksichtigt werden, die auf Ergebnisse des PEP zurück greifen. Dies schließt die Dokumentation des Produktes mit ein und erfordert daher eine Repräsentation der Planungs- und Prüfprozesse. Im Regelfall ist ein grober Detaillierungsgrad für diese Bereiche ausreichend.

4.1.3 Verfahrensstruktur

Die Verfahrensstruktur bezeichnet in diesem Kontext eine Einteilung in verschiedene Fertigungsverfahren nach DIN 8580 (2003) sowie Montagetätigkeiten

nach VDI 2860 (1990) und ist unabhängig von den eingesetzten Betriebsmitteln. Die Hauptgruppen der DIN 8580 (2003) *Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten* und *Stoffeigenschaften ändern* können anhand ihrer Definition weiter konkretisiert und darauf aufbauend im Unternehmen zusätzlich detailliert werden. Gleichzeitig können im Unternehmen nicht verwendete Fertigungstechnologie zumindest auf niedriger Ebene ignoriert werden. Es empfiehlt sich allerdings mindestens die Hauptgruppen und ggf. die darunter liegenden Definitionen zu verankern, sodass neue Technologien bzw. Technologiekonzepte einer entsprechenden Gruppe zugeordnet werden können. Die Teiloperationen eines Montageprozesses nach VDI 2860 (1990) stellen die Erweiterung der Tätigkeiten innerhalb der Montage über die Verwendung der Hauptgruppe *Fügen* hinaus dar und sind vor allem für eine Anwendung in Bereichen mit einem Montageanteil unerlässlich.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die hinterlegte Struktur so konkretisiert wird, dass sie durch die Anwender der Methode verstanden wird. Hierbei kann ggf. eine Umbenennung der Untergruppen der Fertigungsverfahren sinnvoll sein, wenn dadurch ein höheres Verständnis unter den Anwendern erzeugt wird. Die Verwendung der DIN 8580 (2003) und VDI 2860 (1990) sorgen hierbei für Vollständigkeit durch eine feste Grundstruktur.

4.1.4 Betriebsmittelstruktur

Nach NEBL (2011, S. 150 ff.) sind Betriebsmittel Potentialfaktoren, die ihr Leistungspotential zeitbedingt, nutzungsbedingt oder beides sukzessiv über ihre Nutzungsdauer bereitstellen. Nach VDI 2815 dienen Betriebsmittel (Anlagen, Geräte, Einrichtungen) zur betrieblichen Leistungserstellung. Im Kontext dieser Arbeit ist das Betriebsmittel von dem genutzten Verfahren zu entkoppeln. Beispielsweise stellt ein Industrieroboter ein Betriebsmittel dar, welches einen Schweißprozess oder einen Montageprozess durchführen kann. Produktionsseitige Anforderungen, bspw. aus dem Bereich der Instandhaltung, können hierbei auf alle Anwendungsfälle referenzieren. Daher ist die zusätzliche Sicht der Betriebsmittel zum Verfahren notwendig.

Die Strukturierung der Betriebsmittel ist ebenfalls stark vom Anwender abhängig. Ziel ist es, eine möglichst statische Strukturierung der Betriebsmittel zu erreichen, die eine übergeordnete Zuordnung von Anforderungen zu Betriebsmitteln ermöglicht. Diese Strukturierung kann im Rahmen einer Fertigung bspw. bis auf eine einzelne Anlage sinnvoll sein. Im Rahmen einer Montagelinie hingegen ist die Gruppierung der Schraubwerkzeuge sinnvoller als die Referenzierung auf individuelle Werkzeuge.

VDI 2815 liefert eine gute Übersicht einer möglichen Strukturierung. Hiernach lassen sich Betriebsmittel in Ver- und Entsorgungssysteme, Mess- und

Prüfmittel, Fertigungs- und Montagemittel, Fördermittel, Steuerungs- und Regelungsmittel, Lagermittel, Informations- und Kommunikationsmittel sowie Innenausstattung unterteilen. Jede dieser Kategorien lässt sich sowohl allgemein (bspw. Fördermittel nach VDI 3586) als auch unternehmensspezifisch aufteilen. Eine vollständige Auflistung würde an dieser Stelle den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Für die Verwendung innerhalb des produktionsseitigen Anforderungsmanagements empfiehlt sich eine Struktur, die zum einen innerhalb des Unternehmens etabliert ist und zum anderen einen Baumcharakter aufweist.

4.1.5 Organisationsstruktur

Die Organisationsstruktur dient primär der Zuweisung bzw. Einschränkung von Artefakten zu übergeordneten Organisationseinheiten, wie bspw. Werken, und erlaubt so, die Abschwächung von Anforderungen, falls ein zukünftiges Produkt nicht an einem Standort hergestellt werden wird. Vor allem innerhalb der Produktion besteht die Gefahr einer starken Überschneidung mit der Prozessstruktur, da sich in vielen Bereichen eine organisatorische Einteilung an dieser orientiert. Im Sinne dieser Arbeit ist lediglich eine grobe Aufteilung in Standort und Hauptbereiche, wie Linien, sinnvoll. So können für die Produktion auf einzelnen Linien individuelle Anforderungen gelten. Vor allem die Produktion in verschiedener Länder bedingt ggf. unterschiedliche Anforderungen, bspw. aufgrund unterschiedlicher Regeln des Arbeitsschutzes. Die Produktion innerhalb sog. Semi-Knocked-Down(SKD)-Werke und Completely-Knocked-Down(CKD)-Werke wird hierbei über eine Zuordnung zu entsprechenden Organisationseinheiten realisiert. So können trotz ähnlicher Prozessschritte gänzlich andere Anforderungen aufgrund mangelnder Infrastruktur, aber auch relaxierte Anforderungen aufgrund höherer Taktzeit zum Tragen kommen.

4.1.6 Zusammenfassung

Die dargestellten Hilfsstrukturen dienen einer gezielten Zuordnung der Anforderungen zu den unterschiedlichen Beteiligten, sowohl im Prozess der Generierung, als auch im Prozess der Nutzung der Anforderungen. Damit Anforderungen und Probleme für jeden Beteiligten individuell strukturierbar sind, müssen sie Hilfsstrukturen der sog. sekundären Wissensstruktur zugeordnet werden. Abbildung 4.8 zeigt einen Ausschnitt dieser Hilfsstrukturen und der darin angeordneten Elemente der primären Wissensstruktur.

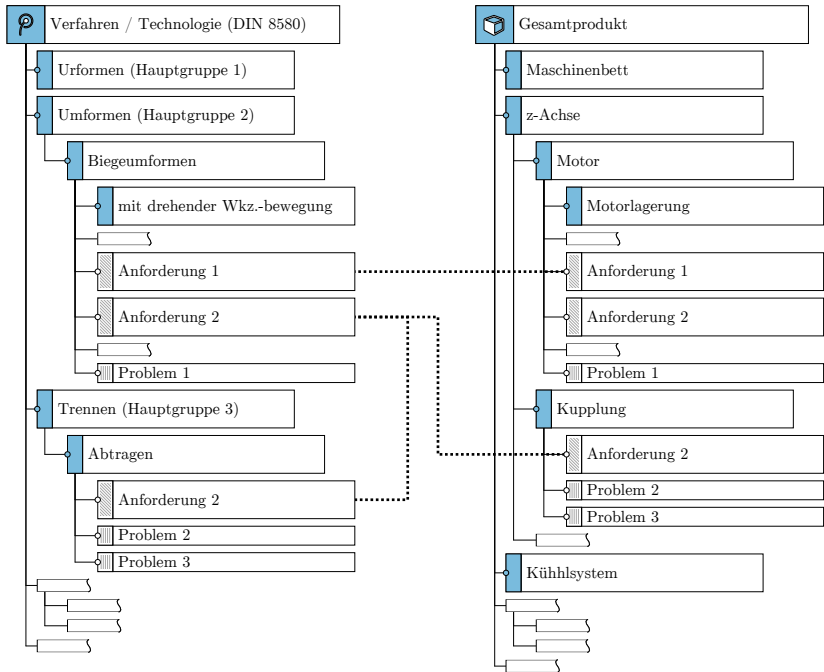


Abb. 4.8: Strukturierte Beschreibung der Elemente der primären Wissensstruktur unter direkter Nutzung der sekundären Strukturen.

4.2 Wissensartefakte

Ziel des folgenden Abschnitts ist die Darstellung der relevanten Eigenschaften der primären Klassen von Wissensartefakten. Die hier aufgeführten Eigenschaften stellen die Grundlage für eine effiziente Nutzung der produktionsseitigen Anforderungen dar, können aber bei Bedarf um unternehmensspezifische Eigenschaften erweitert werden. Die aufgeführten Eigenschaften beziehen sich auf einen Datensatz und berücksichtigen nicht eventuell notwendige Zusatzfelder für eine systemseitige Versionierung. Ansätze bezüglich der Versionierung von Wissensartefakten finden sich bei ALTMANNINGER ET AL. (2009). Obwohl die Versionierung im Rahmen dieser Arbeit nicht im Fokus der Betrachtung steht, wird diese grundsätzlich in Kapitel 5 sowie im Rahmen der Implementierung in der Beispiel-Software (Abschnitt 6.2) berücksichtigt. Abbildung 4.6 zeigt die Klassen der primären Wissensstruktur und deren Verbindungen.

4.2.1 Strategieelement

Die Artefaktklasse *Strategieelement* bildet lediglich grundlegende Elemente einer umfassenden Strategiedefinition des Unternehmens im Rahmen des produktionsseitigen Anforderungsmanagements ab. Der *Name* des Strategieelements dient dazu, das Strategieelement von anderen Elementen zu unterscheiden und dem Nutzer eine zielbezogene Auswahl aus einer Übersichtsliste zu ermöglichen. Namen wie *Linie für alle Varianten* oder *Produktion am Standort XY* weisen eine deutlich höhere Eignung für die spätere Verwendung auf als reine Identifikationsnummern oder Bezeichnungen. Diese können im Feld *Nummer* angegeben werden und stellen somit eine nutzungsübergreifende Verknüpfung zu Bereichen der Strategiedefinition dar. Eine Formalisierung des Namens ist im Regelfall nur bezüglich der maximalen bzw. minimalen Zeichenzahl zu erreichen. Eine inhaltliche Strukturierung ist aufgrund der Verschiedenartigkeit der Strategieelemente nicht zielführend. Die *Beschreibung* beinhaltet die eigentliche Strategie in einer für den Nutzerkreis geeigneten, textuellen Beschreibungsform. Die Verknüpfung mit den ermöglichenden *Anforderungen* bildet die primäre Wissensstruktur bezogen auf ein Wissensartefakt ab. Jedem Strategieelement können n Anforderungselemente zugeordnet werden. Die Verknüpfungen stellen bi-direktionale Verbindungen zwischen den Elementen ohne Wichtung dar. Die Statureigenschaft repräsentiert den aktuellen Status (vgl. Statussystem in Abschnitt 4.4) des Strategieelements im individuellen Freigabeprozess. Die Eigenschaften *Bearbeiter (Inhalt)*, *Bearbeiter (Form)* sowie *Freigabe* geben die für das individuelle Element verantwortlichen Mitarbeiter bzw. Gremien an, wobei lediglich Nutzer für eine Eigenschaft zugelassen sind, welche für die entsprechende Rolle freigegeben sind. Zur weitergehenden Verdeutlichung des Inhalts kann es hilfreich sein Abbildungen und sonstige Dokumente mit dem Artefakt zu verknüpfen. Es ist allerdings sicherzustellen, dass diese Dokumente zu einem besseren Verständnis beitragen, aber nicht die Grundlage für das Wissensartefakt bilden. Nur so kann die Nutzbarkeit der definierten Struktur sichergestellt werden. Das Datum und die Zeit der *letzten Änderung* stellen eine systemseitige Eigenschaft des Datensatzes dar und werden bei jeder gespeicherten Änderung aktualisiert.

Da sich die vorherigen vier Eigenschaften in gleicher Form für alle Artefaktklassen finden, werden diese im Folgenden nicht mehr erläutert. Eine Übersicht der Eigenschaften der Klasse *Strategieelement* findet sich in Tabelle 4.2.

4.2.2 Anforderungselement

Die Klasse *Anforderungselement* bildet das zentrale Wissen im Rahmen des produktionsseitigen Anforderungsmanagements ab und repräsentiert die eigentlichen Anforderungen. Der *Name* dient zur Identifikation der Anforderung. Ziel

Tabelle 4.2: Eigenschaften der Klasse *Strategieelement*

Eigenschaft	Beschreibung	Typ
Name	Bezeichnung des Strategieelements	Freitext
Nummer	Schlüssel zur Verknüpfung mit Originalinhalt in anderem Unternehmenssystem	Numerisch (ggf. mit Vorlage)
Beschreibung	Inhalt des Strategieelements	Freitext
Anforderungen	Produktionsseitige Anforderungen, welche eine Erreichung des Strategieelements ermöglichen	Verknüpfung
Status	Aktueller Status des Strategieelements im Freigabeprozess	Statusfeld
Bearbeiter (Inhalt)	Inhaltlich verantwortlicher Mitarbeiter	Mitarbeiterfeld
Bearbeiter (Form)	Mitarbeiter, welcher für die formale Vollständigkeit und Richtigkeit verantwortlich ist	Mitarbeiterfeld
Freigabe	Mitarbeiter oder Gremium, welcher/welches die Anforderung ggü. der Entwicklung als verbindlich aktiviert	Mitarbeiterfeld
Letzte Änderung	Datum und Zeit der letzten Änderung	Systemfeld
Zusatzdokumente	Zusätzliche Dokumente	Dokumentenverknüpfung

ist hierbei eine kurze und für den Nutzer leicht verständliche Beschreibung. Eine Auflistung der Bezugsobjekte im Namen der Anforderung, wie bspw. *Veranschaulichbarkeit von Achse und Rahmen in Normallage*, ist nicht notwendig, da diese Zuordnung über die Bezugsobjekte der sekundären Struktur systematisch erfolgt. Der *Typ* der Anforderung bietet eine Auswahl, ob es sich um eine rein bezugsobjektgesteuerte Anforderung, eine für alle Objekte gültige oder um eine parametergesteuerte Anforderung handelt. Für letztere kann eine beliebige Anzahl an Bezugsobjekten mit zusätzlich einschränkenden Parametern hinterlegt werden. *Sicherstellung einer 20 mm breiten Klebefläche* gilt bspw. für jegliche Form der Verklebung, *Sicherstellung einer 30 mm breiten Klebefläche bei Verwendung des Klebers vom Typ ABC*⁴⁹ schränkt das Verfahren über den Parameter des Klebertyps ein. Zusätzlich existiert jeweils die Unterscheidung, ob es sich bei der Anforderung um eine vererbare oder eine für dieses Objekt spezifische Anforderung handelt. Erstere gelten für alle Objekte der Hilfsstruktur, die sich unterhalb des gewählten Knotens befinden. Nicht vererbare Anforderungen hingegen gelten lediglich für das Element, dem sie zugeordnet sind. Tabelle 4.3 stellt die vier möglichen Typen dar. Sind für ein Objekt einer

⁴⁹ Die spezifische Bezeichnung wurde im Sinne der Wahrung der Geheimhaltung entfernt.

Hilfsstruktur eine von einem Vaterknoten vererbte und eine Anforderung mit direktem Bezug gültig, so hat diese direkte, höhere Priorität.

Tabelle 4.3: Typen von Anforderungen

Bezug	Vererbung	Kurzform
Objektgesteuert		
	Vererbt	OV
	Spezifisch	OS
Parametergesteuert		
	Vererbt	PV
	Spezifisch	PS

Das Feld *Nummer* kann, je nach organisatorischer Verwendung, eine externe Identifikationsnummer enthalten. Diese wird im Regelfall durch das System generiert, in dem alle Anforderungen der Anforderungssteller aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen verwaltet und deren Umsetzung verfolgt wird. Um dem Nutzer eine bessere Übersichtlichkeit zu ermöglichen, lässt sich in der Eigenschaft *Gruppe* eine frei definierbare Bezeichnung hinterlegen. Diese Gruppierung dient lediglich der Sortierung und sorgt dafür, dass innerhalb eines Strukturobjektes gruppierte Anforderungen fortlaufend aufgeführt werden können. Die *Beschreibung* der Anforderung dient dazu, den Inhalt für den Leser darzustellen. Im Regelfall ist hierfür eine freie textuelle Beschreibung geeignet. Schablonen, die Anforderungen mit Objekten der Hilfsstrukturen befüllen sind ebenfalls prinzipiell geeignet. Dem Vorteil der stark systematisierten Eingabe stehen allerdings enorme Aufwände in der Definition der Schablonen gegenüber. Beispiele hierfür finden sich in Abschnitt 6.2.

Überprüfungsmethode und *Grenzwert* stellen die spätere Überprüfung der Einhaltung der Anforderung sicher. Ziel der Formulierung der Prüfmethode ist es, die Vorgaben des Anforderungsstellers aus der Produktion in quantifizierbare und für den Anforderungsempfänger nachvollziehbare Eigenschaften zu überführen. Hierbei ist es wichtig, dass die nötigen Eigenschaften früh im Entwicklungsprozess und mit geringer Beeinflussung durch andere Bauteile ermittelt werden können. Mit der Anforderung werden *Probleme* verknüpft, für welche die Anforderung zur Behebung bzw. Vermeidung beiträgt. Sie dienen in der weiteren Nutzung der Anforderung zur Unterstützung der Argumentation und können gleichzeitig zur Verdeutlichung des Sachverhaltes herangezogen werden. *Strategien*, für die diese Anforderung eine Grundlage bilden, werden analog verknüpft und dienen ebenfalls der Unterstützung der Argumentation und der Bewertung. Jede Anforderung muss mindestens einem Problem oder einer Strategie zugeordnet sein. Mehrfachzuordnungen sind sowohl möglich

als auch wahrscheinlich. Alle Arten von Verknüpfungen innerhalb der Primärstruktur können in beide Richtungen erzeugt und genutzt werden, d. h. der Verweis auf eine Anforderung kann von der Strategie aus betrachtet werden, und auch von der Anforderung in Richtung der Strategie. *Bezugsobjekte* bilden die systematische Verbindung zu den Objekten der Sekundärstruktur ab. Hierbei ist es nötig, dass die Anforderung mindestens einen Verweis auf jede Sekundärstruktur enthält, sodass eine Repräsentation in allen Sichten sichergestellt ist. *Dokumente*, *Status*, *Bearbeiter (Inhalt)*, *Bearbeiter (Form)*, *Freigabe* und *Letzte Änderung* sind analog den Eigenschaften des Wissensartefaktes *Strategieelement* zu betrachten. Eine Übersicht über die Eigenschaften der Artefaktklasse *Anforderungselement* findet sich in Tabelle 4.4.

Tabelle 4.4: Eigenschaften der Klasse „Anforderungselement“

Eigenschaft	Beschreibung	Typ
Anforderungstyp	Typ des Anforderungselements nach Tabelle 4.3	
Name	Bezeichnung des Anforderungselements	Textfeld
Nummer	Externe Identifikationsnummer	Textfeld
Gruppe	Thematische Gruppierung	Textfeld
Beschreibung	Inhalt der Anforderung	Textfeld Formularfeld
Überprüfungsmethode	Beschreibung der Prüfmethode zur Überprüfung der Anforderungserfüllung	Textfeld
Grenzwert	Grenzwert und ggf. Richtung, bis zu dem/der die Anforderung als erfüllt gilt	Numerisches Feld Textfeld
Probleme	Probleme, welche durch die Anforderung behoben werden	Verknüpfung
Strategien	Strategien, für welche die Anforderung die Grundlage bildet	Verknüpfung
Bezugsobjekte		Verknüpfung
Vorschläge		Verknüpfung
Dokumente	Zusätzliche Dokumente	Dateiverknüpfung
Status	Aktueller Status des Anforderungselements im Freigabeprozess	Status
Bearbeiter (Inhalt)	Inhaltlich verantwortlicher Mitarbeiter	Benutzer
Bearbeiter (Form)	Mitarbeiter, welcher für die formale Vollständigkeit und Richtigkeit verantwortlich ist	Benutzer
Freigabe	Mitarbeiter oder Gremium, welcher/welches die Anforderung ggü. der Entwicklung als verbindlich aktiviert	Benutzer
Letzte Änderung	Datum und Zeit der letzten Änderung	Systemzeit

4.2.3 Problemelement

Die Artefaktklasse *Problemelement* stellt eine vereinfachte Repräsentation übergeordneter Problem innerhalb der Produktion dar, welche ihren Ursprung in einem durch die Entwicklung und Konstruktion bedingten Bereich finden. Gleichzeitig ist eine kurzfristige Behebung nicht nötig oder im Rahmen des regulären Änderungsprozesses bereits angestoßen. Probleme stellen vor allem solche Einschränkungen durch die Produkt- und Dokumentationsgestaltung dar, welche eine effizientere Produktion verhindern. Dies kann bspw. eine fehlende Standardisierung der Aufnahmepunkte für einen Handhabungsschritt sein, der deshalb variantenspezifische Greifer erfordert, aber auch eine ungeeignete Produktdokumentation, welche Optimierungen im Bereich der Produktionsplanung verhindert. Bereits durch kurzfristige Maßnahmen behobene Probleme können, sofern sie die Vorgabe an eine Beeinflussbarkeit durch die Entwicklung bzw. Konstruktion erfüllen, ebenfalls aufgenommen werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass einmal beseitigte Probleme nachhaltig für zukünftige Produkte verhindert werden. *Name* enthält eine kurze Benennung, die bereits ein Grundverständnis beim Empfänger erzeugt. Für die Artefaktklasse „Problemelement“ ist dies von besonderer Bedeutung, da eine detaillierte Betrachtung im späteren Prozess nur im Bedarfsfall durchgeführt wird. Analog der *Gruppierung* von Anforderungselementen lassen sich über die Eigenschaft *Gruppe* Probleme mit thematischer Ähnlichkeit in einer Sortierung zusammen anzeigen. Die *Beschreibung* des Problems beinhaltet die Auswirkung auf die Produktion. Neben der Verwendung eines Freitextes können auch hier Formulare zum Einsatz kommen. Dem großen Vorteil der verbesserten Systematisierung und direkten Einbindung der Bezugsobjekte steht auch hier die Erstellung der nötigen Formulare gegenüber. Die *Problemursache* stellt den Bezug zwischen einer durch die Entwicklung beeinflussbaren Produkteigenschaft und der Auswirkung auf die Produktion her. Diese Ursache-Wirkungsfolge lässt sich ebenfalls über die Verwendung von Formularen als beliebig häufige Aneinanderreihung von Elementen darstellen.

Obwohl die starke Strukturierung weitere Vorteile im Bereich der systematischen Verknüpfung zwischen Objekten der Primär- und Sekundärstruktur ermöglicht, muss der Aufwand zur Erstellung und Qualifizierung der Mitarbeiter unternehmensspezifisch berücksichtigt werden. Die verknüpften *Anforderungen* bilden die Grundlage für eine zukünftige Vermeidung des Problems. Jedes Problem muss mindestens eine zugewiesene Anforderung besitzen, da ansonsten keine Behebung innerhalb einer neuen Produktgestaltung sichergestellt ist oder es sich nicht um ein durch die Konstruktion beeinflussbares Problem handelt. Grundsätzlich muss die Summe aller Anforderungen das Problem aber nicht beheben, sondern lediglich eine Behebung innerhalb der Produktion ermöglichen. Die *Verwendung eines Spezialadapters für die Befüllung einer Variante einer Klimaanlage durch mangelnde Standardisierung* wird bspw. erst durch die

Einführung eines Standards, gepaart mit der Beschaffung oder Konstruktion des neuen, standardisierten Betriebsmittels, behoben. *Dokumente*, *Status*, *Bearbeiter (Inhalt)*, *Bearbeiter (Form)*, *Freigabe* und *Letzte Änderung* sind analog den Eigenschaften des Wissensartefaktes *Strategieelement* zu betrachten. Eine Übersicht über die Eigenschaften der Artefaktklasse *Problemelement* findet sich in Tabelle 4.5.

Tabelle 4.5: Eigenschaften der Klasse *Problemelement*

Eigenschaft	Beschreibung	Typ
Name	Bezeichnung des Problemelements	Textfeld
Gruppe	Thematische Gruppierung	Textfeld
Beschreibung	Beschreibung des Problems	Textfeld Formularfeld
Ursache	Beschreibung der Problemursache	Textfeld
Anforderungen	Anforderungen, welche zur Behebung des Problems beitragen	Verknüpfung
Bezugsobjekte		Verknüpfung
Dokumente	Zusätzliche Dokumente	Dateiverknüpfung
Status	Aktueller Status des Problemelements im Freigabeprozess	Status
Bearbeiter (Inhalt)	Inhaltlich verantwortlicher Mitarbeiter	Benutzer
Bearbeiter (Form)	Mitarbeiter, welcher für die formale Vollständigkeit und Richtigkeit verantwortlich ist	Benutzer
Freigabe	Mitarbeiter oder Gremium, welcher/welches das Problem ggü. der Entwicklung als verbindlich aktiviert	Benutzer
Letzte Änderung	Datum und Zeit der letzten Änderung	Systemzeit

4.2.4 Vorschlagselement

Das *Vorschlagselement* stellt eine Erweiterung der Primärstruktur dar und ist im engsten Sinne nicht Teil des Anforderungsmanagements. Es beinhaltet Ideen und Konzepte, die der Anforderungssteller im Zusammenhang mit der Anforderung als solche erkannt hat, welche die Anforderung erfüllen. Nicht

selten können dies Einzellösungen an eigenen Produkten oder Produkten von Wettbewerbern darstellen. Die Nutzung dieses Elementes ermöglicht es zum einen, die Lösungsneutralität der Anforderung sicherzustellen, ohne die Problemlösungskompetenz der Anforderungssteller zu unterdrücken. Zum anderen können Lösungsvorschläge zu einem besseren Verständnis der zugeordneten Anforderungen beim Empfänger beitragen. Vorschlags Elemente weisen aber im Vergleich zu Anforderungen keinerlei Verbindlichkeit auf. Besondere Bedeutung kommt bei der Artefaktklasse *Vorschlags Element* der Beschreibung zu. Da Vorschläge aus sämtlichen Domänen entstehen können, sind systematische Zuordnungen zu den Elementen der Sekundärstruktur nicht möglich. Die textuelle *Beschreibung* muss es daher ermöglichen, dass der Empfänger, der die zugeordnete Anforderung erhält, selbstständig die verbundenen Vorschläge verstehen kann. Die Verwendung von Zusatzinformationen wie Abbildungen kann diesen Prozess deutlich unterstützen. Jedem *Vorschlags Element* muss mindestens eine Anforderung zugeordnet sein, anderenfalls ist eine systematische Adressierung des betreffenden Mitarbeiters in der Entwicklung nicht sichergestellt. Eine gegenläufige Bedingung, dass einer Anforderung ein Vorschlag zugeordnet sein muss, existiert nicht und ist aufgrund der Lösungsneutralität der Anforderungen auch nicht empfehlenswert.

Dokumente, Status, Bearbeiter (Inhalt), Bearbeiter (Form), Freigabe und *Letzte Änderung* sind analog den Eigenschaften des Wissensartefaktes „Strategieelement“ zu betrachten. Eine Übersicht über die Eigenschaften der Artefaktklasse *Vorschlags Element* findet sich in Tabelle 8.5 im Anhang. Im Weiteren werden diese Elemente nicht weiter berücksichtigt, da an sie keine expliziten Forderungen hinsichtlich der Qualität oder Freigabe gestellt werden. Sie stellen vielmehr eine optionale Eigenschaft einer Anforderung ohne verbindlichen Charakter dar.

Abbildung 4.9 zeigt das vollständige Informationsmodell inklusive der Elemente der sekundären Struktur.

4.3 Qualitätsfragen

Die Qualitätsforderungen an eine Anforderung wie Korrektheit, Eindeutigkeit, Prüfbarkeit, Nachverfolgbarkeit und Konsistenz (POHL & RUPP 2011, S. 54) sind für den Ersteller produktionsseitiger Anforderungen nicht direkt nachzuziehen, da nicht von einer einschlägigen Ausbildung bzw. Qualifikation der Beteiligten ausgegangen werden kann. Um im Rahmen einer Selbstüberprüfung der erstellten Anforderungen dennoch die Einhaltung dieser Kriterien sicherstellen zu können, wurde eine im Rahmen dieses Konzepts allgemeingültige indirekte Zuordnung über sog. Qualitätsfragen entwickelt. Das zugrundeliegende Konzept verknüpft für den Anwender verständliche, auf Eigenschaften der

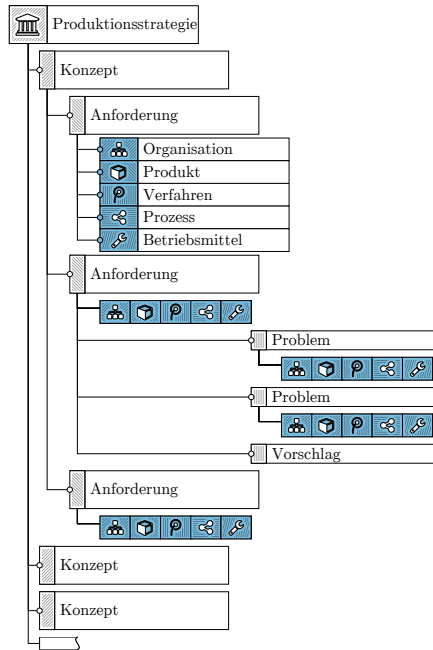


Abb. 4.9: Darstellung der Elemente der primären und sekundären Struktur

Artefakte bezogene Fragen mit den Qualitätsvorgaben an das entsprechende Artefakt. Die Zuordnung zwischen Fragen und Qualitätskriterien ist vom Typ $n : m$. Jede Frage ist wiederum genau einer Eigenschaft zugeordnet, wobei jeder Eigenschaft eine beliebige Anzahl an Fragen zugeordnet sein kann. Zusätzlich existieren Fragen, die sich auf das Artefakt an sich beziehen und deren Beantwortung das Ergebnis vieler oder aller Eigenschaften ist. Abbildung 4.10 stellt die Zuordnung über Qualitätsfragen grafisch dar.

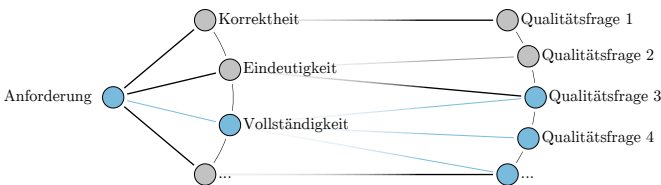


Abb. 4.10: Zuordnung von Qualitätsfragen zu Eigenschaften

Alle Fragen repräsentieren einen booleschen Ausdruck, welcher lediglich einen Wahrheitswert annehmen kann. Die Erfüllung der Qualitätskriterien ergibt sich aus der Verknüpfung mit dem logischen *Und* (\wedge). Da lediglich die Elemente der Artefaktklasse *Anforderung* Anforderungen im eigentlichen Sinne darstellen, müssen auch nur sie die konkreten Qualitätskriterien nach POHL & RUPP (2011, S. 54) erfüllen. Da sich diese Elemente vor allem im Bezug auf Argumentation und Nachvollziehbarkeit durch die primäre Informationsstruktur auf Elemente der Artefaktklassen *Strategie* und *Problem* stützen, kann eine durchgängige Anforderungsqualität nur durch Sicherstellung der Qualität aller Elemente gelten.

Tabelle 4.6 zeigt die Qualitätskriterien und deren Wichtigkeit für ein individuelles Element der Artefaktklassen der primären Wissensstruktur.

Vollständigkeit bezieht sich sowohl auf einzelne Artefakte als auch auf die Gesamtheit aller Artefakte einer Klasse, des Weiteren auf die Kombination im Rahmen der primären Informationsstruktur. Bezogen auf ein einzelnes Wissensartefakt wird dieses durch die Forderung nach Definition aller Eigenschaften sowie die Berücksichtigung der Forderungen der Eigenschaften gewährleistet. So ist es beispielsweise nicht ausreichend, nur ein Bezugsobjekt für die entsprechende Eigenschaft zu definieren. Zur Sicherstellung der Vollständigkeit ist vielmehr die Definition eines Objektes aus allen Bereichen der sekundären Wissensstruktur nötig. Vor allem Anforderungen müssen vollständig definiert sein, da sie die Grundlage für die Kommunikation innerhalb des SE-Teams darstellen. Eine unvollständige Definition könnte ggf. dazu führen, dass eine Anforderung ihren Adressaten nicht erreicht und daher keine Berücksichtigung im Entwicklungsprozess findet. Für Strategien und Probleme können grundsätzlich niedrige Vorgaben für die Einhaltung der Vollständigkeit angelegt werden, da diese über das primäre Wissensmodell verknüpft sind. Eine weitere Abstufung lässt sich zwischen Strategien und Problemen dahingehend ziehen, dass eine falsche Interpretation einer Strategie den Zustand in der Produktion deutlich verschlechtern kann. Eine falsche Auslegung eines Problems aufgrund von unvollständigen Informationen führt hingegen zu einer geringeren Verbesserung der Situation. Wird bspw. ein Produkt aufgrund einer Interpretation der Strategie so gestaltet, dass es ausschließlich automatisiert produziert werden kann, so müssen sämtliche Produktionsstätten mit der notwendigen Infrastruktur ausgestattet werden. Eine manuelle Montage liegt damit außerhalb des Lösungsraums. Wird hingegen das Problem der Zugänglichkeit für ein Bauteil falsch interpretiert, so führt dies ggf. nicht zu einer Verbesserung gegenüber dem problematischen Zustand.

Die Forderung nach *Korrektheit* der Strategien bildet die Grundlage für das gesamte Handeln im Rahmen des produktionsseitigen Anforderungsmanagements. Gleichzeitig muss die Strategie als Eingangsgröße bewertet und eine

Tabelle 4.6: Qualitätseigenschaften nach Artefaktklasse

Eigenschaften	Anforderung	Strategie	Problem
<i>Im Bezug zu einer einzelnen Anforderung</i>			
Vollständigkeit	●	◐	◑
Korrektheit	●	◑	◐
Konsistenz	●	◑	◐
Prüfbarkeit	●	◑	◑
Eindeutigkeit	●	●	◑
Verständlichkeit	●	◑	◐
Gültigkeit und Aktualität	●	●	○
Realisierbarkeit	○	○	○
Notwendigkeit	◑	●	○
Nachverfolgbarkeit	●	●	●
Bewertbarkeit	◑	●	○
<i>Im Bezug zur Gesamtheit</i>			
Vollständigkeit und Normalisierung	●	○	○
Konsistenz	●	○	◐
<i>Im Bezug zur Gesamtheit (übergreifend)</i>			
Strukturiertheit		●	
Modifizierbarkeit und Erweiterbarkeit		●	
Verfolgbarkeit		●	
Zugreifbarkeit		●	
Projizierbarkeit		●	
Relevanz		●	
<hr/>			
Im Kontext des produktionsseitigen AM			
○ nicht relevant			
◑ wenig relevant			
◐ relevant			
◐ sehr relevant			
● unbedingt relevant			

Korrektheit vorausgesetzt werden. Im Rahmen des produktionsseitigen Anforderungsmanagements muss lediglich die korrekte Weitergabe und Verknüpfung im Sinne der primären Wissensstruktur sichergestellt werden. Legt bspw. die Produktionsstrategie den Aufbau eines neuen Standortes fest, so ist es nicht Teil des produktionsseitigen Anforderungsmanagements, die Korrektheit dieser Entscheidung zu überprüfen, sondern sicherzustellen, dass diese Prämisse korrekt in Anforderungen überführt wird. Für Elemente der Artefaktklasse *Problem* gilt dieses grundsätzlich analog. Da aber im Zuge der Integration der Probleme eine Selektion und ggf. eine Abstraktion stattfindet, muss sichergestellt werden, dass hierbei die Korrektheit gewahrt bleibt.

Konsistenz innerhalb einer Instanz erfordert die Widerspruchsfreiheit der einzelnen Eigenschaften dieser. Im Sinne der Strategie als Eingangsgröße für das AM muss bereits von einer Konsistenz ausgegangen werden. Die Erzeugung von widerspruchsfreien und zielführenden Produktionsstrategien steht nicht im Fokus dieser Arbeit. Da Probleme eine Anforderung im Sinne der Argumentation unterstützen, ist es notwendig, dass diese ebenfalls konsistent innerhalb ihrer Dokumentation sind.

Die *Prüfbarkeit* von Anforderungen und Problemen erstreckt sich primär auf den Bereich der grundsätzlichen Wirkzusammenhänge. Da sich eine Bewertung der Entwicklungsleistung ausschließlich auf Elemente der Klasse *Anforderung* bezieht, muss der Prüfbarkeit der weiteren Klassen keine direkte Bedeutung im Rahmen des produktionsseitigen Anforderungsmanagements zugeordnet werden. Dies gilt nicht für die jeweils erzeugenden Prozesse, die nicht im Fokus dieser Arbeit liegen. Die Erfüllung der Produktionsstrategie wird nicht durch das produktionsseitige AM überprüft oder verfolgt, diese Tätigkeiten müssen aber grundsätzlich im Unternehmen durchgeführt werden.

Eindeutigkeit stellt eine maßgebliche Voraussetzung für die Verwendung der Anforderungen als Argumentation im SE-Prozess dar. Obwohl von einer eindeutigen Definition der Strategie sowie der Probleme im entsprechenden Produktionskontext ausgegangen werden kann, so ist dies für die spätere Verwendung im SE-Team für andere Domänen nicht implizit gewährleistet. Eine Berücksichtigung der Probleme bei der notwendigen Absicherung ist von besonderer Bedeutung, da geringfügig erscheinende Probleme eine gravierende Auswirkung auf Konstruktionsalternativen hervorrufen können.

Die Zuordnung von Anforderungen zu Elementen der primären Wissensstruktur erfordert eine *Verständlichkeit* aller Elemente. Im Bereich der Strategie bedeutet dies vor allem, dass ein Element soweit verständlich ist, dass entsprechende Anforderungen zugeordnet werden können. Eine Verständlichkeit aller Abhängigkeiten innerhalb der Unternehmensstrategie ist nicht notwendig. Probleme dienen zur Unterstützung eines Sachverhaltes und es kann eine

erhöhte Bereitschaft zur thematischen Auseinandersetzung des Empfängers angenommen werden.

Gültigkeit und *Aktualität* sind im Besonderen für Anforderungen und Strategien relevant, da eine Ausrichtung auf eine veraltete Strategie ein suboptimales Produkt aus Unternehmensperspektive erzeugt. Probleme hingegen können auch noch einen Mehrwert liefern, wenn sie bereits behoben wurden. Veraltete Probleme dienen dazu, dass ein Produktdesign, welches dieses Problem bedingt hat, in Zukunft nicht wieder gewählt wird.

Realisierbarkeit muss an dieser Stelle weniger im Sinne einer Umsetzbarkeit der Anforderung als vielmehr als Beitrag zur Strategie verstanden werden. Eine Bewertung der Realisierbarkeit durch ein Produktkonzept obliegt der SE-Team-Arbeit und ist nicht in der Anforderung enthalten. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieses Konzeptes der Umsetzbarkeit bewusst keine Bedeutung beigemessen. Die grundsätzliche Frage, ob eine Anforderung hilft, eine Strategie zu erreichen, liegt daher im Betrachtungsbereich. Die Frage, ob eine technische Lösung existiert, welche diese Anforderung erfüllt, wird nicht betrachtet.

Notwendigkeit und *Bewertbarkeit* können im produktionsseitigen Anforderungsmanagement nicht bezogen auf eine Anforderung ermittelt werden, da Anforderungen an sich keine direkte Verbesserung herbeiführen können. Über die Verknüpfung zur Strategie hingegen lässt sich die Notwendigkeit erkennen. Über den Beitrag zu einer Strategie und deren Wichtigkeit kann eine indirekte Bewertung erzeugt werden. Grundlage hierfür bildet eine detailliert bewertete Strategie.

Das grundlegende Prinzip des primären Informationsmodells basiert auf der Argumentation für eine Anforderung über die ihr zugeordneten Elemente. Daher ist eine *Nachverfolgbarkeit* sowohl bezüglich Herkunft als auch Veränderung und Status für jedes Element nötig. Zusätzlich wird diese Forderung durch die dezentrale Aufnahme und die Verwendung im Rahmen des interdisziplinären Entwicklungsprozesses unterstützt.

Normalisierung, *Vollständigkeit* und *Konsistenz* stehen im engen Zusammenhang zueinander und im Bezug zur Gesamtheit der Anforderungen. *Normalisierung* drückt in diesem Kontext die Abgeschlossenheit einer Anforderung gegenüber anderen Anforderungen der Gesamtheit aus. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass eine Anforderung keine Überlappung mit einer weiteren aufweist und alle Anforderungsinhalte atomar beschrieben sind. Die Forderung der *Konsistenz* bedingt, dass Anforderungen sich nicht gegenseitig widersprechen und somit, bezogen auf diese Anforderungen, einen leeren Lösungsraum erzeugen. Dies gilt uneingeschränkt für Anforderungen, betrifft die Artefaktklasse Strategie jedoch in ähnlichem Ausmaß. Vor allem im Bereich der Strategie können aber aktiv Alternativen erzeugt werden, welche sich inhaltlich widersprechen. Es ist über eine geeignete Verknüpfung mit Anforderungen sicherzustellen,

dass mindestens eine der Alternativen bei Einhaltung der Anforderungen erreicht werden kann. Besonderes Augenmerk muss auf Anforderungen gelegt werden, welche lediglich mit Problemen verknüpft sind. Hierbei kann es bei unvollständiger Anwendung des Vorgehens dazu kommen, dass eine mit einem Problem verbundene Anforderung erfüllt wird und im gleichen Zuge damit eine Strategie verdrängt wird. Dieser Fall kann allerdings bei konsequenter Umsetzung der Forderung, dass eine Strategie ausreichend mit Anforderungen abgesichert sein muss, nicht eintreten. Ein Widerspruch wird damit bereits auf Ebene der Anforderungen erkennbar. Im Rahmen des primären Informationsmodells ist es daher wichtig, sowohl *Konsistenz* zu teilen, aber auch *Normalisierung* entlang der gesamten Argumentationskette zu evaluieren und sicherzustellen, dass sich für alle Situationen eine theoretische Möglichkeit der Erfüllung ergibt. Tabelle 4.7 zeigt die Qualitätsfragen⁵⁰ für die Artefaktklasse *Anforderung*.

Die o. g. Qualitätsfragen beziehen sich auf eine Instanz der Artefaktklasse und können für diese beantwortet werden. Dies ist vor dem Hintergrund der dezentralen Bearbeitung von besonderer Wichtigkeit. Die Eigenschaften eines Anforderungsdokuments werden nicht durch zusätzliche Qualitätsfragen abgesichert, sondern durch das Konzept an sich sichergestellt. Die Forderung nach einer *klaren Struktur* wird durch die durchgehende Verwendung des primären Wissensmodells erfüllt und der Bezug zu bereits im Unternehmen existierenden Strukturen wie der Produktionsstrategie sichergestellt. *Modifizierbarkeit* und *Erweiterbarkeit* werden über die flexible Baumstruktur der Wissensstrukturen sowie den Prozess und das Statussystem verankert.

Die Gesamtheit aller Anforderungen muss nach Abschnitt 2.3.3 die Vorgabe der *Vollständigkeit* erfüllen. Aufgrund der Dezentralität von Aufnahme und Dokumentation kann diese nicht durch den Ersteller ermittelt werden. Durch die Forderung, dass jede Strategie sowie jedes Problem durch Anforderungen belegt und im Rahmen der primären Informationsstruktur damit systemseitig verknüpft ist, ergibt sich eine untere Schranke. Grundsätzlich kann aber nicht garantiert werden, dass die gestellten Anforderungen ausreichen, um eine Realisierung der Strategie bzw. die Lösung eines Problems herbeizuführen. Vor dem Hintergrund sich entwickelnder Lösungsalternativen erscheint es im Sinne des SE als nicht möglich, alle Auswirkungen auf die Produktion durch lösungsneutrale Anforderungen abzusichern. Nach ROBERTSON & ROBERTSON (2013, S. 30) ist eine Durchführung eines AM auch ohne diese Vollständigkeit möglich und sinnvoll.

⁵⁰ Es ist zu beachten, dass die Fragen in einer Form gestaltet sind, dass die Erfüllung bestätigt werden kann. Im strengen Sinne stellen diese Frage eine Aussage in Kombination mit einer Frage nach der Bestätigung dieser dar. Im Kontext dieser Arbeit wird bewusst die Bezeichnung *Qualitätsfrage* für die zu bestätigende Aussage verwendet.

Tabelle 4.7: Qualitätsfragen für die Artefaktklasse *Anforderung*

Feld	Frage
	Es handelt sich um eine Anforderung, also weder um eine Strategie, noch um ein Problem.
	Die Anforderung ist aktuell gültig.
	Die Anforderung wiederholt nichts, was bereits von Normen oder Richtlinien abgedeckt wird.
	Es handelt sich um eine produktionsseitige Anforderung. Kein Endkundenwunsch wird wiedergegeben.
	Die Anforderung betrifft die Produktentwicklung/Konstruktion.
Messwert	Ein Messwert ist angegeben.
Messverfahren	Das vorgegebene Messverfahren macht die Anforderung überprüfbar bei reproduzierbaren Ergebnissen.
Name	Der Name ist knapp gehalten und umfasst maximal 70 Zeichen.
Name	Der Name kann von anderen Anforderungen unterschieden werden.
Beschreibung	Die Anforderung ist nachvollziehbar, also sinnvoll begründet und auf Probleme oder Strategien zurückzuführen.
Beschreibung	Die Beschreibung umfasst die Anforderung vollständig.
Beschreibung	Weder die Formulierung noch einzelne Wörter sind mehrdeutig.
Beschreibung	Die Formulierung ist genau und kann nicht präzisiert werden.
Beschreibung	Die Beschreibung ist auch für produktionsfremde Mitarbeiter verständlich.
Beschreibung	Die Beschreibung stellt einen isolierten Sachverhalt dar. Die Anforderung lässt sich nicht in einzelne, sachlich trennbare Anforderungen unterteilen.
Beschreibung	Es gibt innerhalb der Anforderung keine Widersprüche.
Beschreibung	Die Beschreibung ist lösungsneutral. Eine technische Umsetzung wird nicht vorgegeben.
Zielobjekte	Alle relevanten Zielobjekte sind zugeordnet (Produkt / Prozess / Verfahren / Betriebsmittel / Organisation).
Zielobjekte	Die Zielobjekte sind hierarchisch so präzise wie möglich ausgewählt.
Probleme	Die Anforderung ist mit mindestens einer Strategie verknüpft. Probleme sind, soweit vorhanden, angefügt.
Dateien	Alle zur Vollständigkeit und Verständlichkeit erforderlichen Dateien sind angehängt. Insbesondere Bilder unterstützen die Verständlichkeit.
Dateien	Die Dateien weisen Bezug zu Beschreibung und Ursache auf.
Dateien	Die Bilder sind eindeutig markiert, beschriftet und gut verständlich.

Verfolgbarkeit und *Aktualität* werden primär durch die Implementierung sichergestellt, indem Änderungen an der Anforderungsspezifikation nachvollziehbar dokumentiert werden. Die Aktualität wird zusätzlich durch das Statussystem unterstützt. *Zugreifbarkeit* und *Projizierbarkeit* werden durch das Rechtesystem im Sinne der Eingabe unterstützt, welches eine parallele Nutzung ermöglicht. Die Zugreifbarkeit aus dem PEP heraus wird über die Definition der Produktsicht innerhalb der sekundären Wissensstruktur sichergestellt. *Projizierbarkeit* für verschiedene Stakeholder bildet die Grundlage für die Entwicklung des sekundären Wissensmodells und wird daher direkt durch dieses erfüllt. Durch die Verknüpfung aller Elemente der primären Wissensstruktur und die damit erzeugte Referenz auf die Produktionsstrategie ist eine *Relevanz* aller Inhalte sichergestellt. Eine Besonderheit bilden *Eindeutigkeit* und *Konsistenz*, da diese durch die Frage auf Instanzebene sichergestellt werden. Wenn jede Instanz zu allen anderen konsistent ist, so muss dies auch für die Gesamtheit gelten.

Mit der zuletzt genannten Ausnahme werden alle Eigenschaften an die Anforderungsspezifikation durch das Konzept an sich sichergestellt und bedürfen keiner zusätzlichen Qualitätsfragen.

4.4 Statussystem

Die gezielte Verwaltung der Artefakte der primären Wissensstruktur erfordert eine individuelle Zustandsdefinition für jedes Artefakt. Damit weist das entwickelte Konzept einen Unterschied zum klassischen Vorgehen auf, indem ein singulärer Prozess mit der Gesamtheit aller Anforderungen betrachtet wird. Allerdings lassen sich nur so die Forderungen nach dezentraler Bearbeitung und quasikontinuierlicher Änderungen erfüllen. Dies wird mit Hilfe eines sog. Statussystems als integralen Bestandteil des Gesamtkonzeptes realisiert. Die unterschiedlichen Status bilden die Grundlage für die Zuweisung von entsprechenden Rechten und Rollen im folgenden Abschnitt. Gleichzeitig erlaubt ein Statussystem die simultane Berücksichtigung von Wissensartefakten mit unterschiedlichen Erfüllungsgraden der Qualitätsanforderungen in nur einer Wissensbasis und die gezielte Generierung einer verbindlichen Anforderungsspezifikation anhand einer Teilmenge dieser. Im Folgenden sollen die definierten Status kurz vorgestellt werden. Abbildung 4.11 zeigt die möglichen Übergänge zwischen diesen. Der Status *Gelöscht* kann von jedem Ausgangszustand erreicht werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die entsprechende Darstellung innerhalb der Grafik verzichtet.

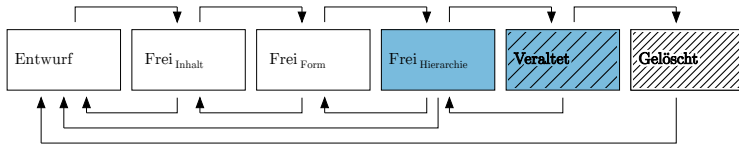


Abb. 4.11: Darstellung der möglichen Statusübergänge von Wissensartefakten

4.4.1 Status *Entwurf*

Jedes Wissensselement beginnt zunächst mit diesem Status. Hiermit verbunden sind noch keine Anforderungen bezüglich der Erfüllung von Qualitätskriterien. Gleichzeitig stellen diese Elemente in keiner Weise eine verbindliche Grundlage für die Verwendung in Entwicklungsprozessen dar, sondern sind primär für die Erstellung der Wissensbasis durch den Autor dieses Elementes vorhanden. Sowohl Inhalt als auch Form können unvollständig vorliegen. Von diesem Status kann ein Übergang zu *Frei_{Inhalt}* oder *Gelöscht* erfolgen.

4.4.2 Status *Frei_{Inhalt}*

Alle inhaltlichen Aspekte des Wissensselements, inklusive der Verknüpfungen zu sekundären Wissensstrukturen, sind vorhanden. Es ist noch keine Absicherung nach formalen Kriterien erfolgt. Elemente mit diesem Status können ggf. im Widerspruch zu anderen Elementen mit gleichem Status stehen und sind damit offiziell noch nicht Teil der Anforderungsspezifikation. Von diesem Status kann ein Übergang zu *Entwurf*, *Frei_{Form}* oder *Gelöscht* erfolgen.

4.4.3 Status *Frei_{Form}*

Sämtliche Qualitätskriterien wurden überprüft und sind erfüllt. Das einzelne Element ist damit in sich geschlossen und widerspricht keinem Element, welches den Status *Frei_{Hierarchie}* aufweist. Widersprüche zu Elementen mit niedrigerem Zustand sind ggf. möglich, bspw. bei einer Änderung der Produktionsstrategie. Diese Elemente sind ebenfalls nicht Teil der Anforderungsspezifikation, können aber bereits als Vorabinformation durch die SE-Teams genutzt werden. Sie weisen keinerlei Verbindlichkeit auf. Von diesem Status kann ein Übergang zu *Frei_{Inhalt}*, *Frei_{Hierarchie}* oder *Gelöscht* erfolgen.

4.4.4 Status *FreiHierarchie*

Diese Elemente erfüllen alle Kriterien und wurden als offizieller Teil der Anforderungsspezifikation aufgenommen. Sie weisen einen verbindlichen Charakter für die Berücksichtigung innerhalb der SE-Teams auf. Änderungen führen zu einem Übergang in den Status *Entwurf*. Ein Entfernen aus der aktiven Anforderungsspezifikation führt zu einem Übergang in den Status *Gelöscht*.

4.4.5 Status *Veraltet*

Elemente in diesem Status weisen gleiche Eigenschaften wie die im Status *FreiHierarchie* auf. Allerdings wurden sie bereits über einen längeren Zeitraum nicht mehr aktualisiert. Ausgehend von einem idealisierten Zustand, in dem jegliche Änderung der Randbedingungen der Produktion zu einer Dokumentation in Form einer Änderung der Anforderungsspezifikation führt, wäre dieser Zustand nicht notwendig. Da aber von einer Situation auszugehen ist, in der bspw. personelle Veränderungen innerhalb der Organisation dazu führen, dass Wissensartefakte bestehen bleiben, ohne dass der Grund hierfür weiterhin Bestand hat, ist dieser Status erforderlich. Verbleibt ein Artefakt länger als ein gewisser zeitlicher Grenzwert in diesem Status, so erfolgt ein automatischer Übergang in den Status *Gelöscht*. Erfolgt hingegen eine aktive Bestätigung, dass das Element noch Gültigkeit besitzt, so kann ein Übergang zurück in den Status *FreiHierarchie* erfolgen. Jegliche Änderung führt zu einem Übergang in den Status *Entwurf*. Bis zu einem Statuswechsel bleiben sie Teil der verbindlichen Anforderungsspezifikation.

4.4.6 Status *Gelöscht*

Eine vollständige Entfernung von Artefakten aus der Wissensbasis erfolgt nicht. Elemente mit diesem Status weisen keinerlei Verbindlichkeit auf und können, je nach vorherigem Status, unterschiedliche Qualitätsanforderungen erfüllen. Gleichzeitig können sie aber als Basis für neuere Artefakte dienen und somit einen Übergang zum Status *Entwurf* vollziehen.

4.5 Rollen und Rechte

Aufgrund der besonderen Eigenschaften produktionsseitiger Anforderungen (vgl. Abschnitt 3.2) und der damit verbundenen dezentralen Bearbeitung der Inhalte bedarf es einer klaren Rollendefinition zur Durchführung des Anforderungsmanagements. Die in diesem Abschnitt definierten Rollen beschreiben die Aufgaben des Rollenträgers, sollen aber keine Vorgabe bezüglich der Besetzung

bzw. organisatorischen Einordnung geben. Rollen stehen immer im Kontext eines konkreten Wissenselements, Rechte hingegen bilden die Voraussetzung für die Zuweisung eines Nutzers zu einer Rolle sowie für gewisse Änderungen am Prozessablauf ohne verbundene Rolle.

4.5.1 Verantwortlicher (Inhalt) (V_{In})

Der inhaltliche Bearbeiter ist verantwortlich für das Wissensartefakt und dient als Ansprechpartner bei allen Rückfragen bezüglich des Inhalts. Es ist die Aufgabe dieses Rollenträgers, alle Eigenschaften zu instanzieren und die Qualität der Eingabe mit Hilfe des Selbstaudits zu bestätigen (vgl. Abschnitt 4.3). Grundsätzlich ist der Ersteller eines Wissensartefaktes zunächst inhaltlich hierfür verantwortlich, kann aber die Rolle weiter- und damit abgeben. Für den Rollenträger ist ein tiefgreifendes inhaltliches Verständnis Voraussetzung für eine erfolgreiche Ausübung. Für die Zuweisung eines Nutzers zur Rolle wird das Recht „Anforderungssteller“ benötigt.

4.5.2 Verantwortlicher (Form) (V_{Fm})

Im Rahmen des Qualitätssicherungsprozesses ist eine Fremdauditierung der Wissensartefakte vorgesehen. Der Bearbeiter, der für die Richtigkeit der Form verantwortlich ist, übernimmt Artefakte, für die bereits ein Selbstaudit durchgeführt wurde und überprüft die Wissensfragen auf richtige Beantwortung. Sind die Qualitätsanforderungen nicht erfüllt, so können geringfügige Anpassungen direkt durchgeführt oder das Wissensartefakt wieder an den inhaltlichen Bearbeiter übergeben werden. Diese Rolle hat somit die Aufgabe, die Qualität und damit die Verständlichkeit für die weitere Verwendung sicherzustellen. Hierfür bedarf es eines umfassenden Verständnisses bezüglich der Gesamtmethodik sowie der Nutzung der Artefakte in allen betroffenen Unternehmensbereichen. Für die Zuweisung eines Nutzers zur Rolle wird das gleichnamige Recht benötigt.

4.5.3 Freigabegremium (F_{Gr})

Der Rolle der freigebenden Instanz kommt für eine effiziente Nutzung des Konzepts eine entscheidende Bedeutung zu. Anforderungen und über die primäre Struktur damit verknüpfte Artefakte finden im Rahmen des SE-Prozesses Verwendung durch die SE-Teams. Die Berücksichtigung von produktionsseitigen Anforderungen kann hierbei gravierende Auswirkungen sowohl auf die Produkt- als auch auf die Produktionsgestaltung haben. Diese Auswirkungen lassen sich nur dann durch einen Mitarbeiter im SE-Team rechtfertigen, wenn sie von einer adäquaten Hierarchieebene freigegeben sind. Die artefaktbezogene, individuelle

Freigabe bringt gegenüber der klassischen Gesamtfreigabe eines Lastenhefts Vorteile, indem ein einzelner fach- und zeitbezogener Prozess durchlaufen werden kann. Gleichzeitig lassen sich aber auch Wissensartefakte sammeln und durch den Rollenträger als Gruppe freigeben. Dies ist besonders dann hilfreich, wenn eine Freigabe durch ein Gremium erfolgen soll.

4.5.4 Rechte

Während Rollen erst in Verbindung mit einem konkreten Wissensartefakt instanziiert werden, bilden Rechte die Grundlage, um zum einen Rollen einzunehmen, zum anderen aber auch Veränderungen an Eigenschaften des Wissensobjektes durchzuführen, ohne dabei im konkreten Bezug zum Objekt zu stehen.

Das Recht *Anforderungssteller* ermöglicht die Zuweisung zur Rolle inhaltlich Verantwortlicher. Darüber hinaus sind mit diesem Recht keine weiteren Eingriffsmöglichkeiten verbunden. Es handelt sich dabei um die Person, welche die Anforderung inhaltlich trägt.

Personen, denen das Recht *Anforderungsingenieur* zugewiesen ist, können die Rolle des formalen Verantwortlichen einnehmen. Die Rolle kann entweder bereits in vorherigen Schritten zugeordnet oder aber durch jeden Anforderungsingenieur auf sich selbst gesetzt werden. Diese Rechtedefinition ist für einen reibungsfreien Ablauf unerlässlich, da so eine selbstständige Zuweisung von Auditoren zu Themen bzw. eine aktive Übernahme von einem Auditor zu einem anderen möglich ist.

Darüber hinaus existieren weitere, systembezogene Rechte, welche bspw. das Ändern oder Hinzufügen von Nutzern oder aber die Anpassung der Systemkonfiguration steuern. Da diese Rechte für die Steuerung des Anforderungsmanagements inhaltlich nicht relevant sind, werden diese im Rahmen der Darstellung des entwickelten Softwareprototyps in Kapitel 6.2 beschrieben.

4.5.5 Status- und rollenabhängige Rechte auf Eigenschaftsebene

Die Möglichkeiten zur Anzeige sowie Modifikation von Eigenschaften der Wissensartefakte basiert auf einer Kombination der Rollen- sowie direkten Rechte und des aktuellen Status. So ist eine Veränderung des Namens für den inhaltlich Verantwortlichen möglich, bis das Artefakt in den Status *inhaltlich freigegeben* geändert wird. Da dieser Status die Fremdauditierung initiiert, dürfen Änderungen lediglich durch den *formal Verantwortlichen* durchgeführt werden. Im Folgenden sind für jede Artefaktklasse die Rechte dargestellt. Zur Erhöhung der Lesbarkeit sind lediglich die Rollen bzw. Rechte aufgeführt, welche Änderungs- bzw. Anzeigemöglichkeiten induzieren.

Tabelle 4.8 zeigt die Schreibrechte für die Eigenschaften der Artefaktklasse „Strategieelement“.

Tabelle 4.8: Feldrechte für die Artefaktklasse „Strategieelement“

Feld	<i>Entwurf</i>	<i>FreiInhalt</i>	<i>FreiForm</i>	<i>FreiHierarchie</i>
Name	V _{In}	V _{Fm}	-	-
Nummer	V _{In}	V _{Fm}	-	-
Beschreibung	V _{In}	V _{Fm}	-	-
Anforderungen	V _{In}	V _{Fm}	-	-
Dateien	V _{In}	V _{Fm}	-	-
Status	V _{In}	V _{Fm}	F _{Gr}	F _{Gr}
Bearbeiter (Inhalt)	V _{In}	V _{Fm}	-	-
Bearbeiter (Form)	V _{In}	V _{Fm}	-	-
Freigabe	-	V _{Fm}	F _{Gr}	-

Der inhaltlich Verantwortliche (V_{In}) kann alle Eigenschaften ändern, solange der Zustand noch *Entwurf* beträgt. Die einzige Ausnahme hiervon stellt die Eigenschaft *Freigabe* dar. Prozessbedingt ist in diesem Status eine Zuweisung zu einem Freigabegremium noch nicht zielführend, da mit Überarbeitungsiterationen zu rechnen ist. Zusätzlich obliegt die Zusammenfassung verschiedener Wissensartefakte zu Freigabepaketen den Zentralverantwortlichen. Sind die Inhalte freigegeben, erhält die Rolle V_{In} Änderungsmöglichkeiten auf alle Eigenschaften. Die bereits vorgestellte Ausnahme der zusätzlichen Änderungsmöglichkeit durch Benutzer mit dem Recht *Anforderungsingenieur* erlaubt in diesem Schritt eine Änderung des formalen Verantwortlichen. Sobald der Status *FreiInhalt* erreicht ist, werden alle Felder mit Ausnahme des Status sowie des Freigabegremiums gesperrt und können nicht mehr editiert werden. Somit ist es möglich, das Wissensartefakt einem anderen Gremium zuzuweisen (bspw. falls die Tagung eines Gremiums entfällt) sowie das Wissensartefakt freizugeben. Ist eine vollständige Freigabe durch den Status *FreiForm* erfolgt, so lässt sich lediglich der Status ändern. Eine detaillierte Erklärung zu zugelassenen Statusänderungen finden sich in Abschnitt 4.4. Analoge Übersichten für die Klassen *Anforderungselement* und *Problemelement* finden sich in Tabelle 8.1 bzw. Tabelle 8.2 im Anhang.

4.6 Ähnlichkeitsmodell

Eine vollständige Aufzählung aller zu ermittelnden produktionsseitigen Anforderungen lässt sich in der industriellen Praxis nicht erbringen, da eine weitere

Detaillierung sowohl auf Seiten der Produktionsstrategie als auch in allen Hilfsstrukturen immer möglich ist. Aus diesem Grund ist es notwendig, dem Nutzer des Systems Hilfestellungen bei der Definition von Anforderungen zur Verfügung zu stellen. Während sich das in Abschnitt 4.3 vorgestellte Konzept primär auf die Erstellung und Verbesserung von bereits identifizierten Anforderungen bezieht, stellt dieser Abschnitt die Grundlage für die systematische Analyse von Ähnlichkeiten zwischen Anforderungen bereit, um so mögliche Bedarfe für neue Anforderungen zu erkennen. Wird bspw. eine Anforderung erstellt, welche die automatisierte Schweißbarkeit eines Bauteils gewährleisten soll, so ist zu erwarten, dass ähnliche Anforderungen für weitere Bauteile existieren. Das entwickelte Konzept nutzt hierbei bereits bekannte Ähnlichkeiten zwischen Elementen der Hilfsstrukturen aus, um neue Ähnlichkeiten vorzuschlagen. Im Zentrum steht daher ein Modell zur Abbildung der Ähnlichkeiten von Anforderungen im Bezug auf deren Verknüpfungen sowie deren Inhalt. Obwohl die Bewertung der Ähnlichkeit die Grundlage hierfür darstellt, ist die gezielte Identifikation von Unterschieden notwendig, um neue Anforderungsbereiche zu erschließen.

Es existieren hierfür drei Typen von ähnlichkeitsbildenden Eigenschaften. *Primäre Eigenschaften* stellen die systematisch auswertbaren Verknüpfungen zwischen Hilfsstrukturen in der einen Dimension sowie Verknüpfungen zu Problemen und Strategien in der anderen dar. Aufgrund der ausgeprägten, formalisierten Struktur lassen sich diese gut auswerten. *Sekundäre Eigenschaften* beziehen sich auf Inhalte der Anforderungen, die über ihre Eigenschaften wie Beschreibung oder sonstige freie Felder definiert werden, aber im klaren Zusammenhang zum Inhalt stehen. Je nach Implementierung (vgl. Abschnitt 4.2) weisen sie allerdings nur eine geringe Formalisierung auf und müssen daher erweitert behandelt werden. *Tertiäre Eigenschaften* beziehen sich auf den Prozess der Erstellung, wie bspw. den verantwortlichen Nutzer oder das Datum der Änderung. Sie sind wiederum hoch formalisiert, stehen aber zunächst nicht in einem direkten Zusammenhang zum Inhalt, sodass ein weiterer Schritt der Ableitung nötig ist, um sie für die Verwendung der inhaltlichen Ähnlichkeit zu nutzen.

4.6.1 Primäre Eigenschaften

Die primären Eigenschaften teilen sich in zwei Dimensionen, zum einen in die der Hauptstruktur und zum anderen in die der Hilfsstrukturen. Beide Strukturen entsprechen einer Baumstruktur⁵¹. Somit lassen sich grundsätzliche

⁵¹ Die Struktur der Probleme ist hierarchisch mit nur einer Ebene aufgebaut, folgt aber den grundlegenden Regeln der Bewertung von Baumstrukturen.

Ähnlichkeiten mit Hilfe der Abstände zwischen Knoten beschreiben.

Mathematisch lassen sich alle Strukturen als gerichtete Wurzelbäume $(G=(V,E))$ mit $|V|=n$ Knoten und $|E|=m$ Kanten darstellen. Knoten ω mit dem Eingangsgrad 0 wird als Wurzel bezeichnet.

$$\exists p|e(p,k) \quad k \in V, p \in V/\{\omega\}, e \in E \quad (4.1)$$

Jeder andere Knoten k besitzt einen Elternknoten p welcher über eine Kante e verbunden ist. Die Kante e liegt immer auf dem Pfad zwischen k und ω . Für zwei beliebige Knoten $k_1, k_2 \in V/\{\omega\}$ muss aufgrund der Definition als Baum ein gemeinsamer Elternknoten existieren, der auf einer Folge F zwischen dem Knoten und der Wurzel liegt.

$$\begin{aligned} & \exists p, F_1, F_2 | \\ & F_1(\{k_1, k_{n-1}\} \dots \{k_{n-1}, k_n\} \{k_n, p\}), \\ & F_2(\{k_2, k_{m-1}\} \dots \{k_{m-1}, k_m\} \{k_m, p\}) \\ & k \in V, p \in V/\{\omega\} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Die Anzahl s der Verbindungen in der Folge F beschreibt in diesem ungerichteten Baum die Länge der Folge bzw. den Abstand zwischen dem Knoten k und dem gemeinsamen Elternknoten p . Die Verbindung zwischen zwei Knoten setzt sich aus $s = s_u + s_d$ mit $s_u = s(F_{k_1,p})$ und $s_d = s(F_{p,k_2})$ zusammen. Abbildung 4.12 zeigt diese Folgen anhand eines Beispielbaums. Die Verbindung zwischen Knoten k_1 (Element 1.1.2) und Knoten k_2 (Element 1.2) verläuft über den gemeinsamen Elternknoten p (Element 1). Die Gesamtanzahl der Verbindungen setzt sich aus $s_u = s(F_{k_1,p}) = 2$ und $s_d = s(F_{p,k_2}) = 1$ zusammen.

Die Ähnlichkeit zwischen zwei Knoten innerhalb einer beliebigen Baumstruktur lässt sich damit als Δ_a mit Formel 4.3 definieren.

$$\Delta_a = \frac{1}{1 + s(F_{k_1,p}) + s(F_{p,k_2})} \quad (4.3)$$

Hierbei stellt eine Ähnlichkeit von 1 eine vollständige Übereinstimmung der beiden Knoten dar. Dieses Ähnlichkeitsmaß berücksichtigt allerdings nur den reinen Abstand im Baum und gibt keine Auskunft über die hierarchische Position innerhalb der Struktur. Im Rahmen der Produktstruktur können beispielsweise die Elemente Fahrerhaus und Rahmen eine maximale Entfernung bezogen auf das Ähnlichkeitsmaß Δ_a aufweisen, da sie als ersten gemeinsamen Knoten die Wurzel, also das Gesamtfahrzeug, aufweisen. Gleichzeitig stellen sie aber Elemente der gleichen Strukturebene dar. Um diese Eigenschaft ausreichend

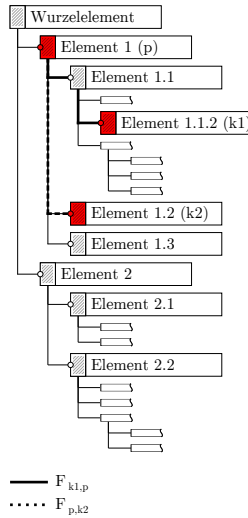


Abb. 4.12: Folgen $F_{k_1,p}$ und F_{p,k_2}

berücksichtigen zu können, bedarf es eines zweiten Ähnlichkeitsmaßes, der Hierarchieähnlichkeit Δ_h (Formel 4.5). Dieses beschreibt die absolute Entfernung eines Knotens zu seinem gemeinsamen Elternknoten abzüglich der Entfernung des zweiten Knotens zum gemeinsamen Elternknoten. In Abbildung 4.12 lässt sich dieser Zusammenhang anhand der Bezeichnung der Knoten erkennen. Knoten k_1 weist einen Abstand von zwei Segmenten zum Elternknoten auf. Knoten k_2 befindet sich auf der Ebene direkt unter dem Elternknoten und weist daher einen Abstand von eins auf.

$$\Delta_h = \frac{1}{1 + abs(s_{k_1,p} - s_{k_2,p})} \quad (4.4)$$

Die Kombination aus beiden Ähnlichkeitsmaßen zum Strukturähnlichkeitsmaß Δ_s erfolgt nach Formel 4.5.

$$\Delta_s = \frac{\Delta_h + \Delta_a}{2} \quad (4.5)$$

Mit Hilfe dieser zwei Ähnlichkeitsmaße lassen sich zwei Knoten in jeder Baumstruktur vergleichen.

4.6.2 Sekundäre Eigenschaften

Im Rahmen dieser Betrachtung stehen vor allem Eigenschaften mit quasi freiem Wertebereich im Fokus. Zu diesen zählen Freitexteigenschaften, aber auch Eigenschaften mit numerischen Werten.

Zum Vergleich der Ähnlichkeit von Texten existieren in der Literatur komplexe Ansätze (FOLTZ ET AL. 1998; CORLEY & MIHALCEA 2005; ZHANG ET AL. 2014). Für eine Anwendung innerhalb des Gesamtkonzeptes für produktionsseitige Anforderungen kann allerdings ein einfacher Ansatz verwendet werden, da die grundlegenden Ähnlichkeiten sich über die formalisierte Struktur ableiten lassen, und sekundäre Eigenschaften der Detaillierung dienen.

Für jede Eigenschaft zweier Wissensartefakte lässt sich die Ähnlichkeit über die Schnittmenge der in beiden Instanzen vorkommenden Wörter abbilden. Es ist hierbei empfehlenswert, eine untere Schranke bezogen auf die Wortlänge zu wählen, da mit steigender Wortlänge von Fachwörtern und damit von einer größer werdenden Konkretisierung auszugehen ist. Um eine Normierung im Wertebereich zwischen null und eins sicherzustellen, wird die so ermittelte Anzahl durch die maximal betrachtete Anzahl an Wörtern der beiden Instanzen dividiert.

$$\Delta_{ft} = \frac{|W_1 \cap W_2|}{\max(|W_1|, |W_2|)} \quad (4.6)$$

Hier stellen W_1 bzw. W_2 die Menge aller unterschiedlichen Wörter der Wissensartefakte, für welche die Anzahl der Buchstaben den Grenzwert überschreitet, dar.

Eigenschaften mit numerischen Inhalten lassen sich vergleichen, indem die Differenz in Relation zur maximalen Ausprägung der Eigenschaft gesetzt wird. Um eine konforme Normierung zu gewährleisten, muss der erzeugte Wert von 1 subtrahiert werden. E_1 und E_2 stellen jeweils die numerische Eigenschaft der zwei Wissensartefakte dar.

$$\Delta_n = 1 - \frac{|E_1 - E_2|}{E_{max} - E_{min}} \quad (4.7)$$

4.6.2.1 Tertiäre Eigenschaften

Tertiäre Eigenschaften stellen Informationen über den Erstellungsprozess bereit. Aufgrund ihrer starken Strukturierung finden sich primär numerische Repräsentationen für beispielsweise Prozessfortschritte Δ_p oder Identifikationsnummern

für Benutzer. Eine weitere Sonderform stellen in diesem Zusammenhang die Zeitstempel der Veränderungen an Wissensartefakten dar.

Ähnlichkeiten für Benutzer lässt sich über die Funktion innerhalb des Unternehmens abbilden. Da diese tiefgreifende Betrachtung nicht im Fokus dieser Arbeit steht, wird ein vereinfachtes Maß Δ_u angenommen. Die Funktion liefert einen Wert von eins, falls es sich um denselben Nutzer handelt und null falls nicht.

Zeitstempel lassen sich analog zur Betrachtung numerischer Sekundäreigenschaften berücksichtigen. Bezüglich der Minimal- und Maximalgrenzen ist eine Normierung auf einen Zeitraum von 5 Jahren als sinnvoll anzusehen. Um eine Verletzung des Wertebereiches auch bei großen Zeitunterschieden verhindern zu können, müssen alle größeren Abweichungen einem Funktionswert von null zugeordnet werden.

$$\Delta_t = 1 - \min\left(\frac{|T_1 - T_2|}{5 \text{ Jahre}}, 1\right) \quad (4.8)$$

T_1 und T_2 stellen in Formel 4.8 die Zeitstempel der betrachteten Eigenschaft der zwei Wissensartefakte dar.

4.6.3 Gesamtmodell

Nachdem in dem vorangegangenen Abschnitt Berechnungsvorschriften für Ähnlichkeiten aller Eigenschaften der drei Bereiche definiert wurden, ist es Ziel dieses Abschnitts, ein kombiniertes Ähnlichkeitsmaß vorzustellen, welches es erlaubt, von bereits definierten Eigenschaften Vorschläge für Werte für noch nicht definierte Eigenschaften abzuleiten. Hierzu werden Wissensartefakte gesucht, welche bereits eine hohe Ähnlichkeit für eine hohe Anzahl an Eigenschaften aufweisen. Für verbleibende Artefakte werden in Abhängigkeit von den bereits ähnlichen weitere Eigenschaften zur Übernahme vorgeschlagen oder aber Werte mit einer starken Unterscheidung ausgewählt.

Im ersten Schritt müssen aus allen Wissensartefakten der entsprechenden Klassen potentielle Kandidaten für eine Eigenschaftsübertragung ausgewählt werden. Hierzu kommt ein kombiniertes Ähnlichkeitsmaß Δ_g zum Einsatz, welches die Mittelwerte der Abstände für alle Elemente der entsprechende Klassen summiert. $|E_{\text{prim.}}|$ stellt hierbei die Summe der primären Eigenschaften, $|E_{\text{sek.}}|$ der sekundären und $|E_{\text{tert.}}|$ der tertiären Eigenschaften dar.

$$\Delta_g = \frac{\overbrace{\sum \Delta_s}^{\text{prim. Eigenschaften}}}{|E_{\text{prim.}}|} + \frac{\overbrace{\sum \Delta_{ft} + \sum \Delta_n}^{\text{sek. Eigenschaften}}}{|E_{\text{sek.}}|} + \frac{\overbrace{\sum \Delta_u + \sum \Delta_p + \sum \Delta_t}^{\text{tert. Eigenschaften}}}{|E_{\text{tert.}}|} \quad (4.9)$$

Es ist wichtig zu beachten, dass lediglich Vorschläge für primäre Eigenschaften erstellt und, aufbauend auf der geringen Strukturiertheit der sekundären Eigenschaften, Hinweise für diese dargestellt werden können.

Mit Hilfe des Ähnlichkeitsmaßes Δ_g lässt sich für jede weitere, definierte Eigenschaft eine priorisierte Liste aller Wissensartefakte der Klasse erzeugen. Grundsätzlich ist eine sinnvolle Nutzung erst möglich, wenn eine ausreichend hohe Anzahl an Eigenschaften bereits definiert wurde. Praktische Untersuchungen im Rahmen der prototypischen Umsetzung dieser Arbeit haben gezeigt, dass bereits die bei der Erstellung des Wissensartefaktes vorliegenden tertiären Eigenschaften eine gute Grundlage für Empfehlungen darstellen. Aufbauend auf der Identifikation über den Nutzer konnten bereits deutliche Übernahmequoten für die Auswahl der primären Strukturen beobachtet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein Nutzer beispielsweise für einen Prozessbereich verantwortlich ist und in diesem ähnliche Betriebsmittel vorliegen. Untersuchungen wurden sowohl mit implementierten Vorschlägen, welche dem Nutzer präsentiert wurden, als auch mit nachträglichen Vergleichen mit generierten Vorschlägen durchgeführt.

Damit auf Basis von vorhandenen Wissensartefakten Vorschläge für Zuordnungen von Elementen zu neuen Wissensartefakten durchgeführt werden können, müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein:

1. Mindestens in einer Hilfsstruktur oder Hauptstruktur muss eine Ähnlichkeit unter einem Grenzwert η bestehen.
2. Mindestens in einer Hilfsstruktur oder Hauptstruktur muss eine Ähnlichkeit über einem Grenzwert μ bestehen.

Es gilt $0 < \eta \leq \mu \leq 1$.

Für einen unvollständig angelegten Eintrag, der sich in der Anlage durch den Benutzer befindet, werden alle existierenden Wissensartefakte bezüglich ihrer Ähnlichkeit bewertet und absteigend sortiert. Die ersten N Listenelemente werden verwendet, um Vorschläge für noch unvollständige Elemente zu unterbreiten und so den Benutzer bei der Auswahl zu unterstützen. Formel 4.9 stellt hierbei sicher, dass sowohl sehr ähnliche als auch in einzelnen Bereichen abweichende Vorschläge präsentiert werden.

4.7 Mathematisch-monetäre Bewertung von Anforderungsspezifikationen

Die zuvor entwickelten Modelle legen die Basis für eine inhaltliche Dokumentation und Nutzung der Anforderungen im SE. Die so modellierten Anforderungen ermöglichen mit Hilfe von Werkzeugunterstützung eine Diskussion und Abstimmung mit anderen am Prozess Beteiligten. Hierbei müssen qualitative Vergleiche bezüglich der auszuwählenden Anforderungen in Widerspruchsfällen ausreichen. Um eine tatsächlich unternehmensoptimale Entscheidung treffen zu können, müssen alle Anforderungen, einschließlich der produktionsseitigen, monetär bewertbar sein. Im Folgenden soll ein Ansatz vorgestellt werden, welcher eine Modellierung und zugleich eine realitätsnahe Anwendung erlaubt. Hierbei müssen starke Vereinfachungen der Auswirkungen in Kauf genommen werden. Zusätzlich ist im Sinne einer Optimierung sicherzustellen, dass Anforderungen aus allen Bereichen eine monetäre Bewertung erlauben.

Produktionsseitige Anforderungen lassen sich nicht direkt bewerten, da sie keinem Selbstzweck folgen, sondern dazu dienen, ein Element einer Produktionsstrategie zu ermöglichen. Die Definition einer maximalen Bauteillänge als Anforderung erlaubt bspw. keine direkte Bewertung. Das entsprechend verknüpfte Strategieelement einer Beibehaltung der aktuellen Länge der Montagestationen hingegen lässt sich im Umkehrschluss mit einer Abweichung vom Idealzustand quantifizieren. In diesem Fall bedeutet eine Verletzung die Neuplanung und den Umbau der betroffenen Montagebereiche, ggf. mit Veränderungen der Infrastruktur. Zusätzlich kann sich eine Auswirkung auf ein Strategieelement, welches die Verwendung von Standardladungsträgern anstrebt, ergeben. Die Verletzung der Anforderung würde eine Abweichung dieses Elements bedingen und die Verwendung von kostenintensiveren Sonderladungsträgern erfordern.

Da eine vollständige Bewertung von Anforderungen, aber auch Marktchancen in den wenigsten Unternehmen durchgeführt wird und keine einheitlichen Standards etabliert sind (BREIDERT 2006)⁵², bildet das folgende Konzept lediglich die allgemeine Basis für eine Konkretisierung und Anpassung durch das jeweilige Unternehmen. Es ist darüber hinaus zu beachten, dass die Verwendung

⁵² BREIDERT (2006) beschreibt die Herausforderungen der Festlegung des Produktpreises. Die Frage „Was ist der Kunde bereit ist für ein Produkt oder eine Eigenschaft zu bezahlen“, kann aber in anonymen Käufermärkten auch als Frage nach „Wie viele Käufer kaufen ein Produkt mit dieser Eigenschaft zu einem definierten Preis“ interpretiert werden. Daraus lässt sich die Suche nach den maximalen Kosten für eine Eigenschaft bzw. eine Eigenschaftskombination ableiten und die gleichen Herausforderungen bzw. Schlüsse übertragen.

dieser Modelle am Ende einer langjährigen Einführung des produktionsseitigen Anforderungsmanagements steht.

4.7.1 Mathematische Modellierung der Produktionskonzepte und Probleme

Die Produktionskonzepte als Teil der Strategie bilden zusammen mit der Klasse der Probleme die Grundlage der monetären Bewertung. Allgemein lassen sie sich als ein Modell mit einer beliebigen Anzahl an Eingangsparametern (wie bspw. Stückzahlen oder Kostensätze für Mitarbeiter) sowie einer Anzahl an damit verbundenen Anforderungen beschreiben. Die Ausgangsgröße stellt hierbei eine für das Unternehmen relevante monetäre Größe unter gegebenen Randbedingungen dar. Diese können bspw. die Gesamtkosten für eine gewisse Periode bei gegebener Stückzahl oder die Stückkosten darstellen. Zusätzlich kann eine beliebige Anzahl an weiteren Konzepten bestehen, welche mit dem Betrachteten in Wechselwirkung stehen (vgl. Abbildung 4.13).

Welche Kostenart (vgl. bspw. HORSCH 2015, S. 15 ff.) und welche Parameter verwendet werden, ist von der weiteren Verwendung im Unternehmen abhängig. Grundsätzlich lassen sich zwei primäre Ansätze unterscheiden. Zum einen die Berechnung der Produktionskosten bei Umsetzung sowie Verfehlung der Strategie oder eine monetäre Bewertung der Abweichung von einer idealen Produktion bei Nichteinhaltung der Anforderung.

Der erste Ansatz setzt eine Modellierung aller Kosten innerhalb der Produktion voraus, auch für solche, welche keinen Bezug zu einer Strategie aufweisen. Dieser Ansatz bringt theoretisch den Vorteil einer vollständigen Kostentransparenz über die gesamte Entwicklung, erfordert aber eine Modellierung und Bewertung der Produktion vor der eigentlichen Entwicklungstätigkeit. Daher ist dieser Ansatz lediglich für Entwicklungsprojekte mit sehr geringem Umfang und einer hohen Ähnlichkeit zu vorherigen Projekten anwendbar.

Der zweite Ansatz ermöglicht die Fokussierung auf Berechnungen, die für das produktionsseitige Anforderungsmanagement relevant sind. Hierbei stellt die entwickelte Produktionsstrategie per Definition das Optimum aus Sicht der Produktion dar. Jede Abweichung durch Nichterfüllung eines Produktionskonzeptes erzeugt daher eine Verschlechterung gegenüber diesem Optimum. Im Rahmen der SE-Tätigkeit muss daher die folgende Frage beantwortet werden: *Wie hoch sind die Mehrkosten, wenn wir diese Anforderung und damit das Produktionskonzept nicht umsetzen?* Diesem müssen bspw. die Einsparungen innerhalb der Beschaffung oder die Erhöhung des Absatzes gegenübergestellt werden. Der zweite Ansatz reduziert den Modellierungsaufwand innerhalb der frühen Phase erheblich und ermöglicht die Nutzung eines neutralen Elements. Strategien mit nur geringem direkten Einfluss können mit einer monetären

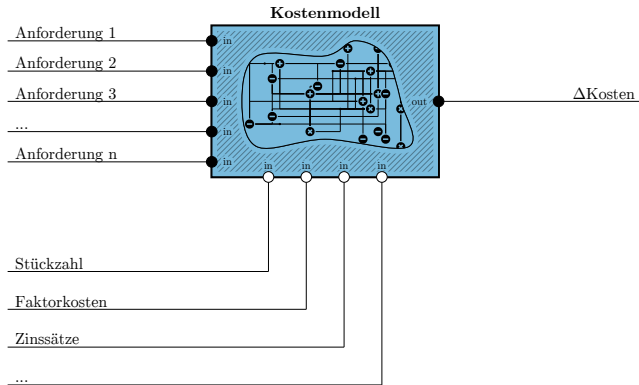


Abb. 4.13: Blackbox Modell zur monetären Bewertung von Produktionskonzepten.

Auswirkung von Null dargestellt werden, ohne die Gesamtbewertung zu verfälschen. Bspw. können Verwaltungskosten, welche in ihrer absoluten Höhe für das Unternehmen relevant, aber im Rahmen der SE-Arbeit nicht oder nur gering beeinflussbar sind, im zweiten Ansatz ignoriert werden, ohne die Aussagefähigkeit einzuschränken. Unabhängig vom gewählten Ansatz ist zu empfehlen, dass die definierte Strategie bereits auf grundlegende Randbedingungen ausgelegt ist. Dies bedeutet bspw. die Auswahl eines Fertigungsprinzips in Abhängigkeit von der erwarteten Stückzahl. Obwohl eine dynamische Auswahl durch das Modell möglich ist, bspw. die Auswahl des Produktionskonzepts einer Werkstattfertigung bei Unterschreitung einer gewissen Stückzahl, ist hiervon aufgrund des enormen Aufwandes zur Generierung aller Alternativen abzuraten.

Das interne Modell stellt eine beliebige Verknüpfung aller Eingangsparameter dar. Diese Verknüpfung ist häufig nicht linear und berücksichtigt logische Operationen. Rückgabewerte der Modelle lassen sich stark vereinfacht in einmalige Kosten, zeitbezogene Kosten sowie stückabhängige und variantenabhängige Kosten unterteilen. Die letzten zwei Gruppen können als Bezugsgröße entweder die Anforderungen verletzende Produkte, die anforderungskonformen Bauteile oder die Gesamtzahl aufweisen. Stück- und variantenabhängige Kosten unterscheiden sich dahingehend, dass eine Variante unabhängig von der Anzahl der von ihr produzierten Produkte Kosten verursacht, bspw. für eine Vorrichtung oder ein Werkzeug. Bauteilabhängige Kosten entstehen proportional zur Stückzahl einer Variante. Dies können bspw. notwendige Zusatz Tätigkeiten, aber auch Effizienzverluste sein.

Während die internen Berechnungsvorschriften der Modelle unternehmensspe-

zifisch sind, müssen sie für eine Verwendung im Sinne des Anforderungsmanagements bezüglich ihrer Variablen eine Beeinflussung durch verbundene Anforderungen zulassen. Diese Beeinflussung bzw. die Verbindung zwischen einer Variablen des Modells und einer Anforderung weist hierbei zwei Eigenschaften einer Übertragungsfunktion⁵³ auf. Der erste Teil entspricht der Interpretation der Abweichung. Hierbei kann bspw. das Maß der Verletzung der Anforderung, aber auch die Anzahl der verletzenden Elemente im Bezug auf die Gesamtheit aller Varianten und Bauteile zum Tragen kommen. Wird bspw. die Anforderung einer maximalen Masse lediglich für ein Bauteil einer Variante überschritten, so gilt die Anforderung initial als nicht erfüllt. Gleichzeitig kann dies durch technische Maßnahmen kompensiert werden, ohne das gesamte Konzept zu verhindern. Der zweite Teil der Übertragungsfunktion hilft, die Auswirkungen auf eine Variable zu modellieren. Die Aufteilung dieser Elemente ermöglicht die Erstellung einer begrenzten Anzahl an Standardfunktionen, welche vom Anwender für den jeweiligen Fall kombiniert werden können. Grundsätzlich ist jede Vorschrift geeignet, die eine beliebige Anzahl an Eingangsgrößen auf eine Ausgangsgröße abbildet, da eine analytische Lösung in diesem Kontext nicht zwingend notwendig ist. Ausgangspunkt bilden hierbei die Anforderungen, die in einer Diskussion evaluiert werden. Aufgrund der relativ geringen Anzahl an Anforderungen kann die diskrete, ggf. durch vollständige Iteration durchgeführte Berechnung der Anforderungserfüllung vor dem Hintergrund deutlich geringerer Modellierungskomplexität toleriert werden⁵⁴. Hierbei können auch logische und nicht stetige Zusammenhänge eingesetzt werden.

Jede Anforderung muss als Ausgangsgrößen die minimale, maximale und durchschnittliche Abweichung, beeinflusste Stationen sowie die Anzahl der betroffenen Varianten bzw. Bauteile liefern. Für eine Verwendung in der frühen Phase empfiehlt sich vor allem für die Anzahl der Alternativen eine Vereinfachung zu wählen. Hier können definierte Listen mit hinterlegten Werten wie bspw. *keine*, *wenige*, *viele*, *alle* zum Einsatz kommen. Die Modellierung soll im Folgenden am bereits bekannten Beispiel der maximalen Bauteillänge in stark vereinfachter Form dargestellt werden. Das Strategieelement „Verwendung bestehender Montagestationen zur Flüssigkeitsbefüllung“ beinhaltet einen unternehmensinternen Kostensatz, der für die Veränderung von Montagestationen aus der Erfahrung vergangener Umstrukturierungen vorhanden ist. Es ist ersichtlich,

⁵³ In diesem Kontext ist eine Übertragungsfunktion als Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Eingangswerten und Ausgangswerten zu interpretieren, ohne auf die Definition aus dem Bereich der Regelungstechnik zurückzugreifen.

⁵⁴ Da es sich bei einem Entwicklungsprozess um eine kreative Tätigkeit der Entwickler handelt, entstehen Produktkonzepte nicht automatisch als Folge von optimalen Anforderungserfüllungen. Daher kann die Evaluation eines Konzeptes im Rahmen des SE als Auslöser für eine Evaluation der Anforderungen herangezogen werden. Darauf aufbauend unterstützt die vorliegende Modellierung Konzeptentscheidungen, indem die Auswirkungstransparenz erhöht wird.

dass bereits bei einer geringen Abweichung für nur wenige Bauteile Kosten für die Umstellung entstehen. Die Höhe des Änderungsaufwandes ist in diesem Beispiel davon abhängig, wie viele Varianten von dieser Abweichung betroffen sind. Verletzen nur einzelne Varianten die Anforderung, so kann dies durch einen freien Takt und Nutzung des folgenden Taktes realisiert werden. Es entstehen daher Opportunitätskosten durch die geringere Auslastung⁵⁵. Sobald eine Verletzung durch viele Varianten vorliegt, ändert sich die Reaktion und eine Umgestaltung der Station wird notwendig. Diese Kosten fallen singulär an und führen nicht zu einer Verschlechterung der Effizienz. Daher kann der stückbezogene Aufschlag wieder zurückgenommen werden. Das Kostenmodell liefert somit zwei grundlegende Kosten bzw. Kostenänderungen gegenüber dem Idealzustand. Diese sind zum einen einmalige Änderungsaufwände und zum anderen Kosten für jedes Bauteil, das die Anforderungen verletzt.

Dieses Beispiel zeigt, dass bereits die Modellierung eines einfachen Zusammenhangs ein gewisses Maß an Komplexität verursacht. Da in realistischen Anwendungen eine Abhängigkeit einer Strategie von mehreren Anforderungen typisch ist, sind die im vorherigen Abschnitt getroffenen Vereinfachungen unbedingt nötig.

4.7.2 Integration von Szenarien und Unsicherheiten

Die betrachteten Eingangsdaten für die aufgebauten Modelle liegen im Regelfall nicht vollständig sicher vor, sondern es besteht Unsicherheit bezüglich deren Ausprägung. Diese Unsicherheit lässt sich ebenfalls in das vorgestellte mathematische Modell integrieren. Vor dem Hintergrund einer späteren Optimierung bestehen zwei grundsätzliche Ansätze (VOSS & WOODRUFF 2003, S. 16): Zum einen die Aufteilung des Modells in eines ohne Unsicherheiten mit separater Betrachtung der Unsicherheit in einem getrennten Zusatzmodell, zum anderen die direkte Berücksichtigung innerhalb des Modells. Arbeiten, die als Grundlage für einen Entscheidungsprozess dienen, verwenden primär die Integration der Unsicherheiten über Variation der Eingangsfaktoren (DIXIT & PINDYCK 1994; CHAKRAVARTHY B. 1997; MITCHELL & NAULT 2007; KREBS 2012), wobei vor allem KREBS (2012) die Berücksichtigung von qualitativen Faktoren mit Hilfe der Fuzzy-Logik⁵⁶ integriert. Neben einer Kombination von Eingangsgrößen mit und ohne Unsicherheiten lassen sich Abhängigkeiten

⁵⁵ Hierbei handelt es sich um direkt zusätzlich anfallende Kosten, da sich bei einer zeitlichen Betrachtung die Kosten der eingebrachten Produktionsfaktoren nicht erheblich ändern. Da aber der Ausschuss reduziert wird, können mit gleichem Einsatz mehr Produkte realisiert werden.

⁵⁶ Eine Einführung zur Fuzzy-Logik findet sich bei HÖNERLOH (1997) und BUCKLEY & ESLAMI (2002).

und Korrelationen zwischen verschiedenen Größen definieren. Damit stellt die Betrachtung von Szenarien einen Sonderfall dar, in dem gleichverteilte Ausprägungen aller unsicheren Eingangsgrößen miteinander in vollständiger Korrelation stehen.

Die über ein deterministisches Modell verknüpften, stochastisch verteilten Eingangsgrößen lassen sich im Regelfall nicht oder nur sehr aufwändig analytisch lösen. Numerische Lösungsverfahren, wie die sog. Monte Carlo Simulation⁵⁷, liefern ausreichend genaue Ergebnisse. Die Eingangsparameter werden wiederholt ihrer Wahrscheinlichkeit folgend gewählt und das Gesamtmodell berechnet. Nach einer ausreichend hohen Anzahl an Iterationen bilden die resultierenden Ergebnisse die Verteilung hinreichend genau ab.

Der hier entwickelte Ansatz ist vollständig kompatibel zu den oben beschriebenen Vorgehen. Die Eingangsgrößen der mathematischen Modelle lassen sowohl numerische Unsicherheiten als auch logische Unsicherheiten⁵⁸ zu. Es lassen sich in diesem Kontext zwei grundlegende Unsicherheiten berücksichtigen:

- Unsicherheiten bezüglich des Ergebnisses einer bekannten Abhängigkeit innerhalb des primären Wissensmodells sowie
- Unsicherheiten bezüglich der Abhängigkeit im Wissensmodell.

Ersteres stellt die Unsicherheit bezüglich der Auswirkung eines verletzten Produktionskonzepts auf Basis eines bekannten Zusammenhangs zwischen Anforderung und Konzept dar. Die Einführung einer neuen Produktfarbe bringt bspw. die vorhandene Lackieranlage an eine technische Grenze. Dieser Zusammenhang wird in diesem Kontext als sicher angenommen. Unsicherheit besteht aber in den zu erwartenden Mehrkosten, die durch eine Erweiterung der Lackieranlage entstehen. In einem anderen Fall kann Unsicherheit bzgl. einer Überschreitung einer Gewichtsanforderung vorliegen, welche zur vollständigen Verletzung einer Anforderung, bspw. im Bereich der Ergonomie, führt oder welche ggf. durch geeignete organisatorische Gegenmaßnahmen dennoch erfüllt werden kann. In diesem Beispiel ist die Verknüpfung im primären Wissensmodell mit Unsicherheiten behaftet.

Jede Variable und jeder Zusammenhang kann hierbei mit einer Unsicherheit hinterlegt werden. Dies betrifft zum einen die Übertragungsfunktionen, zum anderen die Kostenmodelle an sich. Zusätzlich können auch die endogenen Faktoren, wie bspw. die Absatzmenge, mit einer Unsicherheit versehen werden.

Wie bereits einleitend beschrieben, stellt die mathematische Formulierung die optimale Ausgestaltung des produktionsseitigen Anforderungsmanagements dar,

⁵⁷ Eine detaillierte Einführung findet sich bspw. bei DENK ET AL. (2005).

⁵⁸ Diese werden als sog. boolesche Variablen mit einem Wertebereich $[0, 1]$ integriert.

von der Unternehmen nach aktuellem Stand noch weit entfernt sind. Zusätzlich erfordert dies nicht nur die mathematische Formulierung der Anforderungen der Produktion, sondern auch eine Durchgängigkeit aller Bereiche bis hin zur Quantifizierung der Marktchancen. Die zusätzliche Berücksichtigung von Unsicherheiten stellt eine darauf aufbauende Erweiterung dar und ist daher ebenfalls weit in die Zukunft gerichtet. Des Weiteren muss entgegen aller mathematischen und informationstechnischen Präzision, welche Ergebniswahrscheinlichkeiten mit nahezu beliebiger Anzahl an Nachkommastellen generiert, der Aufwand zur Formulierung der Unsicherheiten sowie die Abhängigkeit des Ergebnisses von der Qualität der Eingangsdaten berücksichtigt werden. Die Szenariotechnik (GAUSEMEIER ET AL. 1996) als Sonderform kann hier bereits gute Ergebnisse bei deutlich geringerem Aufwand liefern.

5 Stufenkonzept der Implementierung des produktionsseitigen Anforderungsmanagements

Das in dieser Arbeit entwickelte Gesamtkonzept zur Generierung, Speicherung und Nutzung produktionsseitiger Anforderungen lässt eine stufenweise Implementierung im Unternehmen zu. Die aufeinander aufbauenden Stufen können zum einen zeitlich verteilt oder aber auch anhand der unternehmensspezifischen Situation ausgewählt werden. Gleichzeitig lässt eine durch das Management getroffene Entscheidung, das Konzept bis zu einer definierten Stufe einzuführen, grundsätzlich die Option für einen späteren Ausbau offen. Jede Stufe der Implementierung stellt definierte Kriterien zur Bewertung der Implementierung bereit, sodass eine Verfolgung der Umsetzung und ein Übergang zur nächsten Stufe transparent nachvollzogen werden kann. An Wissensbasis, Organisation und software-technische Implementierung werden auf allen Stufen verschiedene Anforderungen gestellt. Bspw. ist aufgrund eines eingeschränkten Projektrahmens zur Erreichung der ersten Stufe keine besondere Software notwendig. Einfache Formblätter auf Basis des Informationsmodells können bspw. ausreichend sein. Auf Stufe zwei ist ein Datenbanksystem mit unidirektionaler Kopplung in den Entwicklungsprozess wichtig. In der dritten Stufe muss dieses Datenbanksystem um Ähnlichkeitsregeln und Vorschlagssysteme erweitert werden. Alle Stufen der Einführung enthalten sieben grundlegende Schritte, welche mit unterschiedlichen Ausprägungen durchlaufen werden müssen. Tabelle 5.1 stellt diese sieben allgemeinen Schritte der Implementierung dar, welche in Abhängigkeit der zu erreichenden Stufe unterschiedliche Ausprägungen beinhalten. Sofern im Folgenden nicht anderslautend vermerkt, gelten die Beschreibungen eines Schrittes aufbauend auf den vorherigen Stufen.

Tabelle 5.1: Grundlegende Schritte für jede Implementierungsstufe

Schritt	Beschreibung
1	Definition des Betrachtungsbereichs
2	Definition der Organisation
3	Informationsakquisition
4	Informationsaufbereitung
5	Freigabe der Wissensartefakte
6	Weitergabe der Wissensartefakte
7	Nutzung der Wissensartefakte

5.1 Stufe 1: Sensibilisierung der Organisation und Erzeugung der Motivation zur Änderung

Die einleitend dargestellte, unzureichende Implementierung des SE-Konzeptes zeigt, dass die kooperative Entwicklung und das ressortübergreifende Handeln noch immer nicht ausreichend in den Organisationen verankert sind. Die Definition von produktionsseitigen Anforderungen und die damit verbundene Erkenntnis, dass die Produktionsbereiche nicht lediglich ausführende Organe einer fixierten Produktgestaltung, sondern gleichberechtigte Partner innerhalb der Produktentstehung sind, erfordert sowohl in der Produktion als auch bei allen weiteren Beteiligten ein Umdenken. Im Folgenden werden Leitlinien vorgestellt, die diesen Prozess unterstützen.

5.1.1 Zielsetzung

Für die wenigsten Unternehmen ist es möglich, die Einführung von produktionsseitigen Anforderungen parallel zum operativen Produktivbetrieb flächendeckend durchzuführen. Daher ist der Einführungsprozess so gestaltet, dass ausgehend von einem Initialbereich, die Implementierung sukzessive auf weitere Produktionsbereiche ausgedehnt werden kann.

5.1.2 Umsetzung

Schritt 1: Definition des Betrachtungsbereichs

Besonders in der frühen Phase der Einführung eines Konzepts, wie das der produktionsseitigen Anforderungen, ist es wichtig, erste Erfolge bereits kurzfristig im Projekt zeigen zu können (CZICHOS 1997, S. 322 ff.). Hierfür eignen sich Entwicklungsprojekte, welche sich noch vor oder gerade in der frühen Phase der Produktentstehung befinden. Sofern mehrere Projekte zur Auswahl stehen, ist eines mit geringem bis mittlerem Projektumfang und nach Möglichkeit, mit hohem Innovationspotential auszuwählen. Besonders umfassende Projekte ermöglichen i. d. R. für ein neu gestartetes Projekt lediglich eine geringe Einflussnahme, da die Anforderungen der Produktion erst sukzessive hinzukommen. Kleine Projekte oder solche mit geringem Innovationspotential benötigen nicht notwendigerweise eine strukturierte Herangehensweise, da Themenkomplexe noch von einzelnen Individuen überschaut werden können. Ausnahmen hiervon können Projekte darstellen, die einer starken produktionstechnischen Änderung bedürfen, bspw. durch die Substitution einer Technologie.

Schritt 2: Definition der Organisation

Das Produktionsteam stellt die Schnittstelle zum SE-Team dar und sorgt innerhalb des Produktionsbereiches für die Generierung und Dokumentation des Produktionswissens. Hierbei sind Beteiligte zu wählen, welche ein breites Wissen über die Produktion sowie vergangene Entwicklungsprojekte aufweisen und der Definition von Anforderungen offen gegenüber stehen.

Schritt 3: Informationsakquisition

Die bereits implizit oder teilweise sogar explizit vorhandenen Verbesserungsvorschläge, Probleme und unter Umständen sogar erste Anforderungen müssen durch das Projektteam von den Bereichen der Produktionsplanung, aber auch von den produktiven Bereichen abgefragt werden. Hierbei ist von besonderer Bedeutung, dass Informationen von den direkt durch den Prozess betroffenen Personen aufgenommen werden. Zum einen erfolgt so eine Sensibilisierung der Organisation, zum anderen werden Ungenauigkeiten durch Informationsweitergabe vermieden. Obwohl in dieser Phase keine IT-Infrastruktur benötigt wird, ist dennoch sicherzustellen, dass das in Kapitel 4.1 dargestellte und allen Stufen zugrundeliegende Modell bereits in verwendeten Vorlagen Anwendung findet und somit ein Übergang zu weiteren Stufen ermöglicht wird.

Schritt 4: Informationsaufbereitung

Die akquirierten Wissensartefakte müssen zunächst auf ihre richtige Zuordnung zu den Kategorien im Rahmen des Informationsmodells geprüft werden. Darauf aufbauend müssen die Artefakte einer Prüfung anhand der Qualitätsfragen unterzogen werden (vgl. Abschnitt 4.3). Die überarbeiteten Informationen können zur weiteren Steigerung der Qualität mit einzelnen Vertretern bezüglich der Verständlichkeit überprüft und angepasst werden. Es ist sicherzustellen, dass in diesem Schritt keine vorzeitige inhaltliche Diskussion bzw. Anpassung der Anforderungen durchgeführt wird. Besonders im Rahmen einer ersten Implementierung ist mit einer Iteration der Schritte drei und vier zu rechnen.

Schritt 5: Freigabe der Wissensartefakte

Die aufgenommenen Daten müssen durch eine angemessene Funktion innerhalb der Organisation freigegeben werden. Zum einen kann so sichergestellt werden, dass selbst gravierende Entscheidungen, welche auf Basis einer detaillierten Anforderung bzw. eines Produktionskonzepts getroffen werden, durch einen Mitarbeiter direkt vertreten werden können. Zum anderen sichert die Einbindung des Managements in die Pilotimplementierung die spätere Akzeptanz für einen Regelprozess der Freigabe. Das Gremium oder die Person, welches bzw. welche die Freigabe durchführt, muss mindestens alle durch das Projekt betroffenen Produktionsbereiche verantworten.

Schritt 6: Weitergabe der Wissensartefakte

Die in Schritt drei gesammelten und in Schritt vier aufbereiteten Wissensartefakte sind gerade für eine Organisation, in der noch keine umfassende Nutzung von Anforderungen innerhalb des PEP Anwendung findet, nicht unkommentiert und uninterpretiert weiterzugeben. Zum einen liegt dies in der toleriert unzureichenden Definition der Anforderungen innerhalb von Schritt vier begründet, zum anderen bedingt es die mangelnden Prozessdefinition im Umgang mit produktionsseitigen Anforderungen auf Seiten des Anforderungsnehmers. Aus diesem Grund müssen die Wissensartefakte durch den Vertreter der Produktion im SE-Team vorgebracht und eine kritische Diskussion innerhalb des Teams angeregt werden. Hierbei sind neben den inhaltlichen Diskussionen vor allem die in Abbildung 5.1 dargestellten Ziele des produktionsseitigen Anforderungsmanagements zu vermitteln. Die Formulierung verbindlicher Ziele für die Entwicklung bzw. den Entwicklungsprozess stellt die originäre Aufgabe des Anforderungsmanagements dar. Obwohl die gestellten Anforderungen aus den oben genannten Gründen in dieser Stufe in der Regel keine numerisch-logische Evaluation zulassen, so ist die Kommunikation des angestrebten Ziels dennoch von enormer Wichtigkeit.

Die Nutzung des Lastenhefts als Wissensspeicher für wechselnde Vertreter in Entwicklungsprojekten, aber auch zum Austausch über Projektgrenzen hinweg, ist als wichtige, effizienzsteigernde Maßnahme für die Vertreter der Produktion darzustellen. Die in dieser Quelle definierten Informationen sind bereits durch das Management freigegeben (vgl. Schritt fünf) und können, unabhängig von ihrer unternehmensstrategischen Tragweite, durch Mitarbeiter mit Fachwissen aber ohne entsprechende organisatorische Positionierung innerhalb des SE-Teams vertreten werden.

Vor allem in Produktionsnetzwerken, in welchen alternative Produktionsstandorte für gleiche Produkte existieren, besteht Bedarf nach einer Vereinheitlichung



Abb. 5.1: Ziele des produktionsseitigen Anforderungsmanagements

der Produktionsprozesse und daraus abgeleitet einer Konsolidierung der produktionsseitigen Anforderungen. Ein Implementierungsprojekt stellt hierbei zum einen den Bedarf deutlich dar, zum anderen ist eine positive Rückmeldung der beteiligten Bereiche zu erwarten, da diese mit einem einheitlichen Bild der Produktion konfrontiert werden. Zusätzlich wird über eine gemeinsame Wissensbasis sichergestellt, dass Anforderungen und deren Bewertungen an den Produktionskonzepten ausgerichtet erfolgt, unabhängig von der standort-spezifischen Ausrichtung des entsprechenden Vertreters.

5.1.3 Evaluierung

Die erste Stufe der Implementierung von produktionsseitigen Anforderungen wird durch ein Unternehmen erreicht, sobald eine erste Sensibilisierung der Mitarbeiter stattgefunden hat und der grundlegende Bedarf in mindestens einem Produktionsbereich erkannt wurde. In mindestens diesem Bereich müssen grundlegende Informationen zu den o. g. Schritten für alle Mitarbeiter der Produktion und der Produktionsplanung zugänglich gemacht und die aktive Schulung der Mitarbeiter sichergestellt werden. Hierbei ist eine Integration in bestehende Aus- bzw. Weiterbildungskonzepte wie bspw. PEP-Einführungen als zielführend anzusehen. Die Einbindung der Entwicklungsbereiche ist zur Erreichung der ersten Stufe nicht notwendig. Tabelle 5.2 stellt die Evaluierungskriterien für die Stufe 1 zusammenfassend dar.

Tabelle 5.2: Evaluierungskriterien für die Stufe 1

Nummer	Beschreibung
E1.1	Alle Mitarbeiter der Produktion und der Produktionsplanung in mindestens einem abgegrenzten Bereich der Produktion wurden über produktionsseitige Anforderungen und Grundzüge des produktionsseitigen Anforderungsmanagements informiert.
E1.2	Eine nachhaltige Information ist für alle Mitarbeiter durch die Integration in kontinuierliche Schulungs- bzw. Weiterbildungskonzepte sichergestellt.

5.2 Stufe 2: Erzeugung eines zeitdiskreten Lastenhefts als Projekt

Während die erste Stufe vornehmlich der Sensibilisierung der Organisation für produktionsseitige Anforderungen dient, steht die projektbezogene Sammlung und Dokumentation der produktionsseitigen Anforderungen in Form eines produktionsseitigen Lastenhefts im Fokus der zweiten Stufe.

5.2.1 Zielsetzung

Ziel der zweiten Stufe ist die Erzeugung eines zeitdiskreten Lastenhefts für ein ausgewähltes Projekt mit ausreichender unternehmensstrategischer Wichtigkeit. Aufbauend auf der Sensibilisierung liegt zum Abschluss dieser Stufe ein Dokument vor, mit welchem die Anforderungen der Entwicklung übergeben und die SE-Teams bei der Konzeptentscheidung unterstützt werden können. Grundsätzlich sind alle Schritte zur Erreichung von Stufe eins zu durchlaufen. Es erfolgt aber eine Verschiebung hinsichtlich der Sicherstellung der Ergebnisqualität mit dem Ziel einer vollständigen, wenn auch prototypenhaften Integration in den Regelentwicklungsprozess.

5.2.2 Umsetzung

Schritt 1: Definition des Betrachtungsbereichs

Obwohl die präzise Formulierung des Projektauftrags und die Definition der Randbedingungen als offensichtliche Erfolgsfaktoren bekannt sind, zeigen Erfahrungen aus der industriellen Praxis, dass diese nicht immer vorliegen (WALTER 2006, S. 26). Um eine erfolgreiche Erreichung der Stufe zwei zu ermöglichen, muss der Projektauftrag bezogen auf die o. g. Zielsetzung erfolgen. Hierbei ist ein Entwicklungsprojekt auszuwählen, welches zum einen eine unternehmensstrategische Relevanz aufweist und sich zum anderen in einer Projektphase befindet, welche die vollständige Erstellung des produktionsseitigen Lastenhefts ermöglicht. Somit kann gewährleistet werden, dass in dem Entwicklungsprojekt alle Lastenhefte⁵⁹ gleichzeitig vorliegen. Die Projektdauer sollte ein Jahr nicht überschreiten, um ausreichende Planungssicherheit bezüglich der produktionsstrategischen Grundlagen sicherzustellen. Da es sich bei diesem Projekt, wie bei allen SE-Aktivitäten, um eine disziplin- und ressortübergreifende Aufgabe handelt, ist es von besonderer Bedeutung, dass der benötigte Kapazitätsbedarf in allen Abteilungen bereitgestellt und die Wichtigkeit des Projekts vom Top-Management klar kommuniziert wird.

Schritt 2: Definition der Organisation

Die Mitarbeiter des Kernteams sollten ein umfassendes produktionstechnisches Wissen im betroffenen Bereich, einen sicheren Umgang mit produktionsstrategischen Fragestellungen sowie ausgeprägte Projektmanagement- und Kommuni-

⁵⁹ Alle Lastenhefte stellen die Summe der Anforderungen aller für ein Unternehmen relevanter Anforderungssteller dar. Diese umfassen i. d. R. das Lastenheft des Produktmanagements (Kundensicht), der Einkaufsbereiche, des Bereiches des After-Sales uvm. Diese Lastenhefte bzw. die darin enthaltenen Informationen sind nicht notwendigerweise kongruent.

kationsfähigkeiten aufweisen. Erfahrungen im Umgang mit produktionsseitigen Anforderungen aus der erste Stufe sowie ein grundlegendes Verständnis der Entwicklungsprozesse und -strukturen müssen im Gesamtteam vorliegen.

Schritt 3: Informationsakquisition

Die Wissensakquisition mit dem Ziel der Anforderungsformulierung erfolgt in dieser Stufe auf Basis von Workshopreihen. Bereits in Phase 1 gesammelte und validierte Informationen können, sofern sie sich auf den gleichen Betrachtungsbereich beziehen, verwendet werden.

Um ein grundlegendes Verständnis über die aktuellen Probleme zu erhalten, müssen diese von allen betroffenen Produktionsbereichen aufgenommen werden. Diese schließen neben direkten auch indirekte Produktionsbereiche ein. Hierzu stehen grundsätzlich drei Durchführungsalternativen zur Verfügung, wobei Mischformen von diesen ebenfalls möglich sind.

Die *dezentrale Aufnahme durch Anweisung der Bereichsmeister* stellt die Alternative mit dem geringsten Ressourcenbedarf dar und erlaubt eine hohe Parallelisierung der Aufnahme. Jedoch kann die Homogenität der gewonnenen Erkenntnisse sowohl im Bezug auf Qualität als auch auf Granularität nicht sichergestellt werden. Alle Formulare und Hilfsmittel zur Sammlung und Zusammenführung müssen vollständig selbsterklärend aufbereitet sein.

Alternativ besteht die Möglichkeit einer *Akquisition durch die produktionsnahen Planer und Steuerer*, welche die Probleme in dem Bereich dokumentieren, für welchen sie verantwortlich sind. Aufgrund der naturbedingt geringeren Anzahl an Personen kann hier eine detailliertere Einführung erfolgen. Dieses Vorgehen erhöht den Wissenstransfer zwischen den indirekten und direkten Bereichen und ermöglicht die Identifikation einer höheren Anzahl an Problemen und Anforderungsideen. Gleichzeitig kann die Ergebnisqualität gegenüber der ersten Alternative durch die Schulung der Teilnehmer gesteigert werden, wobei noch immer mit Inhomogenitäten bezüglich der Qualität zu rechnen ist. Auf wiederkehrende Problemfälle kann nicht aktiv eingegangen werden, da eine Konsolidierung der Ergebnisse erst nach Abschluss der Aufnahme erfolgt.

Die ressourcenintensivste Möglichkeit der Datenakquisition stellt die *direkte Aufnahme durch das Projektteam* dar. Hierbei werden die betroffenen Bereiche und Mitarbeiter direkt befragt und die Probleme und Anforderungsideen durch das Projektteam dokumentiert. Hiermit ist sichergestellt, dass gleichbleibende Qualitätsansprüche und Granularitätsforderungen⁶⁰ an die aufzunehmenden Anforderungen zu Grunde gelegt werden und eine direkte Zuordnung zu den Elementen des Datenmodells erfolgt. Gleichzeitig können Erkenntnisse aus

⁶⁰ Es kann vereinfachend davon ausgegangen werden, dass trotz subjektiver Einflüsse im Allgemeinen gleiche Kriterien der Aufnahme zu Grunde gelegt werden.

bereits aufgenommenen Bereichen in die Befragung Weiterer integriert werden. Neben dem enormen Aufwand für das Projektteam ist vor allem der Einfluss auf die Produktivbereiche zu berücksichtigen. Eine Parallelisierung ist ebenfalls nur in geringem Maße durchführbar. Im Anschluss hierzu sind die strategischen Randbedingungen in Form der Produktionsstrategie zu integrieren und ggf. zu detaillieren. Sollte die Strategie nicht explizit vorliegen oder nicht der in Abschnitt 4.3 geforderten Beschreibung genügen, so ist sie im Rahmen eines Workshops durch das Top-Management zu erarbeiten. Grundsätzlich sind Strategiealternativen für den weiteren Prozess verwertbar. Es ist allerdings zu beachten, dass daraus zum einen widersprüchliche Anforderungen entstehen und zum anderen eine optimale Anpassung des Produkts an produktionstechnische Randbedingungen erschwert oder nicht mehr möglich wird. Diese durch das Top-Management getroffenen Entscheidungen müssen im Folgenden durch die entsprechenden Fachbereiche konkretisiert und Anforderungen abgeleitet werden. Hierbei empfiehlt sich eine unternehmens- bzw. branchenspezifische Aufteilung. Für die Nutzfahrzeugindustrie hat sich bspw. eine Aufteilung nach Karosserierohbau, Lackierung inklusive der kathodische Tauchlackierung (KTL) und Montage als sinnvoll erwiesen. In diesen Gruppierungen sind unter der Anleitung des Projektteams Anforderungen aus der konkretisierten Produktionsstrategie sowie den Problemen abzuleiten. Die Mitglieder des Projektteams stellen dabei die bereichsübergreifende Konsistenz der Anforderungen sicher. Während der bereichsspezifischen Workshops sind Anforderungsideen zu skizzieren und inhaltlich Verantwortliche zu definieren. Die Mitglieder des Projektteams übernehmen im Anschluss gemeinsam mit diesen die Konkretisierung, um die geforderten Qualitätskriterien zu erfüllen. Bereits in dieser Stufe sind die inhaltlich Verantwortlichen angehalten, ihre Anforderungen selber zu formulieren und die Qualitätskriterien selbstständig zu evaluieren. Dennoch ist es nötig, dass sich die Projektmitarbeiter aktiv bei der Formulierung der Anforderungen beteiligen.

Schritt 4: Informationsaufbereitung

Die Aufbereitung und Qualitätssicherung der einzelnen Wissensartefakte sowie die Sicherstellung der internen Konsistenz der produktionsseitigen Anforderungen verläuft parallel zu Schritt 3 für jedes Wissensartefakt. Nach abgeschlossener Konsolidierung aller Artefakte ist eine abschließende Gesamtprüfung anhand der oben definierten Qualitätskriterien durchzuführen. Die definierten Anforderungen werden an die betroffenen Entwicklungsbereiche zur Überprüfung der Verständlichkeit übergeben. Hierbei ist von besonderer Wichtigkeit, dass jede Anforderung von mindestens einem betroffenen Bereich überprüft und bezüglich der Verständlichkeit, nicht der Umsetzung, freigegeben wurde. Probleme und Produktionsstrategie stellen zusätzliche, optionale Informationsquellen für die Produktentwicklung dar und müssen nicht freigegeben werden. Unverständ-

liche Anforderungen werden an den inhaltlich Verantwortlichen übergeben, überarbeitet und zur erneuten Überprüfung auf Verständlichkeit vorgelegt.

Schritt 5: Freigabe der Wissensartefakte

Nach abgeschlossener Konkretisierung der Produktionsstrategie und Formulierung der Anforderungen sind diese vollständig durch das Top-Management freizugeben.

Schritt 6: Weitergabe der Wissensartefakte

Die Anforderungen werden als Gesamtheit in Form eines Lastenhefts übergeben, wobei zu beachten ist, dass die Bezeichnung „Lastenheft“ nicht notwendigerweise die Dokumentation in Form eines Buchs beschreibt. Hierbei ist es wichtig, dass die Anforderungen analog zu denen aus anderen Anforderungsquellen in die Entwicklung eingebracht werden. Dies kann in Form eines Software-Werkzeuges, wie bspw. DOORS⁶¹, in einem PDM-System oder einer einfachen digitalen Datei sein. Wichtig ist, dass alle erzeugten Verknüpfungen in Form des Datenmodells sowie die entsprechenden Ansprechpartner erhalten bleiben, um eventuelle Rückfragen im Entwicklungsprozess optimal unterstützen zu können.

5.2.3 Evaluierung

Grundlegende Voraussetzung für die Erreichung der zweiten Stufe ist die Anfertigung eines Dokuments, welches die maßgeblichen produktionsseitigen Anforderungen enthält. Da eine Identifikation dieser Anforderungen nur auf Basis der zugrundeliegenden Produktionsstrategie sowie der aktuellen Problemlage möglich ist, sind diese ebenfalls zu erstellen bzw. zu dokumentieren und mit den Anforderungen zu verknüpfen. Alle Anforderungen müssen ihren Ursprung in mindestens einer Strategie oder einem Problem finden. Damit das o. g. Dokument erzeugt und die notwendigen Qualitätskriterien erfüllt werden können, ist durch das Top-Management ein Projekt mit diesem Projektauftrag einzusetzen und mit den nötigen Befugnissen und Ressourcen auszustatten. Hierbei ist vor allem Wert auf den Projektcharakter⁶² mit einem definierten Zielzustand zu legen. Aufgrund der teilweise tiefgreifenden und unternehmensstrategisch relevanten Anforderungen sind alle Elemente durch das Top-Management explizit

⁶¹ DOORS (Dynamic Object Oriented Requirements System) stellt ein von dem Unternehmen IBM entwickeltes Softwarewerkzeug zur domainunabhängigen Modellierung von Anforderungen auf Basis von Relationen dar. Eine detaillierte Einführung in DOORS findet sich bei HULL ET AL. (2002, S. 187 ff.).

⁶² Ein Projekt ist nach JAKOBY (2015, S. 10) durch die Kriterien „Zielklarheit, Neuartigkeit des Vorhabens, Schwierigkeit der Aufgabe, Prozesscharakter, Terminierung, Teambildung und Ressourcenbegrenzung“ gekennzeichnet.

freizugeben⁶³. Die enthaltenen Daten sind vollständig mit den empfangenden Bereichen auf Verständlichkeit abgestimmt. Tabelle 5.3 stellt die Evaluierungskriterien für Stufe 2 zusammenfassend dar.

Tabelle 5.3: Evaluierungskriterien für Stufe 2

Nummer	Beschreibung
E2.1	Ein Projekt zur Erzeugung eines produktionsseitigen Lastenheftes für einen beschriebenen Entwicklungsumfang wurde eingerichtet und mit den nötigen Ressourcen ausgestattet.
E2.2	Es existiert ein Dokument, welches einen Großteil aller produktionsseitigen Anforderungen an den Entwicklungsumfang enthält.
E2.3	Es existiert ein Dokument, welches die maßgebliche Produktionsstrategie für den gewählten Entwicklungsrahmen enthält. Diese ist mit den Anforderungen verknüpft.
E2.4	Es existiert ein Dokument, welches die aktuellen Produktionsprobleme enthält. Diese sind mit den Anforderungen verknüpft.
E2.5	Alle enthaltenen Informationen sind sowohl hinsichtlich der Verständlichkeit als auch der internen Kongruenz abgesichert.
E2.6	Alle enthaltenen Informationen sind durch das umsetzungsverantwortliche Management freigegeben.
E2.7	Alle enthaltenen Informationen sind hinsichtlich ihrer Verständlichkeit durch die empfangenden Entwicklungsbereiche geprüft und freigegeben.
E2.8	Alle betroffenen SE-Teambeteiligten sind im Umgang mit den verwendeten Dokumenten und Abläufen unterwiesen.

5.3 Stufe 3: Integration in den Regelprozess und die Organisation

5.3.1 Zielsetzung

Ziel der Stufe 3 ist es, die Generierung und Nutzung produktionsseitiger Anforderungen in die Regelprozesse und die Organisation im Unternehmen zu integrieren. Der Fokus liegt während dieser Stufe weniger auf der konkreten Generierung von Anforderungen als viel mehr auf der Etablierung von Prozessen innerhalb der Organisation.

⁶³ Es ist bspw. möglich, dass eine Anforderung automatisierte Schweißbarkeit fordert. Wird in diesem Rahmen auf die zusätzliche manuelle Schweißbarkeit verzichtet, ist die Produktion gezwungen, alle manuellen Operationen in Zukunft zu automatisieren.

Gleichzeitig sollen die besonderen Eigenschaften der produktionsseitigen Anforderungen (vgl. Abschnitt 3.2) durch die Entkoppelung der Schritte S3 bis S5 von den Schritten S6 bis S7 optimal ausgenutzt werden.

5.3.2 Umsetzung

Schritt 1: Definition des Betrachtungsbereichs

Durch das Ziel der Entkoppelung von Informationsakquisition und Nutzung ist eine Einschränkung auf ein konkretes Entwicklungsprojekt in dieser Stufe nicht mehr sinnvoll bzw. möglich. Dennoch kann eine Eingrenzung anhand von Produkten mit ähnlicher oder gleicher Produktion erfolgen. So können bspw. lediglich Komponenten einer Produktfamilie betrachtet werden. Grundsätzlich muss aber sichergestellt werden, dass eine direkte Beziehung zwischen den Produktionsbereichen und den Produktgruppen hergestellt ist, und die Produktionsbereiche exklusiv genutzt werden. Ist dies nicht gesichert, können Veränderungen an betrachteten Produkten eine Änderung der Produktionsstruktur bedingen, welche zwar mit den gestellten Anforderungen konsistent ist, aber zu einer Verschlechterung der Produktionsfähigkeit für nicht betrachtete Produkte führt. Die Berücksichtigung aller Produktionsstandorte für die betrachtete Produktgruppe ist nicht zwingend erforderlich, aber dennoch anzustreben. Ist dies nicht der Fall, so werden ggf. Randbedingungen eines Produktionsstandortes nicht berücksichtigt und müssen durch kostenintensive Anpassungen der Produktionsstruktur behoben werden.

Schritt 2: Definition der Organisation

Aufgrund des Ziels, produktionsseitige Anforderungen als Unternehmensfunktion zu etablieren, können die damit verbundenen Aufgaben nicht mit Hilfe einer Projektorganisation bearbeitet werden, sondern müssen fest in die Ablauforganisation integriert werden. Hierbei ist vor allem zwischen den Aufgabenkomplexen der Pflege und Verwaltung der Anforderungen als Gesamtkomplex sowie der Aufnahme und Definition einzelner Anforderungen zu unterscheiden. Während erstere von einer zentralen Instanz koordiniert werden müssen, können letztere dezentral durch die betroffenen Mitarbeiter selbst erfolgen.

Obwohl sich eine konkrete Implementierung unternehmensspezifisch unterscheidet, existieren dennoch drei grundlegende Ansätze zur organisatorischen Einbindung der Aufgaben. Diese sind die Integration in

1. den Entwicklungsbereich,
2. die operative Produktionsplanung sowie
3. die zentrale Produktionsplanung und -entwicklung.

Eine Integration in den Entwicklungsbereich bringt den primären Vorteil, dass der Unternehmensbereich, der für die Nutzung der Anforderungen aus allen weiteren Bereichen verantwortlich ist, eine zentrale Koordination des Aufbaus und der Pflege der Informationsbasis betreiben und eine reibungsfreie Nutzung im Entwicklungsprozess sicherstellen kann. Dem steht vor allem entgegen, dass sich eine thematische und organisatorische Verankerung über die Ressortgrenzen hinweg schwierig darstellt.

Die Durchführung der Aufgaben durch einen operativen Planungsbereich bringt den Vorteil, dass ein unmittelbarer Zugriff auf die operativen Mitarbeiter zur Definition von Anforderungen erfolgen kann. Gleichzeitig ist vor allem die Einbindung in standortübergreifende Probleme sowie die Nutzung der Produktionsstrategie als problematisch zu betrachten. Zusätzlich kann die Auswahl eines operativen Bereichs eine ungleichmäßige Priorisierung der Inhalte verschiedener Standorte erzeugen.

Eine Integration in die zentrale Produktionsplanung und -entwicklung (GEBHARD 2009, S. 5 ff.) bringt die Vorteile einer direkten Anbindung an die Produktionsstrategie sowie die Berücksichtigung aller produzierenden Standorte im Einklang mit der unternehmensstrategischen Ausrichtung. Zusätzliche Vorteile ergeben sich dadurch, dass dieser Bereich die Koordination der SE-Teammitglieder aus der Produktion übernimmt. Somit kann ein enger Informationsfluss der Rückmeldungen und ggf. Fragen aus den laufenden Entwicklungsaktivitäten sichergestellt werden. Nachteile ergeben sich dagegen aus den benötigten Schnittstellen zur operativen Anforderungsaufnahme.

Die in Abbildung 5.2 zusammengefassten Vor- und Nachteile müssen unternehmensintern bewertet werden. Jede der Alternativen lässt eine erfolgreiche Umsetzung des produktionsseitigen Anforderungsmanagements zu. Im Allgemeinen ist die Integration in den Bereich der zentralen Produktionsplanung und -entwicklung aufgrund ihrer Vorteile zur präferieren.

Schritt 3: Informationsakquisition

Bedingt durch den Übergang zu einer kontinuierlichen Aufnahme der Anforderungen müssen die externen Auslöser für Änderungen direkt durch die betroffenen Mitarbeiter aufgenommen und umgesetzt werden. Hierzu müssen in allen produktionsinternen Projekten Mitarbeiter integriert werden, die über ihre eigentliche Aufgabe hinaus für die Definition von produktionsseitigen Anforderungen qualifiziert sind. Diese Multiplikatoren haben zum einen die Aufgabe, bestehende Anforderungen inklusive der Argumentation in Form der Produktionsstrategie in das Projekt zu integrieren. Somit kann Zielen, die im Konflikt zu diesen stehen, schon früh begegnet werden. Zum anderen sind diese Multiplikatoren für die Überprüfung des Projektergebnisses hinsichtlich bestehender, aber auch fehlender Anforderungen verantwortlich. Ein erfolgreicher

Integration in den Entwicklungsbereich	Integration in die operative Produktionsplanung	Integration in die zentrale Produktionsplanung
Vorteile		
Direkte Nutzbarkeit für den Entwicklungsprozess	Zugriff auf operative Anforderungssteller	Übergreifende Nutzung der Produktionsstrategie
		Nutzung durch die SE-Team-Verantwortlichen
Nachteile		
Organisatorische Distanz zur Produktion	Mangelnde Einbindung der Produktionsstrategie	Distanz zu operativer Produktionsplanung
Thematische Distanz zur Produktion	Mangelnde Berücksichtigung anderer Standorte	

Abb. 5.2: Vergleich möglicher Organisationsalternativen

Projektabschluss kann nur erfolgen, wenn diese Überprüfung durchgeführt und ggf. notwendige Anforderungen definiert wurden.

Sobald ein Änderungsbedarf erkannt wird, muss im Projektteam eine alternative Anforderung bzw. eine Änderung an einer bestehenden Anforderung erarbeitet werden. Zur Unterstützung des Prozesses steht ein Anforderungsingenieur der zentralen Organisation zur Verfügung. Sobald der Entwurf erstellt wurde, wird zunächst durch den Multiplikator ein Selbstaudit bezüglich der Qualitätskriterien durchgeführt und ggf. Anpassungen vorgenommen. Eine so aufbereitete Anforderung erhält den Status „Inhaltlich freigegeben.“ Eine erfolgreich evaluierte Anforderung wird an das zentrale Team für eine erweiterte Qualitätssicherung und für die Abstimmung auf Konsistenz mit Anforderungen aus weiteren Projekten übermittelt. Hierzu sind unterstützende Software-Werkzeuge nötig, um den Zeitaufwand für die zusätzlichen Tätigkeiten zu minimieren sowie die formale und inhaltliche Richtigkeit systematisch zu unterstützen.

Damit sowohl der Aufwand für die Ermittlung relevanter Anforderungen für das Produktionsentwicklungsprojekt als auch die Erweiterung bzw. Anpassung der Anforderungen minimiert werden können, ist ein Software-System einzuführen, welches das Ähnlichkeitsmodell verwendet, um die Anwender bei der Definition von Anforderungen zu unterstützen. Wie bereits in Abschnitt 4.6 dargestellt, werden dem Anwender Vorschläge für die Auswahl der Wissensartefakte im Rahmen der primären und sekundären Wissensstruktur auf Basis bestehender Artefakte unterbreitet. Dies bedeutet bspw., dass eine Anforderung, welche die automatisierte Montage von zwei Bauteilen beschreibt, Artefakte für eine ähnliche Anforderung eines anderen Bandbereichs liefert, sobald die ersten Ähnlichkeiten erkannt wurden. Hierbei werden sowohl Elemente aus den Sich-

ten der sekundären Wissensstruktur vorgeschlagen, welche noch nicht dem Artefakt zugeordnet wurden, als auch weitere Elemente für bereits zugeordnete Sichten. Grundsätzlich kann lediglich eine Unterstützung des Anwenders und keine vollautomatisierte Definition von Anforderungen erfolgen. Abbildung 5.3 zeigt beispielhaft die Implementierung des Vorschlagsystems im Rahmen des Softwareprototyps.

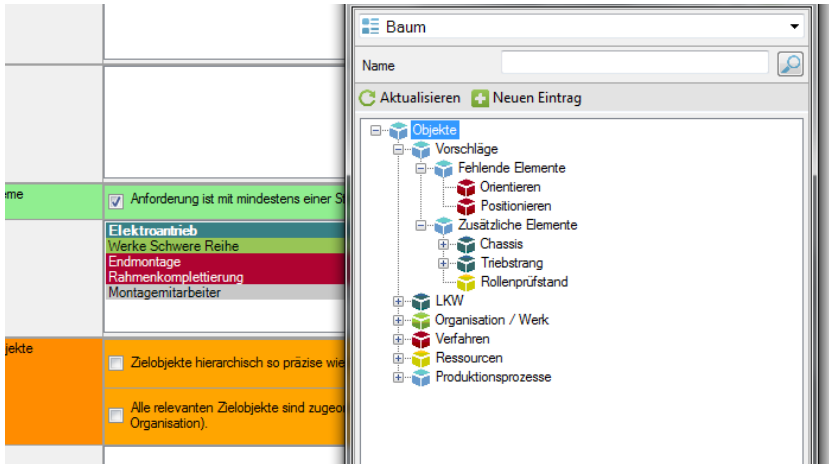


Abb. 5.3: Beispielhafte Implementierung der Vorschläge für Wissensartefakte auf Basis des Ähnlichkeitsmodells

Schritt 4: Informationsaufbereitung

Die Aufbereitung der Anforderungen erfolgt durch die zentrale Organisation in Zusammenarbeit mit den Multiplikatoren. Die bereits durch das Selbstaudit untersuchten Anforderungen werden einer detaillierten Prüfung durch den Anforderungsingenieur unterzogen und, falls möglich, direkt angepasst. Lassen inhaltliche Fragen eine direkte Anpassung nicht zu, wird die Anforderung an den Multiplikator zur weiteren Detaillierung übersandt. Erfüllt die Anforderung alle formalen Kriterien, wird sie durch die zentrale Organisation für eine Freigabe in den entsprechenden Gremien eingereiht und erhält den Status „Formal freigegeben“.

Schritt 5: Freigabe der Wissensartefakte

Die Freigabe der Wissensartefakte erfolgt nach Zusammenstellung durch die zentrale Organisation in einer zyklischen Modalität. Das genaue Intervall muss unternehmensindividuell gewählt und kann situationsabhängig angepasst werden. So ist es ggf. sinnvoll, vor Beginn eines großen Entwicklungsprojekts

außerplanmäßig die relevanten Artefakte freizugeben. Ebenso ist eine Aufteilung von unabhängigen Artefakten auf verschiedene Freigabegremien oder entscheidungsbefugte Personen möglich. Obwohl jede Verkürzung der Durchlaufzeit einer zusätzlichen Anforderung oder eines geänderten Wissensartefaktes die Wirksamkeit des Gesamtkonzepts erhöht, ist hierbei eine unternehmensindividuelle Abwägung zwischen mangelnder Berücksichtigung von Anforderungen aufgrund von noch nicht erreichter Freigabe und organisatorischer Belastung des Managements zu treffen.

Schritt 6: Weitergabe der Wissensartefakte

Die zyklische Freigabe durch ggf. verschiedene Gremien stellt besondere Herausforderungen an die Weitergabe und Nutzung der Anforderungen. Diese resultieren primär aus dem Grundsatz, dass gestellte Anforderungen die Grundlage für Entwicklungstätigkeiten darstellen und eine spätere Änderung oder Erweiterung dieser Anforderungen ggf. einen Teil der geleisteten Entwicklungstätigkeiten obsolet machen und damit die Akzeptanz der Anforderungen gefährden kann.

Im Rahmen der Weitergabe lassen sich die zwei Richtungen des *Informationspulls* und des *Informationspushs* unterscheiden. Im ersten Fall wird der Gesamtumfang aller freigegebenen Anforderungen für neue Entwicklungsprojekte verfügbar gemacht. Diese Projekte können sich zu Projektbeginn über einen standardisierten Vorgang die Anforderungen nutzbar machen. Hierbei ist die Bereitstellung zunächst völlig unabhängig von der Form. Sie kann bspw. über eine Datenbank erfolgen; auch eine Bereitstellung als Lastenheft in gedruckter Form ist möglich. Da für eine spätere Nutzung der Anforderungen im SE-Team zur Überwachung der Umsetzung aller Anforderungen der verschiedenen Unternehmensbereiche zentrale Systeme zum Einsatz kommen, ist die Bereitstellung einer Exportfunktionalität in diese Systeme anzustreben. Dem Projekt werden nur für den Betrachtungsbereich relevante und über das Statussystem verbindliche Anforderungen bereitgestellt.

Der im Rahmen des Nutzungsprozesses kritischere Prozess der *Push*-Bereitstellung betrifft laufende Projekte, welche bereits den Initialexport der Anforderungen durchgeführt haben. Diese müssen aktiv durch die zentrale Organisation über alle Änderungen und Erweiterungen, die sich aus der Freigabe ergeben haben, informiert werden. Hierfür ist wiederum die Form der Information unerheblich und kann über direkte Kommunikation erfolgen. Für eine effiziente Nutzung ist allerdings eine strukturierte Änderungsinformation auf Ebene der Datensätze nötig. Dies bedeutet, dass der Empfänger systematisch für alle Anforderungen die Änderungen sieht und die weitere Verwendung im Zielsystem aufwandsarm durchführen kann.

Schritt 7: Nutzung der Wissensartefakte

Die Nutzung der Anforderungen und der damit verbundenen Wissensartefakte erfolgt im Rahmen der Bearbeitung durch das SE-Team. Die durch die Produktion eingebrachten Anforderungen werden zusammen mit den Anforderungen aller Unternehmensbereiche diskutiert und bei Widersprüchen zwischen den Anforderungen im Bezug auf das Gesamtunternehmen ausgewählt. Anforderungen, die in dieser Phase bereits als konträr erkannt werden können, müssen von allen Beteiligten auf Basis von Grobbewertungen bezüglich ihrer Auswirkungen dargestellt werden. Die Vertreter der entwickelnden Bereiche nehmen in diesem Prozess eine moderierende Rolle ein, da sie gegenüber den bereichsspezifischen Motivationen neutral sind⁶⁴. Die Dokumentation der für das Projekt gültigen Summe an Anforderungen aus allen Unternehmensbereichen muss ebenso erfolgen wie die Dokumentation und die monetäre Beachtung abgelehnter Anforderungen. Dies kann bspw. die Missachtung einer Größenvorgabe der Produktion zugunsten eines erweiterten Kundenkreises darstellen. Solange die in der Produktion anfallenden Mehrkosten die größeren Erträge nicht überschreiten, ist unternehmensweit eine Missachtung der Anforderung zulässig. Um einer bereichsspezifischen Kennzahlenoptimierung zu Lasten des Gesamtoptimums entgegenzuwirken, müssen die Mehrkosten sowie die Mehreinnahmen dokumentiert und bspw. die veranschlagten Herstellkosten erhöht werden. Es empfiehlt sich dennoch, die abgelehnten Anforderungen den Entwicklern zugänglich zu machen, da nicht auszuschließen ist, dass eine konstruktive Lösung dennoch im Stande ist, diese zu erfüllen. Obwohl damit der ursprünglich angenommene Widerspruch nie Bestand hatte und damit nie zum Ausschluss hätte führen sollen, sind diese Fälle in der Praxis zu erwarten. Gegenüber bestehenden Anforderungen haben abgelehnte keine Verbindlichkeit und sind daher bei der Weitergabe als solche zu kennzeichnen.

Änderungen an Anforderungen, die das Projektteam betreffen, welche im Rahmen einer *Push*-Information empfangen werden, dürfen nicht automatisch die gleiche Verbindlichkeit wie die ursprünglichen Anforderungen erhalten. Andernfalls würde die Verbindlichkeit von Anforderungen in Frage gestellt und die effiziente Arbeit mit diesen gefährdet werden. Das projektspezifische Lastenheft wurde bereits im Team festgelegt und die Entwicklungsaktivitäten entsprechend ausgelegt. Damit sind alle späteren Änderungen zunächst als

⁶⁴ Die zentrale Aufgabe der entwickelnden Bereiche ist die Definition eines Produkts, welches die Anforderungen aller Stakeholder unternehmensoptimal erfüllt. Vor diesem Ziel sind lokale Optimierungen innerhalb der Bereiche dem globalen Optimum untergeordnet. Lässt bspw. eine mögliche Gestaltung eines Produkts Einsparungen im Bereich der Fertigung zu, erzeugt aber gleichzeitig deutlich höhere Kosten im Einkauf, ist ein Konzept zu wählen, welches hierbei die unternehmensoptimale Berücksichtigung der Anforderungen realisiert. Aus Sicht eines einzelnen Fachbereiches stellt dabei die Lösung einen suboptimalen Zustand dar.

optional zu betrachten und sollten unabhängig von der Entscheidung, ob sie zu einer verbindlichen Änderung führen, allen Projektbeteiligten zur Information verfügbar gemacht werden. Es lassen sich hierbei folgende Fälle unterscheiden:

Fall 1a: Die Änderung konkretisiert eine akzeptierte Anforderung, welche zum aktuellen Projektfortschritt noch nicht relevant war. Ein Beispiel hierfür ist die Definition von Aushubschrägen für Gußteile. Solange das Projekt sich noch in einer Grobphase befindet und weder CAD-Modelle noch Werkzeuge existieren, können diese konkretisiert werden. Diese Anforderungen müssen innerhalb des Projektteams diskutiert werden und als dokumentierte Erweiterung dem Lastenheft hinzugefügt werden.

Fall 1b: Die Änderung konkretisiert eine akzeptierte Anforderung, welche zum aktuellen Projektfortschritt bereits relevant war und in Konstruktionen Berücksichtigung gefunden hat. In diesem Fall ist zunächst zu prüfen, ob es sich hierbei um eine Relaxion handelt, welche die erarbeitete Lösung beinhaltet. Ist dies der Fall, so kann die Anforderung nach Information des Teams im Lastenheft angepasst werden. Aufgrund der Verbindlichkeit von Anforderungen ist von einer kostenintensiven Optimierung der bestehenden Konstruktion abzu-
sehen, auch wenn dadurch Konstruktionsalternativen ermöglicht werden. Eine Relaxion erlaubt bspw. dünnere Wandstärken und damit eine Gewichtseinsparung am Endprodukt. Um allerdings die Verbindlichkeit von Anforderungen zu gewährleisten, erfolgt keine Neuentwicklung des Bauteils, falls dieses bereits fertiggestellt wurde.

Fall 1c: Die Änderung konkretisiert eine akzeptierte Anforderung, die in ihrer alten, aber nicht in der neuen Form durch die aktuelle Konstruktion erfüllt würde. Hierbei hat zunächst die ursprüngliche Anforderung Vorrang. In diesem Fall ist grundsätzlich die zentrale Organisation zur Klärung des Gesamtzusammenhangs hinzuzuziehen und die Auswirkung im Rahmen einer Grobbewertung abzuschätzen. Sollten die erwarteten Mehrkosten innerhalb der Produktion mögliche Änderungen und ggf. Kosten durch Terminverschiebung im Gesamtprojekt übersteigen, so ist diese aktiv durch die Vertreter der Produktion in das SE-Team einzubringen. Die Meldung und Koordination durch die zentrale Organisation ist von besonderer Wichtigkeit, da mehrere unabhängig voneinander agierende SE-Teams den gleichen Widerspruch erzeugen können. Mehrkosten können u. U. nur bei gleichzeitiger Vermeidung der Verletzung der Anforderung in allen Projekten ausgeschlossen werden. Es ist bspw. unerheblich, ob ein Projektteam oder mehrere die zugelassenen maximalen Produktabmessungen verletzen und damit Änderungen an der Produktionsinfrastruktur bedingen. Eine Anpassung der bereits bestehenden Konstruktion und der Projektpläne darf nur im Ausnahmefall durchgeführt werden, da dies mit erheblichen Konsequenzen verbunden ist.

Fall 2a: Die Änderung betrifft eine abgelehnte Anforderung, welche in ihrer neuen Form nicht mehr im Widerspruch steht. Diese kann von dem Projektteam als verbindliche Anforderung akzeptiert und in das Lastenheft mit aufgenommen werden. Ab diesem Zeitpunkt unterscheidet sich die Anforderung nicht mehr von ursprünglich verbindlichen Anforderungen und ist in keiner Weise untergeordnet.

Fall 2b: Die Änderung betrifft eine abgelehnte Anforderung, welche in ihrer neuen Form noch immer im Widerspruch zu anderen Anforderungen steht. Obwohl eine Neuevaluation gegenüber der im Widerspruch stehenden Anforderung möglich ist, ist hiervon abzuraten. Die Anforderung sowie die Änderung für dieses Projekt sind weiterhin abzulehnen, da die Diskussion bereits im Projektteam geführt wurde.

5.3.3 Evaluierung

Ziel der dritten Stufe ist primär die Trennung der aufnehmenden von nutzenden Tätigkeiten und die damit verbundene Einführung zentral koordinierter Prozesse. Durch den Übergang zu einer kontinuierlichen Betrachtung werden zum einen Prozesse notwendig, welche eine Beobachtung der Randbedingungen und die Definition bzw. Änderung von bestehenden Artefakten ermöglichen. Hieraus resultiert die Notwendigkeit nach einer stärkeren Arbeitsteilung zur Generierung, Aufbereitung und Freigabe der Artefakte. Zum anderen muss sichergestellt sein, dass zu jedem Start eines Entwicklungsprojekts eine gültige Menge an Anforderungen und den damit verbundenen Elementen im Sinne der primären Wissensstruktur zur Verfügung steht. Neben der Aufnahme bestehender Anforderungen zu Beginn eines Entwicklungsprojekts, ist ein Prozess zum Umgang mit Änderungen bzw. Erweiterungen der Anforderungen für laufende Projekte für die vollständige Erreichung der dritten Stufe einzuführen. Aufgrund der Komplexität, sowohl im Bezug auf die generierten Wissensartefakte als auch die Verwendung in einer Vielzahl von asynchronen Prozessen, ist die einheitliche Nutzung eines Software-Systems zur Abbildung der Wissensstruktur und des Prozesses ebenfalls Voraussetzung. Tabelle 5.4 stellt die Evaluierungskriterien für Stufe drei zusammenfassend dar.

5.4 Stufe 4: Mathematisch-monetäre Gesamtbewertung

Während bisherige Stufen zunächst die Wirkzusammenhänge von Problemen, Anforderungen und Produktionskonzepten qualitativ darstellten, ist es Ziel der vierten Stufe, ein durchgehendes, durch mathematische Zusammenhänge ausgedrücktes Gefüge zu erzeugen und somit eine direkt monetär bewertbare Aussage für jede Anforderungsabweichung bereitzustellen. Dies ermöglicht,

Tabelle 5.4: Evaluierungskriterien für Stufe 3

Nummer	Beschreibung
E3.1	Es ist ein Prozess definiert, welcher sicherstellt, dass für jede Änderung der Produktionsstrategie eine Überprüfung und ggf. Anpassung der produktionsseitigen Anforderungen stattfindet.
E3.2	Es ist ein Prozess definiert, welcher sicherstellt, dass zu jedem Zeitpunkt eine gültige Anforderungsliste für neue Entwicklungsprozesse erzeugt werden kann.
E3.3	Es existiert eine Organisationseinheit, welche die Durchführung und Anpassung des Prozesses verantwortet.
E3.4	Alle Prozessschritte werden durch ein Softwarewerkzeug unterstützt.
E3.5	Es ist ein Prozess zu Sicherstellung der Aktualität und Qualität der Anforderungen etabliert.
E3.6	Es ist ein Prozess zur Integration neuer Anforderungen und Änderungen an Anforderungen in laufenden Entwicklungsprojekten etabliert.
E3.7	Es ist ein Prozess zur Integration neuer Betrachtungsbereiche aus den Entwicklungsprojekten etabliert.

sofern andere Unternehmensbereiche eine vergleichbare Anforderungsqualität erreicht haben, die systematische Optimierung aller Anforderungen an ein zukünftiges Produkt.

5.4.1 Zielsetzung

Ziel der Implementierung auf Stufe vier ist die Bereitstellung eines vollständigen, mathematisch-monetären Gesamtmodells zur Abschätzung der Auswirkungen von nicht erfüllten produktionsseitigen Anforderungen sowie die Integration der Nutzung dieses Modells in die Entwicklungstätigkeit im Rahmen des SE. Hierbei ist zu beachten, dass das in dieser Arbeit entwickelte Gesamtkonzept für das produktionsseitige Anforderungsmanagement naturgemäß die Definition der Modelle für die Anforderungen der Produktion berücksichtigt. Für eine vollständige Optimierung müssten allerdings auch die Anforderungen der weiteren Unternehmensbereiche in gleicher Qualität vorliegen.

5.4.2 Umsetzung

Die einzelnen Schritte der Implementierung unterscheiden sich nicht maßgeblich von denen in Stufe drei. Daher soll an dieser Stelle lediglich auf die Erweiterungen, welche für die Erstellung und Nutzung des Modells notwendig sind,

eingegangen werden. Grundlegende Schritte entsprechen denen aus Schritt drei.

Schritt 2: Definition der Organisation

Die bereits in Stufe drei eingeführte, zentrale Organisation, welcher die zentrale Koordination und Verwaltung der Aktivitäten obliegt, muss um die notwendige Kompetenz und Kapazität zur Modellierung der monetären Wirkzusammenhänge erweitert werden. Obwohl weiterhin eine dezentrale Aufnahme der Artefakte erfolgt, muss vor allem im Fall der komplexen Modellierung eine zentrale Unterstützung erfolgen.

Schritt 3: Informationsakquisition

Die operativen Bereiche, welche in Stufe drei bereits die eigenständige Definition der Anforderungen, Probleme und Vorschläge vorgenommen haben, müssen zur Erreichung der vierten Stufe qualifiziert werden, Modelle zur Analyse der Auswirkung im Sinne der Modellierungsvorschrift (vgl. Abschnitt 4.7) aufzusetzen. Hierzu müssen im Unternehmen sowohl Qualifikationsmaßnahmen als auch eine parallele Unterstützungsleistung durch Modellierungsexperten des zentralen Bereichs bereitgestellt werden. Unabhängig von der Komplexität ist eine dezentrale Erstellung auch in diesem Fall möglich, da vor allem die Zusammenhänge der einzelnen Anforderungen einer vergleichsweise geringen Komplexität unterliegen. Die Elemente der Produktionsstrategie weisen, nach der in Abschnitt 4.7 vorgestellten Vereinfachungen, noch immer den eigentlichen Modellierungsaufwand auf. Dieser muss durch die zentrale Organisation in enger Abstimmung mit Unternehmensfunktionen erfolgen, welche für die Produktionsstrategie verantwortlich sind.

Schritt 4: Informationsaufbereitung

Die grundsätzliche Vorgehensweise des Selbstaudits sowie der Überprüfung durch einen Verantwortlichen der zentralen Organisation bleibt auch bei der Verwendung des mathematischen Modells uneingeschränkt erhalten. Besonders im Bezug auf Wissensartefakte der Klassen Strategie und Problem kommt der Überprüfung des Modells und der freigegebenen Modellparameter eine besondere Bedeutung zu.

Schritt 7: Nutzung der Wissensartefakte

Die mathematische Formulierung der Wirkzusammenhänge unterstützt die Entscheidung, welche Anforderungen in das Lastenheft für ein Projekt aufgenommen werden sollen. Liegen Anforderungen aus allen Bereichen vor, so kann eine mathematische Optimierung eine optimale Auswahl der aufzunehmenden Anforderungen inklusive der Veränderung der Einnahmen- und Kostenprognosen bereitstellen. Liegen die Informationen der anderen Bereiche noch nicht

vollständig in der notwendigen Datenqualität vor, so können die Modelle dennoch für einzelne Szenariobetrachtungen herangezogen werden. Hierbei lassen sich Aussagen über die Auswirkung der Verletzung einer Anforderung oder den Ausschluss vom Lastenheft ad-hoc treffen. Vor einer Verwendung der Modelle müssen zunächst die projektspezifischen (bspw. Stückzahlen für die zu entwickelnde Variante) sowie unternehmensweiten Parameter (bspw. Lohnkosten oder Zinssätze) festgelegt bzw. abgerufen werden. Diese lassen sich, in Abhängigkeit von der Entscheidungskultur im Unternehmen, im Rahmen einer Szenariobetrachtung variieren oder mit Unsicherheiten hinterlegen. Unabhängig von der mathematischen Genauigkeit der Optimierung, basieren die Modelle auf starken Vereinfachungen und dienen der groben Abschätzung der Auswirkungen. Dieses Verständnis ist für die Bearbeitung innerhalb des Teams notwendig. Die Modellierung und Optimierung unterstützt eine fundierte Diskussion der Anforderungen der Bereiche vor dem Hintergrund einer unternehmensweiten Zielstellung gegenüber der bereichsspezifischen Betrachtung. Sie kann aber in keinem Fall eine automatisierte Anforderungsbeantwortung, also die Erzeugung von Produktkonzepten mit maximaler Anforderungserfüllung, leisten.

5.4.3 Evaluierung

Stufe 4 ist erreicht, wenn das Gesamtmodell der Abhängigkeiten der Anforderungen mit den Elementen der primären Wissensstruktur vollständig abgebildet ist. Zusätzlich sind der Ausbau der zentralen Organisation bezüglich der Kapazitäten und Kompetenzen zur Erstellung der Modelle für die Artefakte der Klasse Strategie durchzuführen und die operativen Anforderungssteller für die Erstellung der Modelle bzw. der Modellverknüpfungen zu qualifizieren. Tabelle 5.5 stellt die Evaluierungskriterien für Stufe 4 zusammenfassend dar.

Die Einführung geeigneter Modelle in allen am Entwicklungsprozess beteiligten Bereichen ist für die Durchführung der mathematischen Optimierung notwendig. Allerdings ist diese nicht direkt durch den Bereich des produktionsseitigen Anforderungsmanagements beeinflussbar und es darf daher keine Berücksichtigung in den Evaluierungskriterien finden. Auf Gesamtunternehmensebene ist aber die Bewertung der Umsetzung für alle Bereiche anzustreben.

5.5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Kapitels wurde, aufbauend auf den Grundmodellen des produktionsseitigen Anforderungsmanagements, ein allgemeingültiges Prozessmodell vorgestellt, welches eine Implementierung in vier Detaillierungsstufen zulässt. Diese Stufen unterscheiden sich sowohl im Betrachtungsbereich der

Tabelle 5.5: Evaluierungskriterien für Stufe 4

Nummer	Beschreibung
E4.1	Für alle Wissensartefakte der Klasse Strategie existiert ein mathematisches Modell.
E4.2	Für alle Wissensartefakte der Klasse Problem existiert ein mathematisches Modell.
E4.3	Alle Wissensartefakte der Klasse Anforderung sind mit Modellen der verknüpften Elemente verbunden.
E4.4	Die zentrale Organisationseinheit kann mit Kompetenzen und Kapazitäten die Modelldefinition unterstützen.
E4.5	Alle Multiplikatoren, welche für die Akquisition neuer Anforderungen verantwortlich sind, wurden für den Umgang mit den Modellen qualifiziert.
E4.6	Alle Produktionsvertreter in SE-Teams sind im Umgang mit den Modellen qualifiziert.

Anforderungen, welcher von einem einzelnen Entwicklungsprojekt und Produktionsbereich in Stufe eins bis hin zu einer vollständigen Betrachtung aller Entwicklungsprojekte und aller produzierenden Bereiche in Stufe vier reicht. Zusätzlich erfolgt eine zunehmende Orientierung an Anforderungen im eigentlichen Sinne. Das Konzept geht damit über die primäre Sensibilisierung und Homogenisierung der Anforderungen aus Sicht der Produktion hinaus. Die damit verbundene zunehmende Komplexität der Prozesse und Daten erfordert eine strikte Nutzung der entwickelten Modelle sowie eine informationstechnische Unterstützung. Um eine spätere Migration von einer Stufe zur nächsten zu ermöglichen, basieren alle Implementierungsstufen auf den gleichen Grundmodellen und ermöglichen bereits früh eine Sensibilisierung für das Wissensmodell. Spätestens ab Stufe drei ist ein durchgängiges Software-Werkzeug zur Unterstützung des Gesamtprozesses notwendig, um eine zielgerichtete Prozessdurchführung unter Berücksichtigung der dezentralen Informationsakquisition zu ermöglichen. Hierfür bildet das Ähnlichkeitsmodell die Grundlage für eine Unterstützung der Anwender durch die Möglichkeit, Verknüpfungen ähnlicher Artefakte zu übernehmen. Zusätzlich erfordert der Übergang zu einem kontinuierlichen Prozess eine zentrale Steuerungs- und Koordinationsinstanz, für welche sich verschiedene Alternativen bezüglich der organisatorischen Eingliederung ergeben. Auf höheren Implementierungsstufen erfolgt eine stärkere Arbeitsteilung und damit eine zunehmende Nutzung der definierten Rollen und Rechte. Die definierten Evaluierungskriterien ermöglichen es späteren Anwendern, den Umsetzungsstand zu bewerten und im Unternehmen zu steuern.

Das folgende Kapitel zeigt die beispielhafte Anwendung des Gesamtkonzepts in der Industrie und stellt den hierfür entwickelten Softwareprototypen vor.

6 Implementierung und Anwendung des Gesamtkonzepts

6.1 Allgemeines

Das vorgestellte Gesamtkonzept für das produktionsseitige Anforderungsmanagement konnte in einem umfassenden industriellen Anwendungsfall in der Nutzfahrzeugbranche in einer Vielzahl von Projekten an verschiedenen internationalen Standorten. Die hier präsentierten Ergebnisse beziehen sich auf die Implementierung und Anwendung des Gesamtkonzepts. Inhalte der Wissensartefakte, welche für die Evaluation des Konzepts nicht notwendig sind, wurden zum Teil angepasst, um sensible Informationen zu schützen.

Grundlage für eine industrielle Anwendung bildet ein Software-System, welches sowohl das Wissensmodell als auch die Rollen und Prozesse abbildet. Dieser Software-Prototyp wird in Abschnitt 6.2 detailliert beschrieben, wobei auf eine genaue Darstellung der Implementierung des Programmcodes verzichtet wird. Die Anwendung des Konzepts, sowohl im Allgemeinen als auch in einem konkreten Projekt, wird in Abschnitt 6.3 beschrieben. Abschnitt 6.4 liefert eine detaillierte Übersicht über den benötigten Kapazitätsbedarf zur Einführung des produktionsseitigen AM. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse und eine kritische Evaluation des Gesamtkonzepts findet sich in Abschnitt 6.5.

6.2 Implementierung in einer Software

Zur Unterstützung der Evaluation des Gesamtkonzepts wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Software entwickelt, welche für den industriellen Einsatz geeignet ist und es somit ermöglicht, eine reale Implementierung durchzuführen. Gleichzeitig folgte die Software-Entwicklung einigen Randbedingungen, welche beim Anwendungspartner bestanden. Ziel war es, mit minimalen administrativen Anpassungen eine Unterstützung der Regelprozesse zu gewährleisten. Das Ergebnis dieser Entwicklung stellt der „Production Requirement Explorer“ oder kurz „PREX“ dar.

Das Wissensmodell wurde in Form einer Entity-Relationship-Datenbank aufgebaut. Hierbei kam das Datenbankformat Microsoft Access zum Einsatz, da dieses ohne weitere Modifikationen der Systemlandschaft eingesetzt und während der Entwicklungs- und Evaluierungsphase angepasst werden konnte. Alternative Datenbanksysteme, wie bspw. MySQL oder MariaDB, schieden

trotz ihrer höheren Leistungsfähigkeit aus, da dies sowohl eine Anpassung der Serverarchitektur im Unternehmen als auch der Infrastruktur auf Nutzerseite bedeutet. Grundsätzlich sieht die Architektur der Software aber die Nutzung von weiteren Datenbanksystemen vor. Die gezeigten Tabellen repräsentieren die Objekte der Artefaktklassen Anforderung, Strategie und Problem und bilden über die Verbindungen das primäre Wissensmodell ab. Da es sich bei allen Zuordnungen um n:m-Beziehungen handelt, sind zusätzliche Tabellen zur Abbildung der Relationen notwendig. Jede Tabelle erlaubt die Definition einer Baumstruktur über einen Verweis eines Datensatzes auf einen weiteren innerhalb der gleichen Tabelle. Alle Elemente des sekundären Wissensmodells finden sich in Form einer Baumstruktur in der Tabelle *T_OBJECTS* wieder. Dies ist möglich, da die Elemente der sekundären Wissensstruktur auf oberster Ebene einen gemeinsamen Knoten aufweisen, welcher alle Elemente enthält. Zusätzliche Tabellen sind für die Verwaltung der Nutzer und bspw. der angehängten Dateien nötig. Eine vollständige Beschreibung würde an dieser Stelle den Rahmen der Arbeit übersteigen. Grundsätzlich folgen die Tabellenbezeichnungen der Konvention, dass es sich bei Tabellen, deren Name mit „*T_*“ beginnt, um Tabellen mit konkretem Inhalt handelt. Beginnt der Name mit einem „*R_*“, so handelt es sich um eine Verknüpfungstabelle, welche lediglich die Relation zwischen den beiden Tabellen im Namen in Reihenfolge des Auftretens erhält. Die Tabelle *R_REQUIREMENT_OBJECT* verknüpft die Tabelle *T_REQUIREMENTS* in der Tabelle *T_OBJECTS* und zwar in der Form, dass der primäre Index *DB_ID* der ersten Tabelle dem Feld *DB_CHILD* und der primäre Index der zweiten Tabelle dem Feld *DB_PARENT* entspricht. Das allen Feldnamen vorangestellte Prefix *DB_* stellt sicher, dass auch bei Verwendung anderer Datenbanksysteme keine Überschneidung mit geschützten Bezeichnungen auftritt. Die Feldbezeichnung *COUNT* stellt bspw. bei vielen SQL⁶⁵-konformen Sprachen eine unzulässige Feldbezeichnung dar, da keine eindeutige Unterscheidung zwischen der Summationsfunktion und dem Feld möglich ist.

Obwohl die Datenbankumgebung Microsoft Access Möglichkeiten für die Erstellung eines grafischen Nutzerinterfaces zur Verfügung stellt, erfolgte die Entwicklung als unabhängige Anwendung hiervon. Zum einen konnte so die Möglichkeit zur Integration anderer Datenbanken gewahrt, zum anderen wurden so Einschränkungen in der Oberflächengestaltung umgangen. Diese zeigten sich vor allem bei der Darstellung von Baumstrukturen sowie der Implementierung

⁶⁵ SQL ist eine Datenbanksprache zur Definition von Datenstrukturen in relationalen Datenbanken sowie zum Bearbeiten (Einfügen, Verändern, Löschen) und Abfragen von darauf basierenden Datenbeständen. Moderne Datenbanksysteme implementieren diesen Standard in weiten Teilen, sodass Aufbau und Nutzung von Datenbankstrukturen unabhängig vom Anbieter des Systems erfolgen kann. Eine detaillierte Einführung in SQL findet sich bei DATE & DARWEN (1997), LEITENBAUER (2003) und UNTERSTEIN & MATTHIESSEN (2012).

des Rechtesystems. Da das Betriebssystem aller Nutzer Microsoft Windows XP bzw. zu Ende des Projekts auch vereinzelt Windows 7 darstellte und eine webbasierte Anwendung aufgrund der Anforderung A1 nicht möglich war, wurde die Anwendung auf Basis des .NET Frameworks⁶⁶ in der Programmiersprache C# erstellt. Der verteilte Zugriff erfolgte über bereits vorhandene Netzwerkfreigaben für das bestehende Dateisystem⁶⁷.

Da es vor allem in der frühen Phase der Konzeptevaluation häufig zu Änderungen der Felder, Feldbezeichnungen, aber auch der entsprechenden Feldrechte kam, wurde ein Ansatz zur dynamischen Generierung der Anwendung ohne Veränderung des Quellcodes implementiert. Dies bedeutet, dass die Gestaltung der Nutzeroberfläche sowie der logischen Verknüpfung der Felder (bspw. Ausblenden oder Deaktivieren) in Form einer editierbaren XML⁶⁸-Datei festgelegt wurde.

Die Oberfläche besteht aus einzelnen Tabulatorseiten (*Pages*), welche sowohl Steuerelemente als auch verdeckte Elemente wie Sortierungsbausteine enthalten. Diese Elemente verlangen eine definierte Anzahl an Parametern, welche sie bspw. mit einem Feld der Datenbank verknüpfen. Das Element *FieldText* erzeugt ein einzeliges Eingabefeld, welches mit dem gleichnamigen Feld des Datensatzes verknüpft ist (bspw. *DB_NAME*). Zusätzlich lassen sich die Grundfunktionalitäten durch zusätzliche Parameter erweitert steuern. So ermöglicht beispielsweise die Definition des Lese- und Schreibrechts eine Einschränkung des Zugriffs abhängig vom aktuellen Status des Datensatzes bis hin zur Modifikation der Inhalte durch Kombination mehrerer Spalten mit Hilfe von SQL-Abfragen. Programmcode 8.1 im Anhang zeigt einen Ausschnitt aus der Konfigurationsdatei. Die Identifikation der Nutzer erfolgt über den angemeldeten Windows-Benutzer, wodurch auf ein zusätzliches Passwort verzichtet

⁶⁶ .NET stellt eine Plattform zur Entwicklung und Ausführung von Software-Anwendungen dar. Sie wurde von der Firma Microsoft entwickelt, um bestehende Plattformen zu vereinen und somit die Entwicklungsgeschwindigkeit sowie die Verbreitung von Anwendungen zu beschleunigen. Eine Einführung über die Entwicklung, Vorteile und Einschränkungen findet sich bei RODEN (2008). Im Kontext dieser Arbeit bildete vor allem die schnelle Entwicklungsgeschwindigkeit durch das .NET Framework sowie die darauf aufbauende Programmiersprache C# die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl.

⁶⁷ Server Message Block (SMB) ist ein Kommunikationsprotokoll, welches u. A. den Austausch von Dateien in einem Microsoft Windows basierten Rechnernetzwerk ermöglicht. Aufgrund seiner Implementierung in diesen Betriebssystemen stellt es keine weiteren Anforderungen an zusätzliche Software oder Wissen des Nutzers. Eine vollständige Erklärung findet sich bei ZISLER (2013, S. 235 ff.).

⁶⁸ Die XML-Sprache erlaubt eine systemunabhängige und anwendungsfallabhängige Beschreibung von Informationen in Form einer erweiterbaren Baumstruktur. Aufgrund des hohen Maßes an Standardisierung bildet sie die Grundlage für eine Vielzahl aktueller Dateiformate. Detaillierte Informationen finden sich bspw. bei LOBIN (2000), HAROLD (2002), MINTERT (2002), BECHER (2009) und VONHOEGEN (2013).

werden⁶⁹ kann. Die eigentliche Rechteverwaltung erfolgt innerhalb der Software und erlaubt sowohl die Definition und Verwendung von datensatzabhängigen Rechten (bspw. Ersteller) als auch nutzerabhängigen Rechten (bspw. Mitglied der Gruppe Anforderungsingenieur) und jede Kombination hiervon. Mit Hilfe dieser Rechte lässt sich die Sicht und das Schreibrecht auf einen ganzen Bereich sowie auf einzelne Felder in Abhängigkeit des Status des Elements festlegen. So ist es bspw. möglich, die Änderung des Namens während der Entwurfsphase nur auf den Ersteller einer Anforderung zu beschränken. Nach der inhaltlichen Freigabe erhält lediglich der Auditor das Änderungsrecht, während der Ersteller das Feld nur sehen kann. Das Feld Auditor kann hingegen sowohl vom aktuellen Auditor als auch von jedem Mitglied der Auditorengruppe geändert werden, sodass eine Übernahme von Anforderung für die Auditierung bzw. die Delegation innerhalb des Auditorenteams möglich bleibt.

Die Exportfunktionalität wurde für die Formate Microsoft Excel, Microsoft Word und Microsoft PowerPoint umgesetzt. Hierbei wurden dem Nutzer sowohl die Erstellung komplexer Vorlagen auf Basis von sog. XSL-Transformationen⁷⁰ zur Verfügung gestellt; als auch die Möglichkeit zur Erzeugung individueller Vorlagen mit benannten Platzhaltern eingeräumt. Grundsätzlich wurde diese Funktionalität so gestaltet, dass sie von versierten Nutzern des Lastenheftteams durchgeführt werden kann. Zusätzlich stehen einfache und leicht zu konfigurierende Formate wie Textdateien und *Rich Text Formate* zur Verfügung. Zur Unterstützung der Nutzung in während der Projektzeit variierenden Software-Systemen der Produktentwicklung, wurden entsprechende Exportfunktionalitäten bspw. für JedWin⁷¹ erstellt.

Funktionen zur systematischen Auswertung der Wissensartefakte in verschiedenen Stufen des Prozesses sowie die Identifikation der offenen Qualitätskriterien für die Artefakte erlauben eine gezielte Steuerung des Umsetzungs- und Einführungsfortschritts sowie die gezielte Unterstützung von Mitarbeitern mit einer

⁶⁹ Diese Eigenschaft des Werkzeugs hat unerwartet für einen erheblichen Zuspruch innerhalb des Nutzerkreises gesorgt und die Akzeptanz gegenüber anderen Software-Systemen erheblich erhöht.

⁷⁰ Dokumente, welche Extensible Markup Language (XML)-konform aufgebaut sind, lassen sich mit Hilfe von Transformationen in weitere XML-Dokumente überführen. Diese Überführungsregeln werden mit Hilfe der Extensible Stylesheet Language Transformation (XSLT)-Sprache definiert und von Interpretatoren umgesetzt. Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem Aufbau aller gängigen Microsoft Office-Dokumente als XML-Dokument zu. Somit lassen sich aufwandsarm strukturierte Informationen in nutzbare Office-Dokumente überführen. Detaillierte Informationen finden sich bspw. bei TIDWELL (2002), BONGERS (2004) und BECHER (2009).

⁷¹ Das Software-System JedWin stellt ein proprietäres Produkt der EDAG Production Solutions GmbH dar und bildet u. a. die Basis für den Aufbau relationaler Datenbanken für den industriellen Einsatz. Im gegebenen Anwendungsbeispiel erfolgte die Verwaltung der Produkthanforderungen mit diesem System. Detaillierte Informationen finden sich auf der entsprechenden Webseite des Herstellers (www.jedwin.de).

Vielzahl offener bzw. noch nicht final freigegebener Artefakte. Darüber hinaus unterstützt das System durch die gezielte Aufbereitung von Artefakten, die ein gewisses Alter überschritten haben, und stößt einen Überprüfungs- bzw. Überarbeitungsprozess für diese an.

Der Software-Prototyp enthält umfangreiche Unterstützungsfunktionen wie bspw. ein Kommentarsystem, welches die Erstellung von Anmerkungen zu Anforderungen im Freigabeprozess bereitstellt, die Möglichkeit eine direkte Sprungmarke aus Microsoft Excel Dateien zu Anforderungen zu erstellen sowie eine Benachrichtigungsfunktion welche über neue Aufgaben, wie bspw. Audierungen informiert. Diese Funktionen standen nicht im Kern dieser Arbeit, waren aber für die erfolgreiche Einführung des Softwarewerkzeugs im Betrieb des Forschungspartners von erheblicher Bedeutung und der Akzeptanz des Gesamtkonzepts zuträglich.

6.3 Anwendung des Gesamtkonzepts

6.3.1 Beschreibung der Fallbeispiele

Die Umsetzung des Gesamtkonzepts erfolgte beim Industriepartner MAN Truck & Bus AG⁷². Die Nutzfahrzeugsparte der übergeordneten MAN SE produziert weltweit Lastkraftwagen mit einer Nutzlast von 7,5 t bis 44 t, Sonderfahrzeuge bis 250 t sowie Stadt- und Reisebusse (MAN 2013, S. 4).

Der Praxiseinsatz des entwickelten Gesamtkonzepts soll im Folgenden an drei Anwendungsgebieten dargestellt werden. Zum einen erfolgte eine großflächige Implementierung im Bereich der Fertigung von Fahrerhäusern und der Montage der Fahrzeuge, primär am Standort in München. Hierbei lag der Fokus auf der Einführung der Methodik sowie der Evaluierung der Abläufe (Abschnitt 6.3.2). Im zweiten Anwendungsfall erfolgte die Erstellung eines Lastenhefts für eine neue Busgeneration. Hierzu wurde das Konzept an drei internationalen Produktionsstandorten eingesetzt. Während im Rahmen der Durchführung vor allem das Erstellen eines diskreten Lastenhefts im Vordergrund stand, sollen an dieser Stelle die Eignung des Konzepts für eine verteilte Arbeit an mehreren Standorten im Rahmen einer stark verkürzten Durchführung diskutiert werden (Abschnitt 6.3.3). Das dritte Anwendungsbeispiel greift

⁷² Im Rahmen der Projektlaufzeit erfolgte sowohl eine Änderung der Firmierung als auch eine Änderung der Geschäftsstruktur, u. a. durch die verstärkte Kooperation mit bzw. die Eingliederung in den Volkswagen Konzern. Die Bezeichnungen MAN Truck & Bus AG sowie MAN Commercial Vehicles finden zum Zeitpunkt Dezember 2014 beide Verwendung und bezeichnen die Nutzfahrzeugsparte innerhalb der MAN SE. Commercial Vehicles enthält neben der MAN Truck & Bus AG noch MAN Latin America (MAN 2013, S. 4).

exemplarisch die Nutzung und Detaillierung der gewonnenen Daten für die Entwicklung eines Hybridfahrzeugs auf und zeigt an einigen stark vereinfachten Beispielen den Mehrwert der Integration in die frühe Phase der Entwicklung (Abschnitt 6.3.4). Abschließend erfolgt eine Bewertung der Einführung des Gesamtkonzepts auf Basis des Stufenmodells.

6.3.2 Fall 1: Einführung des Gesamtkonzepts für den Bereich LKW

Die Einführung des Konzeptes sollte primär im Bereich der Fahrzeugendmontage und der Fahrerhausherstellung erfolgen. Letztere lässt sich weiter in einen Karosseriebau inklusive der Lackierprozesse sowie die Montage und Ausstattung der Fahrerhäuser aufteilen. Die Endmontage der Lastkraftwagen (LKW) beginnt mit dem Aufbau des Leiterrahmens und erstreckt sich über die Verlegung der Kabel und Leitungen, Montage der Anbauteile bis hin zur finalen Fahrzeugkomplementierung und Abschlussprüfung. Dies beinhaltet ebenfalls eine Lackierung des Fahrzeugrahmens.

6.3.2.1 Ausgangssituation

Der gesamte Betrachtungsbereich ist von einer Vielzahl an Produktänderungen betroffen, welche eine Veränderung der Produktion nach sich ziehen. Die proaktive Beteiligung der Produktion in der Konzeptphase erfolgte bereits durch die Bearbeitung in gemeinsamen SE-Teams. Dies war von besonderer Wichtigkeit, da unabhängig von häufigen Anläufen neuer Varianten und Typen grundlegende Eigenschaften des Produkts durch das übergreifende Produktkonzept festgelegt wurden, welches bis zu zehn Jahre Bestand haben kann. Die frühzeitige Integration der Produktion bildete hierbei den Schlüssel für das spätere Erreichen der Effizienz innerhalb der Produktion. Trotz der bereits etablierten und erfolgreichen Zusammenarbeit ergaben sich weitere Optimierungspotentiale im Bereich der Sicherstellung der Wissensqualität und Weitergabe des Wissens zwischen Projekten. Eine Systematisierung der Anforderungen sorgte für eine weitere Erhöhung der Entscheidungsqualität und Entscheidungstransparenz. Es ist allerdings zu beachten, dass die Prozesse bereits auf einem sehr hohen Niveau durchgeführt wurden und Änderungen sich primär darin zeigten, dass die notwendige Objektivität der Bewertungen sowie Abstimmung zwischen verschiedenen Produktionsvertretern noch schneller und mit geringerem Aufwand erreicht werden konnte. Die offene Kultur zwischen den verschiedenen Bereichen erlaubte die konstruktive Diskussion sowohl der Anforderungen als auch der zugrundeliegenden Prozesse.

Das entwickelte Gesamtkonzept sollte eingeführt werden um die bereits existierende Wissensbasis weiter zu systematisieren und somit die Entscheidungsgrund-

lage der Produktionsvertreter in den Entwicklungsteams zu festigen. Zusätzlich sollte die Geschwindigkeit mit der eine Aussagefähigkeit bei zukünftigen Entwicklungsprojekten erzielt werden kann erhöht werden. Die dargestellten Betrachtungen stellen den bereits sehr guten Stand der Prozesse zwischen den Jahren 2012 bis 2014 dar und wurden in vielen Bereichen bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit noch weiter verbessert. Hier aufgezeigte Optimierungspotentiale wurde bereits realisiert bzw. übertroffen.

6.3.2.2 Umsetzung

Zu Beginn der Implementierung erfolgte zunächst die Definition des Projektteams, welches die zentrale Rolle in der Betreuung des Implementierungsprozesses und der Anforderungsbasis eingenommen hat. Dieses Team setzte sich aus einem erfahrenen Mitarbeiter mit breitem Produkt- und Prozesswissen und einer zusätzlich unterstützenden Kraft zusammen, wobei der erfahrene Mitarbeiter eine Vielzahl weiterer Projekte zusätzlich betreute und damit nicht mit voller Kapazität für das produktionsseitige Lastenheft zur Verfügung stand. Die methodische Betreuung wurde durch den Autor übernommen. Dieses Projektteam wurde im Laufe des Projektfortschritts sowohl durch temporäre Mitarbeiter und Studierende als auch durch langfristige Wissensträger mit Teilkapazität erweitert.

Die Umsetzung erfolgte entlang des definierten Stufenkonzepts mit dem Ziel, ein Lastenheft für eine neue Fahrzeuggeneration zu erzeugen. Dieser definierte Umfang wurde von der Unternehmensleitung als Vorgabe gegeben, sodass eine Einschränkung durch das Projektteam nicht möglich erschien. Um dennoch den Betrachtungsbereich auf eine für die Stufen eins und zwei angemessene Größe zu reduzieren, wurde zunächst die Fahrzeugmontage als Betrachtungsobjekt ausgewählt.

Die Strukturen des sekundären Wissensmodells wurden für die unternehmensspezifischen Sichten Produkt, Prozess, Organisation und zum Teil für konkretisierte Verfahren angelegt. Die im Unternehmen vorhandene, allgemeingültige Produktstruktur eignete sich für die Nutzung in besonderer Weise, da innerhalb der Entwicklungsabteilungen eine Zuordnung von Verantwortlichkeiten zu Elementen dieser Struktur existierte. Ein einheitlicher und vollständig dokumentierter Sollprozesses für alle betroffenen Werke lag vor, sodass diese Struktur ohne weitere Modifikationen für das sekundäre Wissensmodell verwendet werden konnte. Die Aufnahme der Betriebsmittel erfolgte initial durch Expertengespräche mit den entsprechenden Verantwortlichen, bspw. in der Instandhaltung. Die Organisationsstruktur konnte direkt aus der Unternehmensstruktur übernommen werden.

Für die Erstellung der primären Wissensbasis konnten existierende Strategien nicht vollständig übernommen werden, da sie in einigen wenigen Bereichen nicht in der nötigen Detailtiefe externalisiert vorlagen. Um bei der Definition dieser Elemente bereits auf Probleme zurückgreifen zu können, wurden diese zuerst erhoben. Die Informationsakquisition wurde durch den Bereich der Produktionsplanung übernommen, in welchem klare Zuordnungen der Produktionspläne zu Bandabschnitten existiert. Zusätzlich wurden Mitarbeiter aus den Qualitätsbereichen sowie der Instandhaltung eingebunden. Um einen möglichst reibungsfreien Ablauf zu ermöglichen, erfolgte zunächst eine Einführung für die Mitarbeiter der planenden Bereiche durch das Projektteam. Zusätzlich wurden einfache Aufnahmeformulare im Microsoft-Office-Format für die Dokumentation sowie verschiedene Informationsmaterialien zur Nutzung von produktionsseitigem Anforderungsmanagement bereitgestellt.

Die so durch die Planer gesammelten Ergebnisse wurden in kleinen Gruppen mit einem Mitglied des Projektteams auf Verständlichkeit geprüft, erste Anforderungsskizzen erstellt und im System angelegt. Die Übertragung der aufgenommenen Probleme in das System erfolgte ebenfalls durch die Mitarbeiter des Projektteams. Nach Abschluss dieser Aufnahme standen allgemeine Probleme, welche durch die Produktgestaltung bedingt sind, sowie erste Anforderungen auf Basis dieser Probleme zur Verfügung. Die Qualität dieser Artefakte hatte aber in der Mehrheit den Status *FreiInhalt* (vgl. Abschnitt 4.4) noch nicht erreicht. Dies bedeutet, dass die Anforderungen inhaltlich noch nicht ausreichend für eine Verwendung in Entwicklungsprojekten dokumentiert waren.

Anschließend an diese Aufnahme wurde unter Leitung des Projektteams ein Workshop mit dem Top-Management durchgeführt, in welchem die bestehende Strategie konkretisiert wurde. Grundlage hierfür bildete eine generische Darstellung der Handlungsfelder, für die eine konkrete Strategie benötigt wurde. Diese wurde in unterschiedlicher Granularität befüllt bzw. in einigen Bereichen erweitert. Zusätzlich kamen hierbei wiederum Informationen zum grundlegenden Aufbau des Konzepts sowie zur Motivation der Thematik zum Einsatz. Die generierten Ergebnisse wurden in das System übertragen. Eine Freigabe durch den Entscheiderkreis erfolgte unmittelbar nach dem Workshop und der daran angeschlossenen Dokumentation der Ergebnisse, sodass die grundlegenden Elemente der Strategie bereits im Status *FreiHierarchie* vorlagen. Darüber hinaus konnten erste Elemente der Artefaktklasse „Anforderung“ aus den Diskussionen gesammelt und den inhaltlich Verantwortlichen zugeordnet werden. Diese groben Skizzen befanden sich, dem Statuskonzept folgend, im Status *Konzept*.

Die entwickelte Strategie diente als Grundlage für die systematische Erarbeitung der Anforderungen. Hierzu wurden bestehende Arbeitskreise mit technologischem Bezug gewählt, welche im Rahmen der Organisation bereits existierten.

Die Mitglieder der Arbeitskreise wurden für das grundlegende Thema *produktionsseitiges Anforderungsmanagement* sensibilisiert und im Umgang mit dem Wissensmodell und dem Softwaretool geschult. Der Projektauftrag der Arbeitskreise, sowohl bestehend als auch zukünftig, wurde zum einen um die Notwendigkeit der Integration bestehender Strategien, Anforderungen und Probleme zu Beginn, zum anderen um die Forderung der Erweiterung bzw. Anpassung der bestehenden Anforderungen ergänzt. Um die Umsetzung dieser Maßnahmen sicherzustellen, erfolgte bei der Bildung des Projektteams die Benennung eines Verantwortlichen als Schnittstellenvertreter zum zentralen Team für produktionsseitige Anforderungen. Diese Rolle konnte vom Projektleiter, aber auch von einem der Teammitglieder übernommen werden.

Die Erstellung neuer bzw. die Änderung bestehender Anforderungen wurde vollständig durch diesen Mitarbeiter übernommen. Aufgrund der Einführung des Konzepts handelte es sich primär um die Erstellung neuer Anforderungen. Die Mitarbeiter des Lastenheftteams standen hierbei unterstützend zur Seite, wobei eine starke Führung durch das Softwarewerkzeug erfolgte.

Abbildung 6.1 zeigt die Darstellung der Kommunikation des Änderungsbedarfs zwischen Auditor und Ersteller. Benachrichtigungsfunktionen über erfolgte Statusänderungen erlaubten es dem erstellenden Mitarbeiter, seinem Tagesgeschäft nachzugehen, während die Anforderungen freigegeben bzw. Anmerkungen erstellt wurden. Den Mitarbeitern des Lastenheftteams wurde so eine hohe Parallelisierung der Anforderungsüberarbeitung ermöglicht. Im Regelfall war, nach persönlicher Initialschulung mit einem Umfang von zwei bis drei Stunden, nur noch für jede zehnte Anforderung eine persönliche Diskussion erforderlich, welche häufig auch telefonisch durchgeführt werden konnte. Zusätzlich zu den Arbeitskreisen wurden Projekte, welche organisatorisch nicht im Rahmen des ProNet abgewickelt wurden (bspw. ein Projekt zu einer Produktionsstrukturveränderung), in Bezug auf die Generierung von Anforderungen analog betreut und generierten ebenfalls Anforderungen in ähnlicher Qualität.

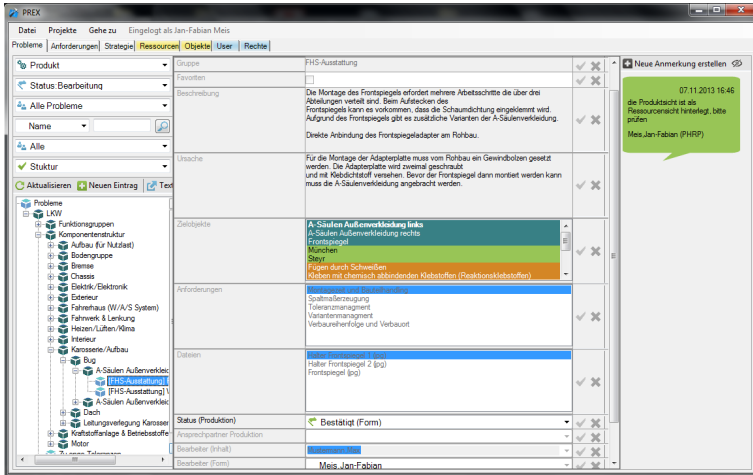


Abb. 6.1: Nutzung der Software zur strukturierten Unterstützung des Erstellungsprozesses mit Hilfe der dokumentierten Kommunikation zwischen Ersteller und Auditor

Die kontinuierlich gesammelten Anforderungen wurden durch das Lastenheftteam freigegeben und konsolidiert. Abschließend erfolgte eine Zusammenfassung zu Blöcken, welche durch die Hierarchie freizugeben waren. Dem Wunsch bzw. der Forderung, die Anforderungen vom Lastenheftteam freigeben zu lassen, wurde an dieser Stelle nicht nachgegeben, da eine der Grundlagen des hier entwickelten Konzepts, die Stärkung der Argumentationsgrundlage des Vertreters der Produktion im SE-Team, hierdurch gefährdet wird. Eine durch einen Mitarbeiter des Lastenheftteams freigegebene Anforderung erhält innerhalb der Organisation nicht die gleiche Beachtung wie eine final durch den Produktionsleiter oder den Leitungskreis freigegebene Anforderung, unabhängig von der fachlich-inhaltlichen Bedeutung. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass der natürliche personelle Wechsel innerhalb der Organisation mit der Verwendung von persönlichen Verantwortlichkeiten nicht sinnvoll in Einklang zu bringen ist, sodass die Freigabe in den späteren Projektjahren auf Gremien ausgeweitet wurde. Dies widersprach zwar dem Idealzustand einer persönlichen Zuordnung, erlaubte aber die notwendige Konsistenz und Nachhaltigkeit.

Nach erfolgreicher Freigabe der Anforderungen erfolgte eine Information über die geänderten oder neuen Anforderungen an die bestehenden SE-Teams.

Für neue Entwicklungsprojekte wurde, je nach Projektsituation und gewähltem Vorgehen, entweder ein anwendungsbezogener Datenbankexport oder für kleine

Projekte ein zum Teil gefilterter Export in neutrale Formate wie Microsoft Excel durchgeführt.

Rückfragen zu Anforderungen bzw. Fragestellungen, die noch nicht über Anforderungen belegt wurden, erfolgten direkt über die Mitarbeiter des Lastenheftteams, die diese an geeigneter Stelle in die Projekte der zentralen Organisation einbrachten oder neue Projekte initiierten.

In Summe entstanden im Projektzeitraum ca. 524 Anforderungen von 54 parallel arbeitenden Nutzern. Zusätzlich erfolgte eine Dokumentation von 559 Problemen und 161 strategischen Elementen. Die Nutzung der Anforderungen erstreckte sich von kleinen Projekten, wie die Anpassung von Einzelbauteilen, bis hin zur vollständigen Neuentwicklung der zukünftigen Fahrzeuggeneration.

6.3.2.3 Kritische Betrachtung der Anwendungserfahrungen

Die Nutzung des entwickelten Konzeptes innerhalb des oben beschriebenen Anwendungsfalles hat gezeigt, dass das zugrundeliegende Status- und Rechtekonzept eine hohe Parallelisierung und Dezentralisierung der Anforderungserstellung ermöglicht und die Einbindung der inhaltlich involvierten Mitarbeiter durchgeführt werden kann. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass mit verhältnismäßig geringer Mitarbeiterkapazität im zentralen Bereich des produktionsseitigen Anforderungsmanagements umfassende Ergebnisse erreicht werden können. Gleichzeitig wurde aber deutlich, dass ein Bedarf an einer zentralen Koordinations- und Steuerungsinstanz auch über die ersten Monate hinaus, besteht. Insbesondere die Anpassung an geänderte Entscheidungsmodalitäten, Personen und Kreise erforderte eine stetige Anpassung der Prozesse und eine wiederkehrende Sensibilisierung. Zusätzlich herrschte ein kontinuierlicher Bedarf an Schulungsmaßnahmen für neue Projektleiter bzw. Lastenheftverantwortliche innerhalb der Projektteams sowie eine administrative Pflege des Systems.

Die dargestellte Einführung geht über einen Prototypen hinaus, da hinsichtlich der Informationsquantität als auch -qualität eine entscheidende und langfristig nutzbare Basis gelegt wurde. Die Prozesse und Organisationseinheiten müssen im Rahmen der Unternehmensentwicklung weiter fixiert werden, sind aber in ihrer grundlegenden Wirkung bereits verankert und erprobt. Das Softwaretool erlaubt die Arbeit auch über die Prototypenphase hinaus, wobei es primär als Umgebung zur Sammlung von Erfahrungen für die spätere Einführung einer bereichsübergreifenden Software zum Anforderungsmanagement verstanden werden sollte.

6.3.3 Fall 2: Erstellung eines Lastenhefts für eine neue Busgeneration

6.3.3.1 Ausgangssituation

Ziel des zweiten Anwendungsbeispiels war die Erstellung eines Lastenhefts der Produktion für die Entwicklung einer neuen Produktgeneration. Die vom Entwicklungsteam ausgehende Aufforderung an beteiligte Bereiche, wie After-Sales und Produktion, ein Lastenheft zu formulieren, bildete die Grundlage für die Arbeit. Dieser Anwendungsfall wurde parallel, mit ca. einem Jahr Verzögerung, zum ersten Fall gestartet und hatte eine Gesamtprojektlaufzeit von ca. neun Monaten. Die zu diesem Zeitpunkt gesammelten Informationen des ersten Falls aus dem Bereich LKW konnten berücksichtigt werden, eine vollständige Übernahme der Inhalte der Strategie, Anforderungen und Probleme konnte inhaltsbedingt nicht erfolgen. Aufgrund des klaren Projektrahmens und der Fokussierung auf die einmalige Erstellung des Lastenhefts erfolgte eine zentral orientierte Bearbeitung. Neben einem Kernteam mit zwei festen und zwei unterstützenden Mitarbeitern erfolgte die Ernennung eines Ansprechpartners und Koordinators vor Ort in jedem Werk. Dies war, besonders aufgrund der starken örtlichen Trennung der Werke Starachowice (PL), Posen (PL) und Ankara (TR) sowie der hohen Entfernung zum Sitz des Entwicklungsteams in München notwendig.

6.3.3.2 Umsetzung

Als Grundlage der Arbeit diente auch in diesem Fall wieder eine Aufnahme der aktuellen Probleme in strukturierter Form. Aufgrund der oben dargestellten Randbedingungen erfolgte die Aufnahme direkt durch das Lastenheftteam. Hierbei wurden mit allen Meistern bzw. Segmentverantwortlichen der Produktionslinien der Werke, die an der Busproduktion beteiligt sind, Termine zur Aufnahme der Probleme und ggfs. der Anforderungen vereinbart. Die Dauer des Termins konnte durch den Meister zwischen einer halben und zwei Stunden, je nach Bedarf, individuell festgelegt werden. Probleme wurden direkt am Band bzw. im fertigen Bereich durch mindestens zwei Mitarbeiter des Lastenheftteams sowie der Standortverantwortlichen vor Ort skizziert und im Anschluss in das System übertragen. Bei Bedarf, bspw. falls ein Problem während des Termins nicht auftrat, wurden Folgetermine vereinbart. Die formale Verantwortung übernahm der Standortvertreter, der im Folgenden Unklarheiten bezüglich der Probleme bzw. der Anforderungsideen im Dialog mit den Erstellern ausräumen konnte. Es ist allerdings zu beachten, dass in diesem Anwendungsfall im Vergleich zum vorherigen eine deutlich intensivere Zusammenarbeit zwischen dem inhaltlich Verantwortlichen und dem Auditor geplant und notwendig war,

da aufgrund des engen Zeitplans auf eine breite Qualifikation der Mitarbeiter außerhalb des Teams verzichtet wurde. Die tatsächliche Interaktion mit dem System erfolgte daher primär durch die Standortverantwortlichen, wobei für diese eine intensive Qualifikation und Betreuung durch das Kernteam erfolgte.

Die Aufbereitung der Strategie erfolgte analog zum Vorgehen im ersten Anwendungsfall im Rahmen eines mehrtägigen Workshops zur Definition der grundlegenden, produktionsstrategischen Ausrichtungen. Neben Vertretern des Top-Managements sowie der Werksleitung waren die Sprecher der sog. technologisch orientierten Fachbereiche anwesend. Über diese Organisationsstruktur waren alle Werke eingebunden. Im Anschluss an diese erste Diskussion erfolgte jeweils ein Workshop in jedem der Foren, in denen die Grundstrategie konkretisiert, Anforderungsentwürfe abgeleitet und diese im System hinterlegt wurden. Die Konkretisierung der einzelnen Anforderungen erfolgte durch im Forum benannte Verantwortliche. Den groben Anforderungsskizzen wurde bereits in dieser frühen Phase ein Auditor zugeordnet, der als Ansprechpartner für die gesamte Erstellung zur Verfügung stand und den Fortschritt der Anforderung überwachte. Neben der grundlegenden Einführung im Rahmen des Workshops wurde jeder Anforderungssteller im Umgang mit dem System und anhand von Beispielen bei der Erstellung von Anforderungen geschult. Alle Anforderungen wurden mit einem potentiellen Empfänger bereits vor der Freigabe auf inhaltliche Verständlichkeit diskutiert, da aufgrund der Summe der Anforderungen und wegen der zeitlichen Restriktionen eine fundierte Einarbeitung in Bezug auf die allgemeine Verständlichkeit durch den Auditor nicht immer sichergestellt werden konnte.

Die Freigabe der erstellten Anforderungen erfolgte aufgrund der Auslegung als einmaliges Projekt, gesammelt in Form des gesamten Lastenhefts durch das Top-Management. Die Übergabe wurde an die verwendete Informationsstruktur des Entwicklungsteams angepasst ausgeleitet und sowohl in Form eines gebundenen Buchs als auch digital übergeben. Hierbei konnte die allgemeine Produktstruktur im Sinne des primären Wissensmodells genutzt werden, da diese gleichermaßen Anwendung in den Entwicklungsbereichen fand.

6.3.3.3 Kritische Betrachtung der Anwendungserfahrungen

Das dargestellte Anwendungsbeispiel hat gezeigt, dass sich das entwickelte Gesamtkonzept für die Aufnahme eines einmaligen, diskreten Lastenhefts innerhalb einer vergleichsweise großen Organisation eignet. Neben dem Hauptziel, der Formulierung von Anforderungen für das zukünftige Entwicklungsprojekt, konnte eine positive Konsolidierung der Ziele der verschiedenen Werke aufgrund des Vorgehens beobachtet werden, welche die Akzeptanz innerhalb des Entwicklungsteams deutlich erhöhte. Die strikte Zuordnung der Wissensartefakte zu Elementen der sekundären Struktur ermöglichte einen reibungsfreien Transfer

in die Systeme der Entwicklung, welche sich im Detail während des Projekts häufig änderten.

Optimierungspotential lässt sich vor allem im Bereich der initialen Übernahme der Anforderungen aus dem LKW-Bereich finden. Aufgrund des parallelen Projektverlaufs lagen zum Übernahmzeitpunkt nur wenige Anforderungen in der entsprechenden Stufe vor. Ein inhaltlicher Vergleich der Anforderungen hat allerdings starke Ähnlichkeiten aufgezeigt, welche zum Teil systematisch erkennbar waren (vgl. Kapitel 4.6). Allerdings haben sich in Bezug auf das Ähnlichkeitsmodell zwei gravierende Einschränkungen ergeben:

1. Alle textbasierten Bewertungen konnten aufgrund der verschiedenen Sprachen (Englisch - Deutsch) nicht automatisiert genutzt werden⁷³ und
2. es existiert kein systemseitig erkennbarer Zusammenhang zwischen den Prozess- und Organisationselementen der sekundären Struktur.

In Kapitel 4.6 wurde bereits darauf verwiesen, dass komplexere Verfahren zur Ähnlichkeitsbestimmung von Texten existieren. Aufgrund der Komplexitätsreduktion wurden in dieser Arbeit einfache Verfahren gewählt. Der gewählte Ansatz kann um eine Übersetzung der relevanten Wörter erweitert werden, wobei die Betrachtung von Anforderungen unterschiedlicher Sprachen nicht im Betrachtungsbereich des entwickelten Konzepts liegt. Der zweite Aspekt ist durch die Definition der einzelnen Strukturen bedingt und nicht auflösbar. Die Auswirkung ist bei adäquater Zuordnung der Verfahren und Betriebsmittel nur gering ausgeprägt. Dies kann weiter gesteigert werden, wenn für einen organisationsübergreifenden Vergleich, wie er hier gegeben ist, die Sichten Prozess, Organisation und Produkt im Rahmen des Ähnlichkeitsmaßes vollständig ignoriert oder systematische Analogien hinterlegt werden. Dies bedeutet, dass ein Element des Prozesses für die Busproduktion mit einem Element der LKW-Produktion korreliert. Im Sinne des Ähnlichkeitsmodells entsprechen sich diese Knoten. Dennoch ist eine Entscheidung zur Übernahme sowie eine inhaltliche Evaluation für den entsprechenden Anwendungsfall nur durch einen Menschen und nicht automatisiert durchführbar.

⁷³ Eine manuelle Berücksichtigung und Übersetzung fand hingegen statt.

6.3.4 Fall 3: Erstellung eines Lastenhefts für die Entwicklung eines LKW mit hybridem Antrieb

6.3.4.1 Ausgangssituation

Das letzte Anwendungsszenario stellt die konkrete Erarbeitung eines inhaltlich stark abgegrenzten Themenkomplexes dar, der, anders als die vorherigen Beispiele, primär aus einer konkreten Entwicklungsaufgabe entstand. Die Entwicklung rein elektrischer bzw. hybrider LKW wird von nahezu allen Nutzfahrzeugherstellern vorangetrieben (HILL ET AL. 2011, S. 304 ff.; HOEPKE ET AL. 2013, S. 501)⁷⁴, so auch vom Anwendungspartner. Aufgrund der Neuartigkeit der Technologie stehen innerhalb der Produktion allerdings keine Erfahrungen und Richtwerte für eine ideale Produktgestaltung bereit, welche dem SE-Team als Entscheidungsgrundlage dienen könnten. Daher wurde aus dem Entwicklungsprojekt eine Anfrage an die zentrale Organisation gestellt, Anforderungen unter Nutzung der erstellten Methode zu erarbeiten und als Basis für die Entwicklung zur Verfügung zu stellen.

6.3.4.2 Umsetzung

Der von der zentralen Organisation beauftragte Arbeitskreis entwickelte zunächst mit internen und externen Experten und Erfahrungsträgern ein ideales Produktionskonzept. Dies beinhaltete bspw. den Verbau der Energiespeicher im regulären Produktionsablauf, ohne eine besondere Qualifikation der Mitarbeiter vorauszusetzen. Weitere Aspekte sahen bspw. die Anlieferung, aber auch das Handling der Bauteile bis hin zu Schritten der Qualitätsprüfung vor. Aus Gründen der Geheimhaltung soll an dieser Stelle nicht auf die detaillierten Elemente des Produktionskonzepts eingegangen werden. Im Anschluss an die Konzepterstellung erfolgte die Ableitung der sicherstellenden Anforderungen sowie die Zuordnung zu den Wissenselementen der sekundären Struktur. Hierbei zeigte sich, dass lediglich minimale Anpassungen der Strukturen notwendig waren, da die Produktstruktur bereits die generischen Elemente eines Hybridfahrzeugs enthielt und die weiteren Strukturen auf bestehende Verfahren und Organisationen zugreifen konnten. Lediglich die Prozesssicht wurde um zusätzliche Unterschritte erweitert. Obwohl aufgrund der Neuartigkeit noch keine Erfahrungen und Probleme vorlagen, konnten Probleme mit ähnlichen Komponenten identifiziert und den Anforderungen als Beispiele angefügt werden. Diese waren z. B. die Verlegung von Druckluftschläuchen, die ähnliche Montageeigenschaften

⁷⁴ ESEBECK & MÜLLER (2014) und IANNELLI (2014) geben konkrete Beispiele hierzu.

wie starre Hochvoltverkabelungen aufweisen, sowie die Erfahrungen aus den Zusammenbauten der ersten Funktionsprototypen.

Aufgrund von unternehmenspolitischen Rahmenbedingungen bzw. von Kapazitätsengpässen erfolgte noch im Projektverlauf eine Reduktion der Priorität der Hybridentwicklung. Die Generierung des produktionsseitigen Wissens und die strukturierte Dokumentation im Rahmen des entwickelten Informationsmodells erfolgten davon unabhängig. Die Forderung nach einer verstärkten Nutzung der Elektromobilität führte nach einiger Zeit erneut zur Forcierung der Entwicklungstätigkeiten und damit zur Integration der Vertreter der Produktion in den Entwicklungsprozess im Rahmen des SE. Ursprünglich generierte Anforderungen in Verknüpfung mit dem geplanten Produktionskonzept führten dazu, dass die benannten Vertreter, die zuvor noch keinen Kontakt zur Entwicklung von Hybridfahrzeugen hatten, ohne Verzögerung die Anforderungen der Produktion in das SE-Team einbringen und aufgrund der primären Wissensstruktur erklären konnten. Das vorherige Anwendungsszenario hat die reaktive Generierung von Wissen aus Entwicklungsprojekten dargestellt und aufgezeigt, dass das Konzept eine strukturierte Aufnahme und Dokumentation des Wissens ermöglicht. Einmal aufgenommene Anforderungen durchlaufen alle entwickelten Schritte und unterliegen den vorgegebenen Qualitäts- und Freigabeprozessen. Aus diesem Grund können einmal generierte Anforderungen in beliebigen Projekten verwendet werden, ohne diese erneut zu hinterfragen bzw. freizugeben. Damit wurde es möglich, bereits in einer frühen Phase der Entwicklung eine adäquate Integration der Anforderungen zu gewährleisten und die Grundlage für Kostenabschätzungen auf fundierter Basis zu treffen. Eine detaillierte Konzeptfrage, z. B. ob das Hochvoltsystem an einer konkreten Schnittstellen mit einem Verbindungsstecker ausgeführt oder mit Hilfe einer Verklemmung der einzelnen Leiter verbunden werden sollte, wirkte sich in erheblichem Maße auf das Packaging sowie die Kostenstruktur aus. Der Widerspruch zur produktionsseitigen Anforderung, dass alle Verbindungen mit gewissen Eigenschaften als berührungssichere Stecker auszuführen seien, führte zum entwickelten Produktionskonzept. Hierbei wurde im Projektteam erkannt, dass durch die Verletzung der Anforderung eine Montage im Regelprozess aufgrund gesetzlicher Vorgaben nicht mehr möglich wäre. Aufbauend hierauf konnte eine Abschätzung der Mehrkosten in der Produktion den Einsparungen im Einkauf gegenübergestellt und somit eine fundierte Entscheidung in der frühen Phase getroffen werden.

6.3.4.3 Kritische Betrachtung der Anwendungserfahrungen

Das in dieser Arbeit entwickelte Konzept hat dazu beigetragen, die Auswirkungen einer unbedeutend erscheinenden Konzeptfrage auf die Produktion

darzustellen und Anhaltspunkte für eine Bewertung zu geben. Ob die Entscheidung final für oder gegen eine Verschraubung fällt, ist Teil der Aufgabe des SE-Teams und unter Abwägung der Auswirkungen zu treffen.

6.4 Kapazitätsbedarf

Die vollständige Bewertung des Aufwands im Verhältnis zum Nutzen lässt sich bei einem ganzheitlichen Konzept wie dem hier beschriebenen nicht aussagekräftig durchführen. Zum einen sind die Auswirkungen des Konzepts für ein Unternehmen länger als u. U. einzelne Produktlebenszyklen. Zum anderen steht keine sinnvolle Kontrollinstanz für eine Evaluation zur Verfügung, da sich die Umgebungsbedingungen zwischen zwei Unternehmen, aber auch zwischen zwei Projekten innerhalb eines Unternehmens stark unterscheiden können und somit klare Rückschlüsse auf den Erfolg des Konzepts nicht valide ermittelbar sind. Das vorherige Beispiel hat bereits gezeigt, dass geringfügige Konstruktionsänderungen massive Verletzungen des Produktionskonzepts bewirken können. Eine allgemeingültige, unternehmens- und branchenübergreifende Quantifizierung der „Konstruktionsfehler“ ist aktuell nicht ermittelbar.

Der Aufwand hingegen konnte auf Basis des oben beschriebenen Anwendungsbeispiels umfangreich aufgenommen werden. Aufgrund des Einsatzes in verschiedenen, nahezu unabhängigen Unternehmensbereichen über mehrere Standorte mit unterschiedlichen Kulturen konnten facettenreiche Einblicke in die Anwendung des Konzepts gewonnen werden. Im Folgenden sollen die ermittelten Aufwände zusammenfassend aufbereitet und interpretiert werden. Die Aufnahme der Zeiten besteht zum einen aus dokumentierten Arbeitstreffen und durchgeführten Schulungen, zum anderen aus der Beobachtung der Arbeit mit dem Software-Prototypen. Hierbei können Zeiten zwischen Änderungen an Instanzen der primären Wissensstruktur verfolgt und ausgewertet werden. Es ist allerdings zu beachten, dass Aktivitäten, die parallel zur Arbeit am System erfolgten, nicht aufgenommen wurden und somit eine Aufbereitung erfolgen muss. Einige der Zeitstempel lassen beispielsweise erkennen, dass die Bearbeitung einer Anforderung begonnen und erst am nächsten Tag abgeschlossen wurde. Dies deutet darauf hin, dass das Programm über Nacht nicht geschlossen wurde. Zeitliche Extremwerte wurden daher im Folgenden bereinigt.

6.4.1 Initialaufwand

Zur Befähigung der oben beschriebenen Organisation zur Einführung eines produktionsseitigen Anforderungsmanagements waren eine Reihe von Schulungen und Maßnahmen zur Aufnahme der Elemente der primären Struktur nötig. Im Folgenden soll ein zusammenfassender Überblick über sämtliche Aktivitäten

gegeben werden, welche zur Erreichung im Sinne des beschriebenen Konzepts dienen. Tätigkeiten, die zur Entwicklung oder Validierung des Konzepts an sich dienen, finden hingegen keine Auflistung⁷⁵. Des Weiteren werden lediglich die Aktivitäten im Bereich der LKW-Produktion aufgeführt, da hierbei die Ausrichtung bereits auf einen kontinuierlichen Prozess erfolgte. Die Berechnung der Aufwände erfolgte auf Basis von dokumentierten Terminen und Zuordnung der Tätigkeiten der Teammitglieder zu den Aktivitäten. Die ermittelten Zahlenwerte sollten daher primär als fundierte Abschätzung anstelle einer mathematisch exakten Zeiterfassung verstanden werden.

6.4.1.1 Definition der Initialelemente für die sekundäre Wissensstruktur

Da es sich bei der sekundären Wissensstruktur um eine stark unternehmensspezifische Einteilung auf Basis allgemeiner Vorschläge handelt, sind diese Strukturen zunächst zu identifizieren und aufzubereiten oder, falls noch nicht existent, zu definieren. Im Anwendungsfall konnte die Produktstruktur direkt⁷⁶ übernommen werden. Die Integration in den entsprechenden Software-Prototypen verursachte einen Arbeitsaufwand von umgerechnet zwei Personentagen. Die Verfahrensstruktur orientierte sich initial direkt an den Vorschlägen und konnte zusammen mit der flachen Organisationsstruktur und der Betriebsmittelstruktur in einem Personentag realisiert werden. Im Rahmen von Maßnahmen zur Vereinheitlichung der Produktionsabläufe wurde bereits ein übergreifender Produktionsprozess definiert, welcher ebenfalls mit einem Aufwand von einem Personentag in das System integriert werden konnte. In Summe benötigte die Definition der Initialelemente einen Aufwand von vier Personentagen.

6.4.1.2 Erstellung unternehmensspezifischer Schulungsunterlagen und Dokumente

Die Grundlage für alle sensibilisierenden Maßnahmen und Schulungen bildet umfangreiches Informationsmaterial auf Basis des beschriebenen Konzepts. Es ist zu erwarten, dass diese Materialien auch bei weiter Verbreitung des Konzepts dennoch von jedem Unternehmen erneut erzeugt werden müssen. Dies liegt

⁷⁵ Eine weitere Unterteilung der einzelnen Aktivitäten hinsichtlich ihres Beitrags zur Entwicklung der Methode soll an dieser Stelle nicht getroffen werden.

⁷⁶ Im Rahmen des Anwendungsbeispiels erfolgte eine vom Projekt unabhängige Überarbeitung der Struktur, was häufige Iterationen für die Übernahme der Struktur in das Softwaresystem bedeutete. Diese kurzzyklische Aktualisierung der Struktur ist als untypisch anzusehen, weshalb in dieser Auflistung ausschließlich der einmalige Aufwand aufgeführt wird.

zum einen in den unternehmensspezifischen Elementen der sekundären Informationsstruktur begründet, zum anderen an der notwendigen Ausrichtung der Prozesse und Beschreibungen an der Unternehmenskultur. Die Erstellung von Schulungsunterlagen und eines Leitfadens zur Umsetzung wurde von zwei Mitarbeitern mit einem Gesamteinsatz von 17 Personentagen durchgeführt. Hierbei ist zu beachten, dass eine Parallelisierung mit folgenden Aktivitäten möglich war. Das Einrichten einer Online-Plattform im unternehmensinternen Intranet zur Distribution der Informationen bedurfte weiterer zwei Personentage.

6.4.1.3 Qualifizierung des Kernteams

Die internen Schulungsmaßnahmen für das Kernteam auf Basis der Schulungsunterlagen durch Vorträge und Übungen sowie anhand von Diskussionen an Beispielen erfolgten mit vier Mitarbeitern aus dem Bereich der strategischen Produktionsplanung sowie einem Trainer mit in Summe 45 Personentagen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass keiner der Teilnehmer einschlägige Erfahrungen im Bereich des Anforderungsmanagements aus anderen Bereichen einbrachte.

6.4.1.4 Sensibilisierung und Schulung der produktionsplanenden Bereiche

Die Aktivitäten zur Sensibilisierung der produktionsplanenden Bereiche sind weniger präzise ermittelbar, da diese in Form und Teilnehmerzahl großen Unterschieden unterlagen. Angefangen mit Vorstellungen des allgemeinen Konzepts vor ganzen Planungsbereichen (mit mehr als 20 Mitarbeitern) bis hin zu bilateralen Gesprächen der Mitglieder des Kernteams mit einzelnen Mitarbeitern der Planungsbereiche wurde eine Vielzahl an Aktivitäten durchgeführt. An dieser Stelle sollen vor allem die offiziellen Vorstellungen und Schulungen aufgeführt werden. In Summe wurden 14 Vorträge mit einer durchschnittlichen Dauer von 20 Minuten und einer durchschnittlichen Teilnehmerzahl von ca. 10 Mitarbeitern von einem Mitglied des Projektteams durchgeführt. Damit ergibt sich ein Gesamtbedarf von ca. 51 Personentagen. Zusätzlich wurden alle 49 Nutzer⁷⁷ direkt durch ein Mitglied des Teams im Umgang mit der Methode und dem System geschult. Dies beinhaltete im Regelfall eine ca. einstündige Vorbereitung der Zugangsdaten und Dokumente, eine zweistündige Einführung mit dem Nutzer sowie im Schnitt vier weitere Kurzschulungen mit ca. einer Stunde Umfang. Damit ergibt sich ein Gesamtaufwand von ca. 80 Personentagen. In Summe

⁷⁷ Da die Mitglieder des Teams selber als Nutzer agierten, weicht die hier genannte Zahl von der vorherigen um diese Anzahl ab.

bedurften sämtliche Maßnahmen zur Sensibilisierung der produktionsplanenden Bereiche und Schulungen der Mitarbeiter 131 Personentage.

6.4.1.5 Durchführung der Aufnahme aktueller Probleme

Wie bereits oben erläutert, erfolgte die Aufnahme der aktuellen Probleme auf unterschiedliche Weise. Da sich die Aufnahme mit Hilfe von Interviews als am effizientesten erwiesen hat, sollen die hierfür angefallenen Zeiten beschrieben und dann auf weitere Bereiche extrapoliert werden. Für den Bereich der LKW-Endmontage wurden Interviews mit den Meistern und entsprechenden Vorarbeitern gemeinsam durchgeführt. Kurzfristig erfolgte eine zusätzliche Einbindung von aktiven Mitarbeiter. Da dies parallel zur eigentlichen Tätigkeit erfolgte, wird der Aufwand hierfür nicht berücksichtigt. In Summe betrug die Dauer der Aufnahme neun Werkzeuge inklusive der angrenzenden Bereiche⁷⁸. Die Aufnahme erfolgte immer durch zwei Mitglieder des Projektteams, sodass parallel die Dokumentation durchgeführt werden konnte. Aufgrund intensiver organisatorischer Vorbereitung, die einen Einsatz von ca. zwei Personentagen erforderte, konnten die Tage mit ca. sieben Stunden genutzt werden. Somit ergibt sich eine Gesamtzeit von 28 Personentagen. Eine analoge Aufnahme im Bereich des Rohbaus und der Lackierung, allerdings mit dem Fokus auf Prozessexperten, benötigte 17 Tage. Zusätzlich wurden bereits existierende Dokumente durch das Projektteam gefiltert, aufbereitet und integriert. Dies erforderte einen Gesamteinsatz von ca. neun Personentagen. Somit benötigte die Aufnahme der Probleme und erster Anforderungsideen 54 Personentage an einem Standort. Da eine Betrachtung von zwei primären Standorten erfolgte⁷⁹, wurde der Gesamteinsatz für die Aufnahme der aktuellen Probleme mit 108 Personentagen dokumentiert.

6.4.1.6 Erarbeitung und Dokumentation der strategischen Ziele

Im vorliegenden Anwendungsbeispiel lag eine Produktionsstrategie auf oberster Ebene vor, allerdings war diese noch nicht in der notwendigen Detailtiefe dokumentiert. Hierzu wurde eine umfangreiche Workshopreihe mit Vertretern aller Produktionsbereiche durchgeführt. Diese bestand aus zehn Terminen mit einer Dauer von vier Stunden sowie einem zweitägigen Workshop. Im Durchschnitt waren hierbei 15 Personen inklusive zwei Mitglieder des Projektteams

⁷⁸ Auf eine Nennung der Anzahl der Segmente und Bereiche wird an dieser Stelle aus Gründen des Datenschutzes verzichtet.

⁷⁹ Ein drittes Werk wurde als sehr ähnlich zum primären erachtet und daher nicht zusätzlich betrachtet.

anwesend. Zusätzlich zu den 105 Personentagen wurde ein Vor- und Nachbereitungsaufwand von 34 Personentagen durch Mitglieder des Projektteams dokumentiert.

Der Gesamtaufwand für alle Initialaktivitäten im betrachteten Anwendungsbeispiel betrug somit 410 Personentage.

6.4.2 Kontinuierlicher Aufwand

Neben diesem Initialaufwand mussten regelmäßige Aktivitäten durch das Team durchgeführt werden, welche sich nicht durch die Zeiten aus 6.4.3 erfassen ließen. Die Ermittlung erfolgte analog zum Initialaufwand und wurde auf ein Jahr normiert.

6.4.2.1 Unterstützung von Projekten zur Produktionsentwicklung

Die Erstellung von Anforderungen erfolgte, dem entwickelten Konzept folgend, primär innerhalb der Projektteams zur Veränderung der Produktion durch die geschulten Nutzer. Dennoch konnte ein Bedarf nach Unterstützungstätigkeiten durch das Projektteam bei der Generierung, Formulierung und Dokumentation von Anforderungen identifiziert werden. Der erfasste Zeitaufwand beläuft sich im Monatsmittel auf sechs Personentage und ergibt damit einen Jahresbedarf von 72 Personentagen. Dieser schließt vor allem die Durchführung von Workshops zur Generierung von Anforderungen, aber auch die bilaterale Diskussion mit dem Anforderungssteller ein.

6.4.2.2 Workshops zur Anforderungsgenerierung

Die Inhalte, die aus Konzeptbewertungen der SE-Teams entstanden⁸⁰ und nicht direkt mit einer bereits laufenden Aktivität im Bereich der Produktion erzeugt werden konnten, mussten mit Hilfe von Anforderungsworkshops generiert oder in ein entsprechendes Projekt innerhalb der Produktion überführt werden. Die Anzahl an Anfragen dieser Art, die direkt an das Projektteam gerichtet wurden, lag im Mittel bei vier pro Jahr. Der mittlere, dokumentierte Aufwand lag bei ca. 17 Personentagen im Projektteam und bei ca. 20 Personentagen innerhalb der gesamten Organisation. Es ist allerdings zu beachten, dass der letzte Wert eine grobe Abschätzung darstellt, da ein Großteil der Anfragen als eigene Projekte (bspw. vollständige Konzeptbewertungen) überführt oder in andere, bereits

⁸⁰ Der Aufwand, der innerhalb dieser Teams entstand, ist nicht im Fokus dieser Arbeit und wird daher an dieser Stelle nicht aufgeführt.

laufende Projekte integriert (bspw. Analyse von Verbindungstechnologien) wurden und somit ausschließlich der Aufwand zur Erstellung der Anforderungen hier aufgeführt werden soll. Damit ergibt sich ein Gesamtaufwand von 148 Personentagen.

6.4.2.3 Freigabe durch die Hierarchie

Sämtliche Elemente der primären Wissensstruktur wurden, dem Konzept folgend, durch das Top-Management freigegeben. Da sich sowohl das entsprechende Gremium als auch der Turnus im Projektverlauf immer wieder geändert haben, können hierzu keine verlässlichen Daten aus den dokumentierten Zeiten abgeleitet werden. Die aktive Nutzung des Software-Prototyps hat den Aufwand zur Vorbereitung der freizugebenden Elemente auf ein Minimum reduziert. Da innerhalb des freigebenden Gremiums keines der Elemente diskutiert, sondern lediglich über die Aufnahme in die aktive Spezifikation entschieden wurde, kann der Zeitanteil hierfür vernachlässigt werden.

Somit ergibt sich für die kontinuierlichen Tätigkeiten, welche nicht über das Softwaresystem dokumentiert wurden, ein Gesamtaufwand von 220 Personentagen pro Jahr.

6.4.3 Zeitaufwände aus Software-Prototyp

Die Elemente der primären Wissensstruktur weisen bezogen auf die ermittelten Daten eine einheitliche Struktur auf. Für jedes Element liegt zum einen die Gesamtzeit, zum anderen die Bearbeitungszeit von der Erstellung bis zu jedem Status im Elementlebenszyklus⁸¹ vor. Es ist dabei zu beachten, dass Zeiten, die während einer zusätzlichen Iteration, also eines Rückschritts im Statussystem anfallen, dem entsprechenden Status zugeordnet werden. Zusätzlich liegen die Anzahl der Bearbeitungen ohne Statusänderungen und die dafür eingebrachte Arbeitszeit sowie die Iterationen bis zum Erreichen eines Status vor. Abbildung 6.2 zeigt die betrachteten Zeitspannen grafisch auf und führt die entsprechenden Bezeichnungen für die weitere Verwendung ein.

Hierbei beschreibt der erste Index der Variablen, ob es sich um die Gesamtzeit t_g oder die Arbeitszeit t_w handelt. Der zweite und dritte Index gibt die numerische Repräsentation des Ausgangs- und Endstatus an. Damit entspricht bspw. $t_{w,1,3}$ der Bearbeitungszeit eines Elements von dem Anlegen mit dem

⁸¹ Diese Zeiten liegen nur bis zum Erreichen des Status *Frei*_{Hierarchie} des Elements vor. Die Datensätze, für die der gesamte Zyklus bis *Veraltet* durchlaufen wurde, sind sehr gering und wenig statistisch relevant.

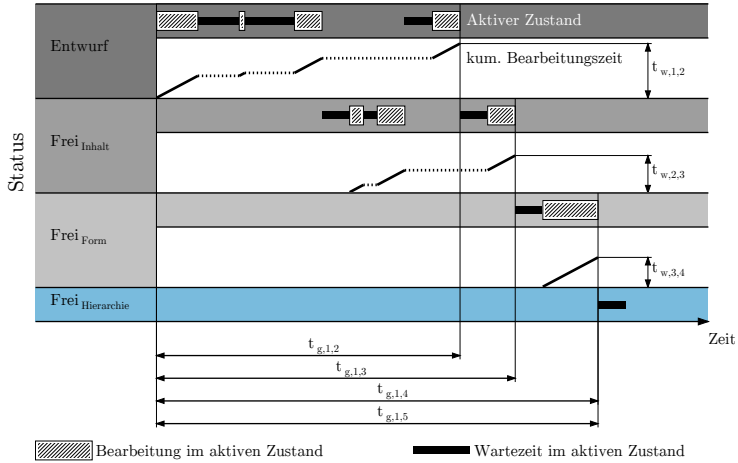


Abb. 6.2: Überblick über gemessene Zeiten zur Bearbeitung von Elementen der primären Wissensstruktur

Status *Entwurf* bis zum Erreichen des Status *Frei_Form*. Hierbei gilt $t_g \geq t_w$ und $t_{w,x,x+1} < t_{w,x,x+2}$ wobei x der numerischen Repräsentation eines Status *Entwurf* bis *Frei_Hierarchie* entspricht. $t_{w,x,x}$ ist dabei als die Zeit ohne Statusänderung definiert und wird im Sinne der Übersichtlichkeit als $t_{w,x}$ notiert. Die Abbildung zeigt den Verlauf eines Elements. Hierbei ist ein mehrfacher Wechsel zwischen *Entwurf* und *Frei_Inhalt* sowie die kumulierte Bearbeitungszeit beispielhaft dargestellt.

Für die Elemente der Strategie liegen 161 Datensätze für den Bereich LKW und weitere 117 für den Bereich Bus vor. Des Weiteren konnten im Bereich LKW 524 Datensätze für Anforderungen und 559 für Probleme dokumentiert werden. Im Bereich Bus waren es 332 und 467. Tabelle 6.1 zeigt die durchschnittlichen Zeiten für die Gesamtheit der Datensätze aus den Bereichen LKW und Bus.

Tabelle 6.1: Durchschnittliche Zeiten

Element	$t_g,1,2$ [d]	$t_w,1,2$ [h]	$t_g,1,3$ [d]	$t_w,1,3$ [h]	$t_g,1,4$ [d]	$t_w,1,4$ [h]
Strategie	t_g	12,73	22,54		31,81	
	t_w		4,28	5,94		6,15
Anforderung	t_g	4,81	7,37		15,77	
	t_w		3,72	4,43		4,56
Problem	t_g	6,54	11,23		15,78	
	t_w		1,25	1,61		1,69

Es ist erkennbar, dass der Übergang von $\text{Frei}_{\text{Inhalt}}$ zu $\text{Frei}_{\text{Hierarchie}}$ nur eine sehr geringe Arbeitszeit beinhaltet. Diese entfällt vor allem auf die Zusammenstellung und finale Aufbereitung der Inhalte für die Freigabegremien sowie die Dokumentation der Entscheidung. Der Kapazitätsaufwand, der innerhalb der Gremien anfällt, ist nicht systematisch über das Software-System zu dokumentieren, da die Entscheidung innerhalb einer regulären Agenda mit Hilfe einer Präsentation erfolgte. Da Diskussionen an dieser Stelle vermieden wurden, konnten im Regelfall in einem ca. 15 minütigen Zeitfenster zwischen 10 und 20 Elemente freigegeben werden. Aufgrund organisatorischer Veränderungen konnte dieser Prozess allerdings bis zum Abschluss des Projekts nicht vollständig stabilisiert und daher keine belastbaren Datensätze generiert werden. Eine Grenze von zwei Minuten pro Anforderung wurde aber für die reine Freigabe nicht überschritten und kann somit als Abschätzung herangezogen werden.

Abbildung 6.3 zeigt den Verlauf des Zeitbedarfs zur Bearbeitung von Anforderungen über die beobachtete Projektlaufzeit. Hierbei werden lediglich die Datensätze aus dem Bereich LKW berücksichtigt, da hier eine längere Beobachtungszeit Rückschlüsse auf Lerneffekte zuließ.

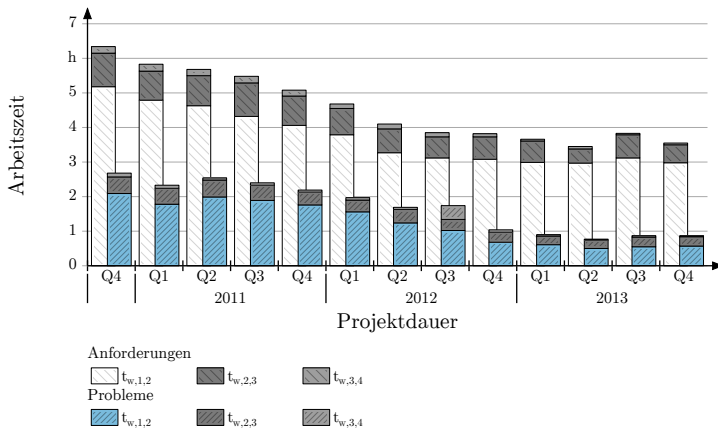


Abb. 6.3: Zeitlicher Verlauf des Zeitbedarfs über die Projektlaufzeit

Es ist ersichtlich, dass sich die Zeiten für den Übergang zwischen den verschiedenen Stufen im Mittel einem Grenzwert nähern. Besonders stark sind diese Lerneffekte für die Wissensartefakte Problem und Anforderung ausgeprägt, da hier sowohl die Dokumentationsmethodik, als auch das Erlernen der Software einen starken Anteil aufweisen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die reine Erstellung einer Anforderung ein Arbeitsaufwand von ca. 3 Stunden entsteht. Die durchschnittliche

Anzahl an Anforderungen pro Anwender lag im Bereich LKW bei 9,70. Bei einer angenommenen Überarbeitung aller Anforderungen nach einem Jahr lässt sich damit ein jährlicher Zeitaufwand pro Mitarbeiter von ca. 30 Stunden pro Jahr unter der Annahme ermitteln, dass nach der initialen Befüllung im gleichen Maße Anforderungen erstellt werden. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Anzahl jährlich neu zu definierender Anforderungen abnimmt und für die Überarbeitung der Anforderungen weniger Zeit benötigt wird. Damit kann von einer zusätzlichen Durchführung der Tätigkeit zum operativen Tagesgeschäft ausgegangen werden. Der Zeitbedarf für die Dokumentation der Probleme kann dabei vernachlässigt werden, da zum einen die Zeit für die Dokumentation eines einzelnen Problems einen Aufwand von 0,8 Stunden verursacht und diese Probleme überwiegend bereits für andere Unternehmensfunktionen dokumentiert wurden.

Die Pflege der bestehenden Anforderungen, das Durchführen der Audits sowie die Vorbereitung der Freigaben der Anforderungen müssen durch eine zentrale Funktion durchgeführt werden. Die o. g. Übergänge von Status *FreiInhalt* zu *FreiForm* sowie von *FreiForm* zu *FreiHierarchie* stellt den operativen Anteil der Tätigkeiten dar. Dieser betrug für die 524 Anforderungen, 161 Strategien und 559 Probleme einen Aufwand von 65,70 Tagen. Hierbei ist zu beachten, dass eine jährliche Überarbeitungs- bzw. Erneuerungsquote von 25% für Strategien und lediglich 50% für Probleme angenommen wurde. Somit können die operativen Tätigkeiten der zentralen Funktion bereits in diesem Stadium der Implementierung durch eine Person durchgeführt werden.

6.4.4 Zusammenfassung

Die Betrachtung der dokumentierten Aufwände hat gezeigt, dass eine Umsetzung innerhalb der Industrie bereits in einem frühen Prototypenstadium mit vertretbarem Aufwand durchzuführen ist. Gleichzeitig wurde ersichtlich, dass die benötigten Bearbeitungszeiten über unterschiedliche Teilbereiche im Unternehmen reproduzierbar sind. Damit lässt sich das Gesamtkonzept, unter Nutzung einer zentralen Funktion für koordinative Tätigkeiten und Auditierung, parallel zum operativen Betrieb der Produktion durchführen. Die entsprechende Anforderung an das Konzept (O1 und O4) kann als erfüllt angesehen werden.

6.5 Evaluation der Methode

Die drei vorgestellten, realen Anwendungsszenarien haben einen Ausschnitt der industriellen Nutzung des entwickelten Konzeptes aufgezeigt und die praktische Anwendbarkeit dargestellt. Gleichzeitig haben sie illustriert, inwieweit eine Integration der Produktion in die frühe Phase der Produktentstehung erfolgen

kann. Damit konnte das Hauptziel der Operationalisierung des grundlegenden Gedankens von Simultaneous Engineering erreicht werden. Zusätzlich wurde ersichtlich, dass das Stufenkonzept unterschiedliche Grade der Einführung ermöglicht und damit die Hemmschwelle für eine Verwendung in der industriellen Anwendung deutlich gegenüber Methoden reduziert, welche eine vollständige Nutzung voraussetzen. Bereits die grundlegende Form der Sensibilisierung der Produktionsmitarbeiter, eine aktive Rolle durch die Formulierung von Anforderungen einzunehmen, ermöglicht einen besseren Dialog mit weiteren beteiligten Bereichen.

Die Anwendung hat zusätzlich aufgezeigt, dass die Generierung der Anforderungen in Verbindung mit den Elementen der primären Wissensstruktur einen nicht unerheblichen Kapazitätsbedarf im Unternehmen hervorruft, welcher zwar entsprechend der Planung verteilt werden kann, aber in Summe innerhalb des Unternehmens anfällt. Nur wenn dieser Aufwand auf allen hierarchischen Ebenen als Investment in die Möglichkeit einer besseren Produktion verstanden wird, lässt sich die initiale Aufnahme durchführen.

Die erreichten Einsparungen lassen sich gegenüber den Aufwendungen nicht mit der gleichen Präzision quantifizieren, da im Regelfall eine Beobachtung beider Alternativen, mit und ohne Verwendung des entwickelten Gesamtkonzeptes nicht möglich ist. Dennoch soll hier eine grobe Darstellung der Wirtschaftlichkeit in Form der nötigen Einsparung zur Rechtfertigung des Konzeptes aufgezeigt werden.

Die Effekte des produktionsseitigen Anforderungsmanagements zeigen sich primär auf zwei Arten. Zum einen kommt es innerhalb der SE-Teamarbeit mit weniger Aufwand zur gleichen Produktgestaltung wie ohne produktionsseitiges AM. Einsparungen liegen dabei in der Effizienzsteigerung der Diskussion sowie der reduzierten Anzahl an Fehlern begründet. Die zweite Gruppe der Auswirkungen zeigt sich in Form einer Produktgestaltung, welche im Sinne des Unternehmensoptimums besser ist als eine Produktgestaltung ohne produktionsseitiges AM.

Wird zunächst die erste Gruppe betrachtet, so ist zu beachten, dass die inhaltliche Aufbereitung jeder Anforderung implizit auch ohne ein strukturiertes Vorgehen erfolgen muss. Dies bedeutet, dass der entsprechende Produktionsvertreter sich der Forderungen der Produktion bewusst sein muss und dazu ggf. Untersuchungen anstoßen muss (vgl. Anwendungsfall 3). Somit müssen die effizienzverbessernden Effekte also nicht den gesamten Aufwand sondern lediglich den Teil der für eine Dokumentation benötigt wird aufwiegen. Bezogen auf das Anwendungsbeispiel bedeutet dies ca. 263 Personentage (Zeiten aus

den Abschnitten 6.4.1 bis 6.4.4 sowie aus 6.4.3) für die initiale Einrichtung sowie die Pflege pro Jahr⁸².

Wird von einer Anzahl von zehn Entwicklungsteams mit einer durchschnittlichen Teilnehmeranzahl von fünf (bspw. Entwicklung, Einkauf, After-Sales, Produktmanagement und Produktion) und einer gemeinsamen Teamarbeit von zwei Tagen pro Woche ausgegangen, so ergibt sich ein Kapazitätseinsatz von 5000 Personentagen⁸³. Für die Amortisation der Methode in einem Zeitraum von 12 Monaten rein auf Basis der Effekt der ersten Gruppe ergibt sich somit eine notwendige Effizienzsteigerung von ca. 5,6%. Bezogen auf eine Arbeitszeit von acht Stunden bedeutet dies eine Verkürzung der Diskussionen um 27 Minuten an Tagen der gemeinsamen Projektarbeit. Im Vergleich zu den Beobachtungen aus dem dritten Anwendungsbeispiel erscheinen diese Verkürzungen realisierbar. Zur reinen Deckung der laufenden Aufwände nach der Initialaufnahme ist bereits eine Effizienzsteigerung von 1,3%, also einer Verkürzung um 6 Minuten ausreichend. Diese Effekte werden durch die Reduktion von Abstimmungsschleifen zusätzlich unterstützt. Lassen sich bspw. pro Team sechs Arbeitstage (bspw. Workshops) durch eine Erhöhung der Entscheidungsqualität reduzieren, so wird ebenfalls eine positive Bilanz der Einführung bereits im ersten Jahr erreicht. Die Reduktion weiterer Kosten wie beispielsweise durch zusätzliche Prototypen oder auch zusätzliche Prozesse wirken ebenfalls verbessernd auf diese Bilanz.

Die zweite Gruppe stellt eine verbesserte Produktgestaltung dar. Bezogen auf das produktionsseitige Anforderungsmanagement sollen an dieser Stelle exemplarisch einige Kosten aufgezeigt werden, welche durch eine Berücksichtigung der Anforderungen verhindert werden können. Wird von einer produzierten Stückzahl von 50.000 Stück pro Jahr und einem Arbeitsaufwand von 28h pro Einheit ausgegangen so ergibt sich eine reine Zeitersparnis von ca. 5 Minuten pro Produkt unter der defensiven Annahme, dass die Kosten für einen Mitarbeiter für die Betreuung der Anforderungen sich doppelt so hoch belaufen wie für einen produktiven Mitarbeiter. Anwendungsfälle eins und zwei haben gezeigt, dass Einsparungen bspw. durch bessere Erreichbarkeit und Vermeidung von Adaptern problemlos erzielt werden können. Zusätzliche Kosten stellen nötige Anschaffungen von Infrastruktur in diesen Fällen dar. Wenngleich eine pauschale Aussage über diese Kosten aufgrund der Vielzahl an Betriebsmitteln nicht möglich ist, so scheint es doch plausibel, dass die Kosten für einen Mitarbeiter (263 Personentage) mit ca. 100.000€ bereits durch wenige Infra-

⁸² Dieser defensiven Annahme liegt zu Grunde, dass die Probleme und Strategien dem Produktionsvertreter bereits vollständig implizit vorliegen.

⁸³ Es wird eine Fünf-Tage-Woche angenommen, von denen jeweils zwei Tage für die gemeinsame Arbeit für alle Beteiligten veranschlagt werden.

strukturmaßnahmen und Betriebsmittel aufgewogen werden. Bezogen auf ein Produkt bedeutet dies eine Einsparung von zwei Euro pro Produkt.

In der industriellen Praxis setzen sich die Einsparungen der beiden Gruppen zusammen. Die hier aufgeführte defensive Schätzung legt bereits eine realisierbare Amortisation unter einem Jahr dar.

Eine Herausforderung ließ sich im Rahmen der Freigabe der Anforderungen und Konzepte durch das Top-Management identifizieren. Hierbei musste stets dem Wunsch nach einer Priorisierung und der damit verbundenen Delegation der Entscheidungen entgegen getreten werden. Das dritte Anwendungsszenario zeigt aber, dass eine einzelne, ggf. unwichtig erscheinende Anforderung gravierende Auswirkungen auf das Produktionskonzept und die damit verbundenen Kosten verursachen kann. Aus diesem Grund wurde während der Entwicklung des Gesamtkonzeptes auf eine Priorisierung auf Ebene der Anforderungen verzichtet und diese Entscheidung durch die Anwendung bestätigt. Es bleibt in diesem Kontext aber anzumerken, dass es sich im ersten und zweiten Fall um eine fast vollständige Initialaufnahme handelte und damit eine nicht unerhebliche Anzahl an Anforderungen in kurzer Zeit durch das Management freizugeben war. Nach dieser Phase nimmt die Anzahl der neuen bzw. überarbeiteten Anforderungen deutlich ab. Gleichzeitig ist der Kapazitätsbedarf stark abhängig von der bereits definierten Produktionsstrategie. Liegt diese dokumentiert vor oder herrscht zumindest ein einheitliches Verständnis auf konkreter Ebene, lassen sich massive Einsparungen in Bezug auf den Kapazitätsbedarf realisieren.

Die Anwendungsszenarien eins und zwei haben erste Erfahrungswerte für die Anzahl an generierten Anforderungen und Strategieelementen geliefert, wobei Szenario drei gezeigt hat, dass diese in Zukunft mit großer Wahrscheinlichkeit eine Erweiterung erfahren. Die so generierte Anzahl übersteigt bereits im ersten und zweiten Anwendungsfall die durch einen Konstrukteur simultan zu berücksichtigende Anzahl an Anforderungen. Zusätzlich stellen diese Zahlen lediglich die Anforderungen der Produktion, also einen Teil der durch alle beteiligten Bereiche einwirkenden Anforderungen dar. Aus diesem Grund ist eine gezielte Zuordnung zu den Elementen der sekundären Struktur, vor allem der Produktsicht, für den Konstrukteur von besonderer Relevanz. Somit ist eine Konzentration auf das zu entwickelnde Bauteil und das dabei zum Einsatz kommende Verfahren möglich. Hierdurch zeigt sich ein gravierender Vorteil gegenüber teilweise genutzten, unstrukturierten Listen, welche alle Anforderungen zur Beachtung durch den Konstrukteur aufführen.

Die Verwendung eines Software-Werkzeugs hat sich als zentraler Erfolgsfaktor dargestellt. Sie ermöglicht es die dezentrale Zusammenarbeit entlang der Freigabeprozesse sowie die Abbildung der verknüpften Wissensstruktur umzusetzen.

Die in Abschnitt 3.2 aufgestellten Anforderungen an ein Gesamtkonzept zum produktionsseitigen Anforderungsmanagement lassen sich damit wie folgt bewerten. Das Wissensmodell und die Qualitätsfragen sorgen dafür, dass trotz der Dezentralität alle Forderungen an Eigenschaften der Anforderungen und Anforderungsspezifikationen erfüllt werden können. Der Prozess der Diskussion in den ersten Stufen und die Verwendung der Produktsicht im Rahmen des sekundären Wissensmodells stellen die Verwendbarkeit innerhalb der Produktentwicklung sicher. Durch die Fokussierung auf die grundlegende Literatur zu Anforderungen und zum Anforderungsmanagement konnte eine vollständige Kompatibilität mit Anforderungen anderer Bereiche sichergestellt werden, welche sich ebenfalls an diesen Grundlagen orientieren. Das Einführungskonzept, aber auch die Führung der Benutzer mit Hilfe der Qualitätsfragen, erlaubt eine asynchrone Einbindung der Tätigkeiten der Produktion. Die erfolgreiche Nutzung innerhalb eines Anwendungsbeispiels hat die Tauglichkeit zur Implementierung in der Industrie dargestellt. Trotz der Verwendung eines Software-Prototyps konnten bereits große Teile des Konzepts evaluiert werden. Der benötigte Zeiteinsatz erfordert allerdings die Verfügbarkeit dieser nicht unerheblichen Ressourcen innerhalb des Unternehmens. Die prozessseitigen Anforderungen werden vollständig ab Stufe drei erreicht, wenn eine Trennung der Aufnahme der Anforderungen und die Sicherstellung der Verfügbarkeit für alle neuen Entwicklungsprojekte durchgeführt wurden. Da das Gesamtkonzept auf den Grundlagen des AM basiert, kann es einen Bestandteil dieses im Rahmen des PEP darstellen. Der Inhomogenität der Wissensträger in Bezug auf Qualifikation und Vorbildung bezüglich Anforderungen wird durch die zentrale Organisation und die starke methodische Unterstützung Rechnung getragen. Es ist allerdings anzumerken, dass eine gewisse Grundfähigkeit zur Abstraktion von allen Beteiligten erforderlich ist und somit ggf. nicht jeder Wissensträger in den Prozess eingebunden werden kann. Die Fokussierung auf formalisierte Strukturen der primären und sekundären Wissensmodelle erlaubt eine effiziente Zusammenarbeit über Landes- und Sprachgrenzen hinweg.

Die Evaluation der Implementierung hat einen nicht unerheblichen Aufwand zur Einführung des Konzepts aufgezeigt. Während genaue Aussagen über den Aufwand möglich sind, bleiben Nutzenpotentiale aufgrund der Systemkomplexität nur grob zu quantifizieren. Wie bereits exemplarisch gezeigt, ist anzunehmen, dass das Nutzenpotential diesen Aufwand um ein Vielfaches übersteigt, da bereits kleine Anpassungen einer Produktion mit erheblichen Kosten verbunden sind.

Eine Übersicht über die Erfüllung der Anforderungen an ein Gesamtkonzept finden sich in Tabelle 6.2.

Tabelle 6.2: Erfüllung der Anforderungen an ein Konzept zum produktionsseitigen AM

Allgemeine Anforderungen		
A1	Erzeugung von Anforderungen hoher Qualität	●
A2	Erzeugung von Anforderungsspezifikationen mit hoher Qualität	●
A3	Erzeugung verständlicher Anforderungen im Kontext der Produktentwicklung	●
A4	Sicherstellung der Kompatibilität mit Anforderungen anderer Bereiche	●
A5	Berücksichtigung der Unternehmensfunktionen der Produktion als Anforderungssteller	●
A6	Industrielle Anwendbarkeit des Gesamtkonzepts	⊕
Prozessanforderungen		
P1	Synchronisierbarkeit mit dem PEP	●
P2	Berücksichtigung quasi-kontinuierlicher Anforderungsveränderungen	●
Organisationsanforderungen		
O1	Berücksichtigung der Inhomogenität und Dezentralität der Wissensträger	●
O2	Einfacher Umgang ohne einschlägige Ausbildung	●
O3	Berücksichtigung globaler Organisationen	●
O4	Effizienter Einsatz von Mitarbeiterkapazitäten	⊕

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Simultaneous Engineering (SE) hat trotz langjähriger Bekanntheit und Akzeptanz in Wissenschaft und Industrie noch immer nicht alle erwarteten Verbesserungspotentiale ausgeschöpft (vgl. Abschnitt 2.2.3). Zu den grundlegenden Potentialen gehört unter anderem eine Verbesserung der Kommunikation zwischen den Beteiligten aus verschiedensten Unternehmensbereichen und -funktionen. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Zieldefinition bezüglich des zu entwickelnden Produkts. Eine präzise kommunizierbare Dokumentation in Form eines Lastenhefts wird von der Mehrheit der Autoren der aktuellen Literatur gefordert, ohne jedoch konkrete Methoden und Werkzeuge für Stakeholder der produzierenden Bereiche zu liefern. Das Anforderungsmanagement (AM) bildet die Grundlage für einen effizienten Umgang mit diesen Zielen in Form von Anforderungen. Die etablierten Methoden des AM finden ihren Ursprung in der Software-Entwicklung und kommen jedoch zunehmend für die Entwicklung physischer Produkte zum Einsatz. Hierbei werden die primären Anforderungsquellen wie Kunde und Gesetzgeber übernommen und wenige Hilfsmittel zur Ermittlung von Anforderungen von weiteren Stakeholdern gegeben. Den besonderen Bedingungen des AM innerhalb der produzierenden Bereiche, wie beispielsweise eine kontinuierliche Beobachtbarkeit der Anforderungen oder die Notwendigkeit einer dezentralen Bearbeitung, wird nicht Rechnung getragen (vgl. Kapitel 3.2). Bestehende Ansätze liefern Teilaspekte, stellen aber kein ganzheitlich auf das produktionsseitige Anforderungsmanagement zugeschnittenes Konzept bereit (vgl. Abschnitt 3.4).

Die Entwicklung eines hierfür geeigneten Konzepts steht im Zentrum dieser Arbeit.

Das Informationsmodell besteht aus einer primären sowie fünf sekundären Wissensstrukturen. Die primäre Struktur beinhaltet die drei zusammenhängenden Artefaktklassen *Anforderung*, *Produktionskonzept* und *Problem* und dient der Abbildung des logischen Zusammenhangs mit dem Ziel der Bewertbarkeit der Anforderungen. Diese Struktur ist notwendig, da Anforderungen im Rahmen der Zusammenarbeit im SE ausgetauscht werden, eine Bewertung aber lediglich auf Basis der durch die Anforderung ermöglichten Produktionskonzepte oder behobenen Probleme durchführbar ist. Um der Inhomogenität der Stakeholder innerhalb der Produktion gerecht zu werden, erfolgt eine Anreicherung um eine

sekundäre Struktur, die eine Zuordnung von Objekten der Sichten *Produkt, Prozess, Verfahren, Betriebsmittel* und *Organisation* ermöglicht und somit eine anwendungsorientierte Sicht einführt (vgl. Abschnitt 4.1). Eine Definition der Eigenschaften der Artefakte der primären Struktur erfolgte in Abschnitt 4.2. Die auf Basis der Literatur definierten Qualitätskriterien für Anforderungen werden zusätzlich auf die Artefaktklassen *Strategie* und *Problem* übertragen und mit sog. Qualitätsfragen abgesichert. Diese indirekte Absicherung ist notwendig, da eine direkte Bewertung aufgrund der dezentralen Ausführung und eingeschränkten Qualifikation⁸⁴ der ausführenden Mitarbeiter nicht möglich ist. Für einen effizienten Umgang mit diesen Strukturen innerhalb der dezentralen Organisation ist ein Rollen- und Rechtemodell nötig, welches die Verantwortlichkeiten und Zugriffe auf Artefakte und deren Eigenschaften sicherstellt (vgl. Abschnitt 4.5). Abschnitt 4.6 stellt ein Modell zur Ableitung von Ähnlichkeiten zwischen Elementen der verschiedenen Strukturelemente vor, welches die Voraussetzung für eine spätere Software-Unterstützung bildet. Die primär qualitativen Eigenschaften der Artefaktklassen werden durch ein Modell zur monetären Gesamtbewertung erweitert, welches eine unternehmensoptimale Gesamtbewertung unterstützt.

Die Einführung des Gesamtkonzepts erfolgt in einem Stufenmodell, welches die vier aufeinander aufbauenden Stufen *Sensibilisieren und Motivieren, Erzeugung eines zeitdiskreten Lastenhefts als Projekt, Integration in Regelprozess und Organisation* sowie *mathematisch-monetäre Gesamtbewertung* enthält (vgl. Kapitel 5). Das entwickelte Gesamtkonzept wird über die Stufen zunehmend in die Abläufe eines Unternehmens integriert. Für jede Stufe erfolgte die Definition von Evaluierungskriterien, anhand welcher die Erreichung der Stufe überprüft werden kann.

Die Validierung der Anwendbarkeit des Gesamtkonzepts sowie des Stufenmodells erfolgte anhand dreier industrieller Fallbeispiele in Zusammenarbeit mit einem Nutzfahrzeughersteller. Die hierfür entwickelte Software wurde kurz vorgestellt, da eine effiziente und industrienaher Nutzung des Informationsmodells ohne entsprechende Werkzeuge nicht oder nur eingeschränkt möglich ist. Durch die Erstellung und spätere Nutzung der Software konnte der Nachweis einer Implementierbarkeit gegeben und die Kompatibilität zu industriellen Softwaresystemen exemplarisch nachgewiesen werden (vgl. Abschnitt 6.2).

Die Validierung der Anwendbarkeit des Konzepts erfolgte anhand von drei ausgewählten Anwendungsfällen mit unterschiedlichem Betrachtungsfokus. Abschnitt 6.3.2 zeigt die Einführung des Gesamtkonzepts auf Basis der Stufen

⁸⁴ Hierbei bezieht sich die Qualifikation auf den Umgang mit Anforderungen und ist von der Qualifikation für die operative Regeltätigkeit unabhängig.

für den Produktbereich der von Produkt A mit Fokus auf die Organisationsentwicklung und den Übergang zu einem kontinuierlichen AM. Abschnitt 6.3.3 fokussiert auf die Schritte zur Erstellung eines Lastenhefts für eine neue Generation von Produkt B und illustriert die Verwendung der Methode in einem internationalen Kontext. Ein Einblick in die konkrete Generierung und Verwendung von Anforderungen wird am Beispiel der Entwicklung eines Produktes A mit neuer Technologie in Abschnitt 6.3.4 gegeben. Abschließend erfolgt eine kritische Evaluation der Methode auf Basis des Anwendungsbeispiels sowie der gestellten Anforderungen.

Das entwickelte Gesamtkonzept ermöglicht es, die Ziele produzierender Bereiche in einen interdisziplinären Entwicklungsprozess im Rahmen des SE einzubringen und die Kommunikations- und damit Ergebnisqualität der Entwicklungstätigkeiten bereits in einer frühen Phase der Produktentwicklung zu verbessern. Hiermit konnte ein weiterer Baustein für eine fundierte Entscheidung bezüglich zu realisierender Produkteigenschaften, -funktionen und -varianten gelegt werden.

Auf diese Weise können sich produzierende Bereiche von einer reaktiven Rolle als reine Umsetzer von Entwicklungsvorgaben hin zu aktiv gestaltenden Stakeholdern im Entwicklungsprozess verändern und damit die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen durch eine wirtschaftliche Produktion sichern. Dies kann allerdings nur durch den Einsatz von Kapazitäten und oftmals einem Mentalitätswechsel im Unternehmen erfolgen. Diese Arbeit liefert ein Werkzeug hierfür.

Unternehmen welche bereits das Grundkonzept des Simultaneous Engineering können die Bereits etablierten Prozesse der proaktiven Integration noch weiter verbessern und somit die einleitend dargestellten Potentiale weiter vergrößern. Das Unternehmen im Anwendungsbeispiel zeichnete sich bereits durch eine erfolgreiche Umsetzung über alle Bereiche aus. Dennoch konnten auch hier zusätzliche Effizienzsteigerungen realisiert werden.

7.2 Ausblick

Das in dieser Arbeit entwickelte Gesamtkonzept für das produktionsseitige Anforderungsmanagement wurde gezielt für eine branchenübergreifende Verwendung ausgelegt, sodass eine Übertragung auf weitere Anwendungsgebiete als das bereits im Beispiel dargestellte möglich ist. Gleichzeitig wurden im Umfang dieser Arbeit Grundlagen für den Aufbau des entsprechenden Wissensmodells gelegt, welches für jeden Anwendungsfall zu konkretisieren ist. Die Entwicklung eines umfassenden Kataloges an branchenspezifischen Modellen kann die Verbreitung weiter unterstützen. Dies gilt gleichermaßen für die Erstellung spezifischer Berechnungsmodelle zur Kostenbewertung. Auf Basis repräsentativer

Untersuchungen kann ein Ziel zukünftiger Forschung sein, allgemeingültige Module für eine systematische Bewertung für die Anwender vorzubereiten.

Diese Arbeit hat den allgemeinen Bedarf nach einem systematischen Umgang mit Wissen im Rahmen des SE und des Anforderungsmanagements im speziellen qualitativ dargestellt. Demgegenüber konnte der Aufwand zur Einführung und kontinuierlichen Umsetzung auf Basis von Beobachtungen quantitativ bestimmt werden. Eine quantitative Bestimmung der Vorteile ist hingegen am realen Objekt, einem tatsächlich agierenden Unternehmen, nicht direkt möglich. Zwei vollständig identische Projekte existieren in der Realität nicht; die Gesamtheit der Einflüsse auf Projektdauer und Erfolg sind ebenfalls nicht vollständig beobachtbar. Hierbei können langfristige Beobachtungen mit einer ausreichend großen Stückzahl helfen, Rückschlüsse auf die Wirksamkeit des produktionsseitigen Anforderungsmanagements zu ziehen. Dafür ist es allerdings notwendig, dass das Gesamtkonzept bereits in einigen Unternehmen eingeführt und umgesetzt wird. Zur Unterstützung dieser Verbreitung sind vor allem die Entwicklung leistungsfähiger und in die Software-Architektur der Anwender eingebettete Software-Systeme sowie die Definition von spezifischen Normenwerken analog zum klassischen Anforderungsmanagement notwendig.

Das entwickelte Wissensmodell sowie das Stufenkonzept erlauben eine starke Formalisierung des Wissens und, sofern mit den Anforderungen anderer Bereiche gekoppelt, eine mathematische Optimierung von Entwicklungskonzepten bezogen auf die Gesamtheit aller Anforderungen vor dem Hintergrund der Unternehmensziele. Forschungen auf diesem Gebiet können das erstellte Modell nutzen, um es in entsprechende Problemformulierungen und Algorithmen einfließen zu lassen.

Diese Arbeit kann keinesfalls als der Abschluss zur Systematisierung der produktionsseitigen Anforderungen gesehen werden. Sie ist vielmehr das Fundament für weitere Aktivitäten und Forschungsarbeiten.

Literaturverzeichnis

ABELE & REINHART 2011

Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion: Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Hanser 2011.

ADDO-TENKORANG 2011

Addo-Tenkorang, R.: Concurrent Engineering (CE): A Review Literature Report. In: Ao, S. I.; Douglas, C.; Grundfest, W. S.; Burgstone, J. (Hrsg.): Proceeding of the World Congress on Engineering and Computer Science. Newswood 2011. S. 1074–1080.

AFONSO ET AL. 2008

Afonso, P.; Nunes, M.; Paisana, A.; Braga, A.: The influence of time-to-market and target costing in the new product development success. International Journal of Production Economics 115 (2008) 2, S. 559–568.

ALTMANNINGER ET AL. 2009

Altmanninger, K.; Seidl, M.; Wimmer, M.: A survey on model versioning approaches. International Journal of Web Information Systems 5 (2009) 3, S. 271–304.

AMBROSE & HARRIS 2010

Ambrose, G.; Harris, P.: Design thinking: Fragestellung, Recherche, Ideenfindung, Prototyping, Auswahl, Ausführung, Feedback. München: Stiebner 2010.

ANDREASEN ET AL. 1983

Andreasen, M. M.; Kähler, S.; Lund, T.: Design for assembly. Kempston: IFS Publications 1983.

AUDEHM 1999

Audehm, D.: Systematische Ideenfindung: Kreativitäts-Techniken bei der Entwicklung und Verbesserung von Produkten und Dienstleistungen sowie bei der Lösung betrieblicher Probleme. Renningen: Expert-Verl. 1999.

BALZERT 2009

Balzert, H.: Lehrbuch der Software-Technik. Lehrbücher der Informatik. Heidelberg: Akad. Verl 2009.

BAYERL 2005

Bayerl, C.: 30 Minuten für Kreativitätstechniken. 30-Minuten-Reihe. Offenbach: Gabal 2005.

BECHER 2009

Becher, M.: XML: DTD, XML-Schema, XPath, XQuery, XSLT, XSL-FO, SAX, DOM. Informatik. Herdecke: W3L-Verl. 2009.

BERKOVICH 2012

Berkovich, M.: Requirements Engineering für IT-gestützte Product Service Systems. Dissertation, Technische Universität München, München, 2012.

BERKOVICH ET AL. 2009

Berkovich, M.; Esch, S.; Leimeister, J. M.; Krcmar, H.: Requirements Engineering for hybrid products as bundles of hardware, software and service elements - a literature review. In: Österreichische Computer Gesellschaft (Hrsg.): usiness Services: Konzepte, Technologien, Anwendungen 9. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik. Oesterreichische Computer Gesellschaft 2009. S. 727–736.

BERKOVICH ET AL. 2011

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

BERNDES & STANKE 1996

Berndes, S.; Stanke, A.: A Concept for Revitalisation of Product Development. In: Bullinger, H.-J.; Warschat, J. (Hrsg.): Concurrent simultaneous engineering systems. London: Springer 1996, S. 7–56.

BERNUS ET AL. 2006

Bernus, P.; Mertins, K.; Schmidt, G.: Handbook on architectures of information systems. Berlin: Springer 2006.

BIELERT 1997

Bielert, P.: Gewinnerorientierte Planung der Produktqualität, Betriebswirtschaftliche Forschung zur Unternehmensführung, Band 31. Wiesbaden: Gabler 1997.

BÖHLE & WEIHRICH 2009

Böhle, F.; Weihrich, M.: Handeln unter Unsicherheit. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften 2009.

BONGERS 2004

Bongers, F.: XSLT 2.0: Das umfassende Handbuch. Galileo Computing. Bonn: Galileo Press 2004.

BOOTHROYD ET AL. 2011

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W. A.: Product design for manufacture and assembly. Boca Raton: CRC Press 2011.

BRAESS & SEIFFERT 2012

Braess, H.-H.; Seiffert, U.: Produktentstehungsprozess. In: Braess, H.-H.; Seiffert, U. (Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2012, S. 881–948.

BRAY 2002

Bray, I.: An introduction to requirements engineering. Harlow: Addison Wesley 2002.

BREIDERT 2006

Breidert, C.: Estimation of Willingness-to-Pay: Theory, Measurement, Application. Wiesbaden: Deutscher Univ.-Verl. 2006.

BRÜGGEMANN & BREMER 2015

Brüggemann, H.; Bremer, P.: Grundlagen Qualitätsmanagement: Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer 2015.

BRUHN 2011

Bruhn, M.: Kundenorientierung: Bausteine eines exzellenten Unternehmens. München: Deutscher Taschenbuch Verl. 2011.

BS 6719 1986

BS 6719: British Standard Guide to Specifying User Requirements for Computer-Based Systems. London: British Standard Institute 1986.

BUCKLEY & ESLAMI 2002

Buckley, J. J.; Eslami, E.: An introduction to fuzzy logic and fuzzy sets. Advances in soft computing. Heidelberg: Physica-Verl. 2002.

BÜHNER 2011

Bühner, M.: Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. Psychologie, 3. Auflage. München: Pearson Studium 2011.

BÜHNER & PHARAO 1992

Bühner, R.; Pharao, I.: Organisatorische und personalwirtschaftliche Gestaltung integrierter Gruppenarbeit in der Fertigung. CIM-Management 8 (1992), S. 50–55.

BULLINGER 1995

Bullinger, H.-J.: Integrierte Produktentwicklung: Zehn erfolgreiche Praxisbeispiele. Wiesbaden: Gabler 1995.

BULLINGER & WARSCHAT 1996

Bullinger, H.-J.; Warschat, J. (Hrsg.): Concurrent simultaneous engineering systems: The way to successful product development. London: Springer 1996.

BULLINGER & WASSERLOOS 1990

Bullinger, H.-J.; Wasserloos, G.: Reduzierung der Produktentwicklungszeiten durch Simultaneous Engineering. CIM-Management (1990) 6, S. 4–12.

BULLINGER ET AL. 1992

Bullinger, H.-J.; Reim, F.; Rothkopf, B.: Verteilte Informationssysteme für das Produktionsmanagement. CIM-Management 8 (1992) 1, S. 4–9.

BULLINGER ET AL. 2008

Bullinger, H. J.; Spath, D.; Warnecke, H. J.; Westkämper, E.: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin: Springer 2008.

BURGHARDT 2013

Burghardt, F.: Gestaltung anpassungsfähiger Logistiksysteme: Handlungsempfehlungen zur Ausgestaltung der strategischen Erfolgsfaktoren ; Flexibilität und Wandlungsfähigkeit in der Unternehmenslogistik ; eine theoretische und empirische Analyse der produzierenden Industrie, TCW Wissenschaft und Praxis, Band 73. 1. Auflage. München: TCW-Verl. 2013.

CARNEGIE MELLON UNIV. SOFTWARE ENGINEERING INSTITUTE 1995

Carnegie Mellon Univ. Software Engineering Institute (Hrsg.): The capability maturity model: Guidelines for improving the software process. The SEI series in software engineering. Reading, Mass.: Addison Wesley 1995.

CHAKRAVARTHY B. 1997

Chakravarty B.: A New Strategy Framework for Coping with Turbulence. MIT Sloan Management Review 38 (1997) 2, S. 69–82.

CHUNG ET AL. 2010

Chung, R. C. P.; Chan, S. L.; Ip, W. H.: A Study of Cross-Functional Teams in the New Product Development Process. In: Huang, G.; Mak, K.; Maropoulos, P. (Hrsg.): Proceedings of the 6 CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology. Berlin: Springer 2010, Advances in Intelligent and Soft Computing, Band 66, S. 385–397.

CLAUSSEN 2012

Claussen, P.: Die Fabrik als soziales System: Wandlungsfähigkeit durch systemische Fabrikplanung und Organisationsentwicklung - ein Beispiel aus der Automobilindustrie. Wiesbaden: Gabler 2012.

CLEETUS 1992

Cleetus, K. J.: Definition of concurrent engineering: Technical Report CERC-TR-RN-92-003. Morgantown: Concurrent Engineering Research Center 1992.

COOPER 2001

Cooper, R. G.: Winning at new products: Accelerating the process from idea to launch. 3. Auflage. Cambridge, Mass.: Perseus Pub. 2001.

CORLEY & MIHALCEA 2005

Corley, C.; Mihalcea, R.: Measuring the Semantic Similarity of Texts. In: Proceedings of the ACL Workshop on Empirical Modeling of Semantic Equivalence and Entailment. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics 2005. EMSEE, S. 13–18.

CRESPO ET AL. 2009

Crespo, I.; Bergmann, L.; Portmann, S.: Kontinuierliche Verbesserungsprozesse. In: Dombrowski, U.; Herrmann, C.; Lacker, T.; Sonnentag, S. (Hrsg.): Modernisierung kleiner und mittlerer Unternehmen. Springer 2009, VDI-Buch, S. 169–178.

CZICHOS 1997

Czichos, R.: Change-Management: Konzepte, Prozesse, Werkzeuge für Manager, Verkäufer, Berater und Trainer. München: E. Reinhardt 1997.

DAHMUS ET AL. 2001

Dahmus, J. B.; Gonzalez-Zugasti, J. P.; Otto, K. N.: Modular product architecture. Design Studies 22 (2001) 5, S. 409–424.

DANIEL 2012

Daniel, K.: Collaborative Engineering: Anwendungen, Architekturen und Schnittstellen. Saarbrücken: Akademikerverlag 2012.

DANNER 1996

Danner, S.: Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse. Konstruktionstechnik München. Aachen: Shaker 1996.

DATE & DARWEN 1997

Date, C. J.; Darwen, H.: A guide to the SQL standard: A user's guide to the standard database language SQL. 4. Auflage. Reading, Mass.: Addison Wesley 1997.

DAVILA & WOUTERS 2004

Davila, A.; Wouters, M.: Designing Cost-Competitive Technology Products through Cost Management. Accounting Horizons 18 (2004) 1, S. 13–26.

DAVIS 1993

Davis, A. M.: Software requirements: Objects, functions, and states. Englewood Cliffs: Prentice Hall PTR 1993.

DECKER ET AL. 2013

Decker, D.; Hage, M.; Jerg, F.; Tatartschuk, E.: Produktentstehungsprozess für Scheinwerfer und Heckleuchten. ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift 115 (2013) 11, S. 888–893.

DENK ET AL. 2005

Denk, R.; Exner-Merkelt, K.; Ruthner, R.: Corporate Risk Management: Unternehmensweites Risikomanagement als Führungsaufgabe. 1. Auflage. Wien: Linde 2005.

DENNER 1998

Denner, A.: Beitrag zur Planung und Steuerung des Zeitablaufes von Simultaneous Engineering-Projekten. Dissertation, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 1998.

DIN 8580 2003

DIN 8580: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung. Berlin: Beuth 2003.

DIXIT & PINDYCK 1994

Dixit, A. K.; Pindyck, R. S.: Investment under uncertainty. Princeton, N.J.: Princeton University Press 1994.

DIXIUS 1998

Dixius, D.: Simultane Projektorganisation: Ein Leitfaden für die Projektarbeit im Simultaneous Engineering. Berlin: Springer 1998.

DÖLLNER 1997

Döllner, G.: Konzipierung und Anwendung von Maßnahmen zur Verkürzung der Produktentwicklungszeit am Beispiel der Aggregateentwicklung, Band 54. Braunschweig: Inst. für Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente 1997.

DOMBROWSKI ET AL. 2011

Dombrowski, U.; S. Schulze, S.; Weckenborg, S.: Evaluation of Post-series Supply Strategies in Regard of Sustainability. In: Seliger, G.; Khraisheh, M. K.; Jawahir, I. S. (Hrsg.): Advances in sustainable manufacturing. Berlin: Springer 2011, S. 339–343.

DOODY & BINGAMAN 1990

Doody, A. F.; Bingaman, R.: Reinventing the wheels: Ford's spectacular comeback. New York: Perennial Library 1990.

EBERT 2010

Ebert, C.: Systematisches Requirements-Engineering: Anforderungen ermitteln, spezifizieren, analysieren und verwalten. 3. Auflage. Heidelberg: dpunkt-Verl 2010.

EGBERS ET AL. 2012

Egbers, J.; Glonegger, M.; Magenheimer, K.; Meis, J.-F.; Pause, J.; Präpster, M.; Reinhart, G.: Mensch und Produktionstechnik. wt Werkstattstechnik online (2012) 9, S. 615.

EHRENSPIEL 1991

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produkterstellung, Organisation – Methoden – Hilfsmittel. In: Milberg, J. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Zeit in Produktionsunternehmen. Berlin: Springer 1991. S. 113–131.

EHRENSPIEL 1995

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozeßorganisation Produkterstellung und Konstruktion. München: Hanser 1995.

EHRENSPIEL 2003

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. München: Hanser 2003.

EHRENSPIEL 2014

Ehrlenspiel, K.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Berlin: Springer 2014.

EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013

Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. München: Hanser 2013.

EHRENSPIEL ET AL. 2007

Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Berlin: Springer 2007.

EIFF 1991

Eiff, W.: Prozesse optimieren – Nutzen erschließen – „Simultaneous Engineering“ durch effizientes Informationsmanagement. IBM Nachrichten 41 (1991) 305, S. 23–27.

ELMARAGHY & WIENDAHL 2009

ElMaraghy, H. A.; Wiendahl, H.-P.: Changeability – An Introduction. In: ElMaraghy, H. A. (Hrsg.): Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems. Berlin: Springer 2009, S. 3–24.

ENGELN 2011

Engeln, W.: Methoden der Produktentwicklung. München: Oldenbourg 2011.

ESEBECK & MÜLLER 2014

Esebeck, G.; Müller, A.: E-Mobility in Commercial Vehicles – Evolution or Revolution? In: Hybrid and Electric Vehicles. Braunschweig: ITS Niedersachsen 2014, S. 121–132.

EVERSHEIM 1989

Eversheim, W.: Simultaneous Engineering - eine organisatorische Chance. In: VDI (Hrsg.): Simultaneous Engineering. Düsseldorf: VDI-Verl. 1989, Band 758. S. 1–26.

EVERSHEIM 1995

Eversheim, W. (Hrsg.): Simultaneous Engineering. Berlin: Springer 1995.

EVERSHEIM & SCHUH 2005

Eversheim, W.; Schuh, G.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin: Springer 2005.

FAN & FILOS 2001

Fan, I.-S.; Filos, E.: Concurrent Engineering Projects Supported by the European Commission's ESPRIT Programme and Future Trends. Concurrent Engineering: Research and Application 9 (2001) 2, S. 166–173.

FANGER & LACEY 1992

Fanger, B.; Lacey, E.: Hürdensprint in der Produktentwicklung. iO Management Zeitschrift 61 (1992) 5, S. 81–84.

FELDHUSEN & GROTE 2013a

Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Berlin: Springer 2013a.

FELDHUSEN & GROTE 2013b

Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Der Produktentstehungsprozess (PEP). In: Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Berlin: Springer 2013b, S. 11–24.

FLICK 2011

Flick, U.: Qualitative Sozialforschung: Eine Einführung. Reinbek: Rowohlt-Taschenbuch-Verl. 2011.

FOLTZ ET AL. 1998

Foltz, P. W.; Kintsch, W.; Landauer, T. K.: The measurement of textual coherence with latent semantic analysis. *Discourse Processes* 25 (1998) 2-3, S. 285–307.

FÖRG ET AL. 2014

Förg, A.; Wolter, M.; Kreimeyer, M.; Lienkamp, M.: Virtual Vehicle Design based on Key Performance Indicators Assessing the Vehicle Portfolio. *SAE International Journal of Commercial Vehicles* 7 (2014) 2, S. 599–612.

FUCHS ET AL. 2012

Fuchs, E.; Fuchs, K. H.; Hauri, C. H.: Requirements-Engineering in IT effizient und verständlich: Praxisrelevantes wissen in 24.. [S.l.]: Friedrick Vieweg & Son 2012.

GAIROLA ET AL. 2003

Gairola, A.; Antoni, C.; Springer, J.; Schmidt, L.; Jakobi, H.-F.; Teufel, P.; Heisel, U.; Michaelis, M.; Scherer, E.; Schönsleben, P.: Prozessketten in Organisation und Technik. In: Bullinger, H.-J.; Warnecke, H.; Westkämper, E. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. Springer 2003, VDI-Buch, S. 389–571.

GARRETT 1990

Garrett, R.: Eight Steps to Simultaneous Engineering. *Manufacturing Engineer* (1990), S. 1–8.

GAUSEMEIER 2000

Gausemeier, J.: Kooperatives Produktengineering: Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band Bd. 79. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Institut 2000.

GAUSEMEIER 2001

Gausemeier, J.: Produktinnovation: Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München: Hanser 2001.

GAUSEMEIER 2012

Gausemeier, J.: Produkte und Produktionssysteme integrativ konzipieren: Modellbildung und Analyse in der frühen Phase der Produktentstehung. München: Hanser 2012.

GAUSEMEIER ET AL. 1996

Gausemeier, J.; Fink, A.; Schlake, O.: Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien. München: Hanser 1996.

GEBHARD 2009

Gebhard, M.: Hierarchische Produktionsplanung bei Unsicherheit. Produktion und Logistik, 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2009.

GERPOTT & WINZER 2000

Gerpott, T.; Winzer, P.: Simultaneous Engineering: Kritische Analyse eines Planungs- und Organisationsansatzes zur Erfolgsverbesserung industrieller Produktinnovationen. In: Götze, U.; Mikus, B.; Bloech, J. (Hrsg.): Management und Zeit. Berlin: Physica-Verl. 2000, S. 245–265.

GÖPFERT 2009

Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung: Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation ; Theorie, Methodik, Gestaltung. Nordersstedt: Books on Demand 2009.

GÖTZE 1995

Götze, S.: Die multikriterielle Entscheidungsfindung als Modell für die simultane Produktentwicklung. Dissertation, RWTH Aachen, Aachen, 1995.

GRABOWSKI ET AL. 1992

Grabowski, H.; Rude, S.; Schmidt, M.: Entwerfen in Konstruktionsräumen zur Unterstützung der Teamarbeit. In: Scheer, A.-W.; Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Simultane Produktentwicklung. St. Gallen: Gfint 1992, S. 123–160.

GRADY 2014

Grady, J. O.: System requirements analysis. Amsterdam: Elsevier 2014.

GRANDE 2011

Grande, M.: 100 Minuten für Anforderungsmanagement: Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2011.

GRÄSSLER 2004

Gräßler, I.: Kundenindividuelle Massenproduktion: Die industrielle Praxis erläutert am Beispiel mechatronischer Systeme. Berlin: Springer 2004.

GREGOR & JONES 2007

Gregor, S.; Jones, D.: The anatomy of a design theory. Journal of the Association for Information Systems 8 (2007) 5, S. 312–335.

GROSS & KOCH 2007

Gross, T.; Koch, M.: Computer-supported cooperative work. Lehrbuchreihe interaktive Medien, 1. Auflage. München [u.a.]: Oldenbourg 2007.

GRUNDNER 2012

Grundner, H.: Produkte mit PEP: V-orientiert, Ressourcenoptimiert entwickeln. Norderstedt: Books on Demand 2012.

GRUSS 2010

Gruß, R.: Schlanke Unikatfertigung: Zweistufiges Taktphasenmodell zur Steigerung der Prozesseffizienz in der Unikatfertigung auf Basis der Lean Production. Gabler Research. Wiesbaden: Gabler 2010.

GULDEN 2009

Gulden, A. G.: Wertorientierte Gestaltung kundenindividueller Kleinserienproduktion. Produktionssystematik. Aachen: Apprimus-Verl. 2009.

GÜNTHNER ET AL. 2006

Günthner, W. A.; Wilke, M.; Zäh, M. F.; Aull, F.; Rudolf, H.: Produktion individualisierter Produkte. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte. Springer 2006, S. 63–87.

HABERFELLNER 2012

Haberfellner, R.: Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung. Zürich: Orell Füssli 2012.

HACHE & SANDER 1994

Hache, E.; Sander, H.: Taschenlexikon Betriebswirtschaft: 1001 Begriffe, systematisch von A - Z für den Praktiker ausgewählt. Renningen: Expert-Verl. 1994.

HAROLD 2002

Harold, E. R.: Die XML-Bibel. Bonn: Mitp 2002.

HAUCK ET AL. 1997

Hauck, W. C.; Bansal P. E., A.; Hauck, A.: Simultaneous engineering: Correlates of success. International Journal of Production Economics 52 (1997) 1/2, S. 83–90.

HERRMANN 2000

Herrmann, A. S.: Kostengünstige Faserverbundstrukturen - eine Frage neuer Produktionsansätze. In: AVK-TV (Hrsg.): 3. AVK-TV Tagung Baden-Baden, 2000. S. 1–14.

HESSELER & VERSTEEGEN 2004

Hefeler, A.; Versteegen, G.: Anforderungsmanagement: Formale Prozesse, Praxiserfahrungen, Einführungsstrategien und Toolauswahl. Xpert.press. Berlin: Springer 2004.

HEVNER ET AL. 2004

Hevner, A.; Salvatore, M.; Jinsoo, P.; Sudha, R.: Design science in information systems research. MIS quarterly 28 (2004) 1, S. 75–105.

HICKEY & DAVIS 2003

Hickey, A. M.; Davis, A. M.: Elicitation technique selection: how do experts do it? In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of the 11th Requirements Engineering Conference, 2003. S. 169–178.

HILL ET AL. 2011

Hill, N.; Finnegan, S.; Norris, J.; Brannigan, C.; Wynn, D.; Baker, H.; Skinner, I.: Reduction and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles – Lot 1: Strategy. Oxfordshire: AEA 2011.

HIRSCH 1992

Hirsch, B. E.: CIM in der Unikatfertigung und -montage. CIM-Fachmann. Berlin: Springer 1992.

HISLOP 2013

Hislop, D.: Knowledge management in organizations: A critical introduction. Oxford: Oxford University Press 2013.

HOEPKE ET AL. 2013

Hoepke, E.; Breuer, S.; Appel, W.; Brähler, H.; Dahlhaus, U.; Esch, T.; Kopp, S.; Rhein, B.: Nutzfahrzeugtechnik: Grundlagen, Systeme, Komponenten. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2013.

HÖNERLOH 1997

Hönerloh, A.: Unschärfe Simulation in der Betriebswirtschaft: Modellbildung und Simulation auf der Basis der Fuzzy-set-Theorie, Band 21. Göttingen: Unitext-Verl. 1997.

HOOD 2007

Hood, C.: Requirements management: Interface between requirements development and all other engineering processes. Berlin: Springer 2007.

HOOD & WIEBEL 2005

Hood, C.; Wiebel, R.: Optimieren von Requirements Management und Engineering. Berlin: Springer 2005.

HORSCH 2015

Horsch, J.: Kostenrechnung: Klassische und neue Methoden in der Unternehmenspraxis. Wiesbaden: Springer 2015.

HUANG 1996

Huang, G. Q. (Hrsg.): Design for X: Concurrent engineering imperatives. 1. Auflage. London: Chapman & Hall 1996.

HULL ET AL. 2002

Hull, E.; Jackson, K.; Dick, J.: Requirements engineering. London: Springer 2002.

IANNELLI 2014

Iannelli, R.: Bosch Product Portfolio for Hybrid vehicles: Synergies between PC and CV. In: Hybrid and Electric Vehicles. Braunschweig: ITS Niedersachsen 2014, S. 303–318.

IEEE 1233 1998

IEEE 1233: IEEE Guide for Developing System Requirements Specifications. New York, NY: IEEE Computer Society 1998.

IEEE 610 1990

IEEE 610: IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology. New York: IEEE Computer Society 1990.

IEEE 830 1998

IEEE 830: IEEE Recommended Practice for software requirements specifications. New York: IEEE Computer Society 1998.

JACKSON 1995

Jackson, M.: Software requirements and specifications: A lexicon of software practice, principles and prejudices. New York: ACM 1995.

JACKSON 2001

Jackson, M. A.: Problem frames: Analysing and structuring software development problems. Harlow: Addison Wesley 2001.

JAKOBY 2015

Jakoby, W.: Projektmanagement für Ingenieure: Ein praxisnahes Lehrbuch für den systematischen Projekterfolg. Berlin: Springer 2015.

JANZEN ET AL. 2013

Janzen, A.; Hoffmann, A.; Hoffmann, B.: Anforderungsmuster im Requirements Engineering. In: Leimeister, J. M. (Hrsg.): Working Paper Series. Kassel, Germany. 2013, Band 2, S. 1–57.

JÄRVINEN 2000

Järvinen, P.: On a variety of research output types. In: Laboratorium for Interaction Technology, University of Trollhättan Uddevalla (Hrsg.): Proceedings of the IRIS, 2000. S. 251–265.

JIN ET AL. 2007

Jin, Y.; Geslin, M.; Lu, S. C. -Y.: Impact of Argumentative Negotiation on Collaborative Engineering. CIRP Annals - Manufacturing Technology 56 (2007) 1, S. 181–184.

JONES 1997

Jones, C.: Applied software measurement: Assuring productivity and quality. New York: McGraw-Hill 1997.

JOVANOVIC ET AL. 2015

Jovanovic, V. M.; Ma, L.; Guerra-Zubiaga, D. A.; Tomovic, M. M.: Early problems identification in collaborative engineering with different product data modelling standards. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 28 (2015) 11, S. 1155–1166.

JUNG 2006

Jung, C.: Anforderungsklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung. Dissertation, Technische Universität München, München, 2006.

JÜRGENS 2000

Jürgens, U.: New Product Development and Production Networks: Global Industrial Experience. Berlin: Springer 2000.

KABEL 2001

Kabel, D.-S.: Entwicklung eines prozessbasierten Effizienzmodells für concurrent engineering teams. Aachen: Shaker 2001.

KAMRANI & NASR 2008

Kamrani, A. K.; Nasr, E. A.: Collaborative engineering: Theory and practice. New York: Springer 2008.

KING 1994

King, B.: Doppelt so schnell wie die Konkurrenz: Quality Function Deployment. St. Gallen: Gfint 1994.

KLABUNDE & SCHEER 2003

Klabunde, S.; Scheer, A.-W.: Wissensmanagement in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung: Best-Practice-Modelle zum Management von Meta-Wissen. Schriften zur EDV-orientierten Betriebswirtschaft, 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Univ.-Verl. 2003.

KOC 2002

Koc, A.: Entwicklungsprozesse Bewerten: Wirtschaftlichkeitsabschätzung beim Simultaneous Engineering. Qualität und Zuverlässigkeit 47 (2002), S. 30–34.

KOLFSCHOTEN & VREED 2009

Kolfschoten, G.; Vreede, G.-J. d.: A Design Approach for Collaboration Processes: A Multimethod Design Science Study in Collaboration Engineering. Journal of Management Information Systems 26 (2009) 1, S. 225–256.

KOLFSCHOTEN ET AL. 2006

Kolfschoten, G. L.; Briggs, R. O.; Vreede, G.-J. d.; Jacobs, Peter H. M.; Appelman, J. H.: A conceptual foundation of the thinkLet concept for Collaboration Engineering. Theoretical and empirical advances in groupware research Theoretical and empirical advances in groupware research 64 (2006) 7, S. 611–621.

KOSTKA & KOSTKA 2013

Kostka, C.; Kostka, S.: Der Kontinuierliche Verbesserungsprozess: Methoden des KVP. München: Hanser 2013.

KOTONYA & SOMMERVILLE 2002

Kotonya, G.; Sommerville, I.: Requirements engineering: Processes and techniques. Chichester and New York: John Wiley 2002.

KOVITZ 1999

Kovitz, B. L.: Practical software requirements: A manual of content and style. Greenwich: Manning 1999.

KREBS 2012

Krebs, P.: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten, Band 255. München: Utz 2012.

KREIMEYER ET AL. 2014

Kreimeyer, M.; Förg, A.; Lienkamp, M.: Fostering Modular Kits in an Industrial Brownfield Environment. In: Horváth, I.; Péceli, G. (Hrsg.):

Proceedings of the International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, 2014. S. 1–12.

KREMIN-BUCH 2007

Kremin-Buch, B.: Strategisches Kostenmanagement: Grundlagen und moderne Instrumente. Wiesbaden: Gabler 2007.

KRISHNAN ET AL. 1997

Krishnan, V.; Eppinger, S. E.; Whitney, D. E.: A Model-Based Framework to Overlap Product Development Activities. Management Science 43 (1997) 4, S. 437–451.

KROTTMAIER 1995

Krottmaier, J.: Leitfaden Simultaneous Engineering: Kurze Entwicklungszeiten, niedrige Kosten, hohe Qualität. Berlin: Springer 1995.

KUMAR & WELLBROCK 2009

Kumar, S.; Wellbrock, J.: Improved new product development through enhanced design architecture for engineer-to-order companies. International Journal of Production Research 47 (2009) 15, S. 4235–4254.

LACEY 1986

Lacey, R.: Ford, the men and the machine. Boston: Little 1986.

LAL ET AL. 2005

Lal, G. K.; Gupta, V.; Reddy, N. V.: Fundamentals of design and manufacturing. Harrow: Alpha Science International 2005.

LAMGHABBAR ET AL. 2004

Lamghabbar, A.; Yacout, S.; Ouali, M. S.: Concurrent optimization of the design and manufacturing stages of product development. International Journal of Production Research 42 (2004) 21, S. 4495–4512.

LAUFENBERG 1996

Laufenberg, L.: Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umsetzung des simultaneous engineering. Aachen: Shaker 1996.

LAWSON & KARANDIKAR 1994

Lawson, M.; Karandikar, H. M.: A Survey of Concurrent Engineering. Concurrent Engineering: Research and Application 2 (1994) 1, S. 1–6.

LEE ET AL. 2003

Lee, R. S.; Tsai, J. P.; Kao, Y. C.; Lin, Grier C. I.; Fan, K. C.: STEP-based product modeling system for remote collaborative reverse engineering. Robotics & Computer-Integrated Manufacturing 19 (2003) 6, S. 543.

LEFFINGWELL & WIDRIG 2003

Leffingwell, D.; Widrig, D.: Managing software requirements: A use case approach. Boston: Addison Wesley 2003.

LEIMEISTER 2014

Leimeister, J. M.: Collaboration Engineering: IT-gestützte Zusammenarbeitsprozesse systematisch entwickeln und durchführen. Berlin: Springer 2014.

LEITENBAUER 2003

Leitenbauer, G.: Datenbankmodellierung: Das Praxisbuch. Poing: Franzis 2003.

LENHART 2008

Lenhart, M.: Modulare Inhalte in der Produktentwicklung: Individuelle Konfiguration und szenarienabhängige Nutzung. Düsseldorf: VDI-Verl. 2008.

LI 2007

Li, W. D.: Collaborative product design and manufacturing methodologies and applications. London: Springer 2007.

LINCKE 1995

Lincke, W.: Simultaneous engineering: Neue Wege zu überlegenen Produkten. München: Hanser 1995.

LINDBERG & SOHLENIUS 1993

Lindberg, L.; Sohlenius, G.: Notes on Concurrent Engineering. CIRP Annals - Manufacturing Technology 42 (1993) 1, S. 159–162.

LINDEMANN ET AL. 2006

Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte. Springer 2006.

LOBIN 2000

Lobin, H.: Informationsmodellierung in XML und SGML. Berlin: Springer 2000.

LOCH & TERWIESCH 1998

Loch, C. H.; Terwiesch, C.: Communication and Uncertainty in Concurrent Engineering. Management Science 44 (1998) 8, S. 1032–1048.

LÖFFLER 2011

Löffler, C.: Systematik der strategischen Strukturplanung für eine wandlungsfähige und vernetzte Produktion der variantenreichen Serienfertigung. Heimsheim: Jost-Jetter 2011.

LOTTER 2012

Lotter, B.: Einführung. In: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Berlin: Springer 2012, S. 1–8.

LOUCOPOULOS & KARAKOSTAS 1995

Loucopoulos, P.; Karakostas, V.: System requirements engineering. London: McGraw-Hill 1995.

LU 1990

Lu, S. C.-Y.: Wissensverarbeitung für Simultaneous Engineering. CIM-Management (1990) 6, S. 17–30.

LU ET AL. 2007

Lu, S. C.-Y.; Elmaraghy, W.; Schuh, G.; Wilhelm, R.: A scientific Foundation Of Collaborative Engineering. CIRP Annals - Manufacturing Technology 56 (2007) 2, S. 605–634.

MACKE 2007

Macke, N.: Automatisiertes Simultaneous Engineering auf Basis eines featuregestützten Unternehmensmodells. Aachen: Shaker 2007.

MAIDEN & GIZIKIS 2001

Maiden, N.; Gizikis, A.: Where do requirements come from? IEEE Software 18 (2001) 5, S. 10–12.

MAIDEN ET AL. 2004

Maiden, N.; Gizikis, A.; Robertson, S.: Provoking Creativity: Imagine What Your Requirements Could Be Like. IEEE Software 21 (2004) 5, S. 68–75.

MALORNY ET AL. 1997

Malorny, C.; Schwarz, W.; Backerra, H.: Die sieben Kreativitätswerkzeuge K7: Kreative Prozesse anstossen, Innovationen fördern. München: Hanser 1997.

MAN 2013

MAN: MAN Geschäftsbericht 2013. Hamburg: HGB Hamburger Geschäftsberichte 2013.

MARTIN ET AL. 2002

Martin, S.; Aurum, A.; Jeffery, R.; Paech, B.: Requirements Engineering Process Models in Practice. Proceedings of the Seventh Australian Workshop on Requirements Engineering (2002) 69, S. 141–155.

MAS ET AL. 2013

Mas, F.; Menéndez, J. L.; Oliva, M.; Ríos, J.: Collaborative Engineering: An Airbus Case Study. The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2013 63 (2013), S. 336–345.

MCCORD & EPPINGER 1993

McCord, K. R.; Eppinger, S. D.: Managing the Integration Problem in Concurrent Engineering. M.I.T. Sloan School of Management (1993), S. 1–34.

McMENAMIN & PALMER 1984

McMenamin, S. M.; Palmer, J. F.: Essential systems analysis. Yourdon computing series. New York, N.Y.: Yourdon Press 1984.

MEIXNER & HAAS 2012

Meixner, O.; Haas, R.: Wissensmanagement und Entscheidungstheorie: Theorien, Methoden, Anwendungen und Fallbeispiele. Wien: Facultas 2012.

MERGET 2004

Merget, M.: Kostenoptimierung durch Toleranzvariation im Simultaneous Engineering. Aachen: Shaker 2004.

MINTERT 2002

Mintert, S.: XML & Co: Die W3C-Spezifikationen für Dokumenten- und Datenarchitektur. München: Addison Wesley 2002.

MITCHELL & NAULT 2007

Mitchell, V. L.; Nault, B. R.: Cooperative Planning, Uncertainty, and Managerial Control in Concurrent Design. Management Science 53 (2007) 3, S. 375–389.

MÖLLER 2008

Möller, N.: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme, Band 212. München: Utz 2008.

MUELLER 2014

Mueller, E.: Qualitätsmanagement für Unternehmer und Führungskräfte: Was Entscheider wissen müssen. Berlin, Heidelberg: Springer 2014.

MÜHLENBRUCH 2008

Mühlenbruch, H.: Produktmodell für globale Produktionsstufen, Berichte aus dem IFA, Band 3. Garbsen: PZH 2008.

MÜTZE-NEIWÖHNER 2004

Mütze-Niewöhner, S.: System zur prospektiven Arbeitsgestaltung nach den Kriterien "Persönlichkeitsentfaltung und -entwicklung" im Rahmen von Concurrent Engineering, Band 66. Aachen: Shaker 2004.

NEBL 2011

Nebl, T.: Produktionswirtschaft. Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre, 7. Auflage. München and Wien: Oldenbourg 2011.

NIEBISCH 2013

Niebisch, T.: Anforderungsmanagement in sieben Tagen: Der Weg vom Wunsch zur Konzeption. Berlin, Heidelberg: Springer 2013.

ORTNER 1997

Ortner, E.: Methodenneutraler Fachentwurf: Zu den Grundlagen einer anwendungsorientierten Informatik. Teubner-Reihe Wirtschaftsinformatik. Stuttgart: Teubner 1997.

PARSAEI & SULLIVAN 1993

Parsaei, H. R.; Sullivan, W. G. (Hrsg.): Concurrent engineering: Contemporary issues and modern design tools. Design and manufacturing series. London: Chapman & Hall 1993.

PARTSCH 2010

Partsch, H. A.: Requirements-Engineering systematisch: Modellbildung für softwaregestützte Systeme. EXamen.press. Berlin, Heidelberg: Springer 2010.

PAUSE 2016

Pause, J.: Wissensmanagement in der Kostenanalyse. München: Utz 2016.

PAWELLEK 2014

Pawellek, G.: Ganzheitliche Fabrikplanung: Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung. Berlin and Heidelberg: Springer 2014.

PETERS & HOFSTETTER 2008

Peters, N.; Hofstetter, J. S.: Konzepte und Erfolgsfaktoren für Anlaufstrategien in Netzwerken der Automobilindustrie. In: Schuh, G.; Stölzle, W.; Straube, F. (Hrsg.): Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Springer 2008, VDI-Buch, S. 9–29.

PIRCHER 2010

Pircher, R. (Hrsg.): Wissensmanagement, Wissenstransfer, Wissensnetzwerke: Konzepte, Methoden, Erfahrungen. Erlangen: Publicis 2010.

POHL 1996

Pohl, K.: Process-centered requirements engineering, Advanced software development series, Band 5. Taunton, Somerset, England and New York: Research Studies Press and Wiley 1996.

POHL 2008

Pohl, K.: Requirements Engineering: Grundlagen, Prinzipien, Techniken. 2. Auflage. Heidelberg: dpunkt-Verl 2008.

POHL 2010

Pohl, K.: Requirements engineering: Fundamentals, principles, and techniques. Heidelberg and New York: Springer 2010.

POHL & RUPP 2011

Pohl, K.; Rupp, C.: Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level. 3. Auflage. Heidelberg: dpunkt-Verl 2011.

POHL ET AL. 2005

Pohl, K.; Böckle, G.; Linden, Frank van der: Software product line engineering: Foundations, principles, and techniques. 1. Auflage. New York, NY: Springer 2005.

PONN & LINDEMANN 2011

Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte: Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltungsungen. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer 2011.

POPESCU ET AL. 2012

Popescu, A. D.; Aldea, C.; Draghici, A.: Misunderstandings in Collaborative Engineering Teams - A Way For improving Knowledge Sharing and Interaction. Managerial Challenges of the Contemporary Society (2012) 4, S. 106–109.

PRASAD 1996

Prasad, B.: Concurrent engineering fundamentals. Prentice-Hall international series in industrial and systems engineering. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR 1996.

PUGH 1990

Pugh, S.: Integrated methods for successful product engineering. New Jersey: Addison Wesley 1990.

REIM 2015

Reim, J.: Erfolgsrechnung: Wertsteigerung durch Wertschöpfung. Gabler 2015.

REINHART & MEIS 2012

Reinhart, G.; Meis, J.: Requirements Management as a Success Factor for Simultaneous Engineering. In: ElMaraghy, H. A. (Hrsg.): Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. Berlin: Springer 2012, S. 221–226.

REINHART & MEIS 2015

Reinhart, G.; Meis, J.: Continuous Production Requirements Management. Advanced Materials Research (2015) 794, S. 500–506.

REINHART ET AL. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement: Ein Kurs für Studium und Praxis. Berlin: Springer 1996.

REINHART ET AL. 1999

Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Reaktionsfähigkeit für Unternehmen. Eine Antwort auf turbulente Märkte. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (1999) 94, S. 21–24.

ROBERTSON & ROBERTSON 2009

Robertson, S.; Robertson, J.: Mastering the requirements process. ACM Press books, 2. Auflage. Upper Saddle River, NJ: Addison Wesley 2009.

ROBERTSON & ROBERTSON 2013

Robertson, S.; Robertson, J.: Mastering the requirements process: Getting requirements right. Upper Saddle River: Addison Wesley 2013.

RODEN 2008

Roden, G.: Auf der Fährte von C#: Einführung und Referenz. Xpert.press. Berlin: Springer 2008.

ROY ET AL. 1999

Roy, U.; Usher, J. M.; Parsaei, H. R.: Simultaneous engineering: Methodologies and applications, Automation and production systems, Band 4. The Netherlands: Gordon and Breach Science 1999.

RUPP & SOPHISTEN 2009

Rupp, C.; SOPHISTEN: Requirements-Engineering und -Management. München: Hanser 2009.

RUPP & SOPHISTEN 2014

Rupp, C.; SOPHISTEN: Requirements-Engineering und -Management. München: Hanser 2014.

SARETZ 1993

Saretz, B.: Entwicklung einer Methodik zur Parallelisierung von Planungsabläufen: Ein Beitrag zur Reduzierung von Produktentwicklungszeiten in der Serienproduktion. Berichte aus der Produktionstechnik. Aachen: Shaker 1993.

SCHÄPPI 2005

Schäppi, B.: Handbuch Produktentwicklung. München and Wien: Hanser 2005.

SCHEDL 2009

Schedl, S.: Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess, Band 229. München: Utz 2009.

SCHENK ET AL. 2014

Schenk, M.; Müller, E.; Wirth, S.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2. Auflage. Berlin: Springer 2014.

SCHIENMANN 2002

Schienenmann, B.: Kontinuierliches Anforderungsmanagement. München: Addison Wesley 2002.

SCHLOTTMANN & SCHNEGAS 2002

Schlottmann, D.; Schnegas, H.: Kosten im Lebenszyklus technischer Gebilde - wie teuer dürfen Qualität und Zuverlässigkeit sein ? In: Schlottmann, D.; Schnegas, H. (Hrsg.): Auslegung von Konstruktionselementen. Springer 2002, VDI-Buch, S. 118-144.

SCHMELZER & SESSELMANN 2003

Schmelzer, H. J.; Sesselmann, W.: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis: Kunden zufrieden stellen - Produktivität steigern - Wert erhöhen : neu: Six Sigma in Geschäftsprozessen ; komplettes Praxisbeispiel. München: Hanser 2003.

SCHMITT & BASSE 2011

Schmitt, R.; Basse, I.: Anspruchsvolle Prüfplanung mittels Entscheidungstheorie - Mit Entschiedenheit. Qualität und Zuverlässigkeit (2011), S. 136–137.

SCHOPPE 1991

Schoppe, A.: Behandlungsmöglichkeiten der Unschärfe von Daten und Relationen. Göttingen: Unitext 1991.

SCHÖTTNER 1999

Schöttner, J.: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie: Prinzip - Konzepte - Strategien. München and Wien: Hanser 1999.

SCHUH 2012

Schuh, G. (Hrsg.): Innovationsmanagement, Handbuch Produktion und Management, Band 3. Berlin: Springer 2012.

SCHULTE 2006

Schulte, S.: Integration von Kundenfeedback in die Produktentwicklung zur Optimierung der Kundenzufriedenheit. Aachen: Shaker 2006.

SEIBERT 1998

Seibert, S.: Technisches Management: Innovationsmanagement, Projektmanagement, Qualitätsmanagement. Stuttgart: Teubner 1998.

SIMON 1996

Simon, H. A.: The sciences of the artificial. Cambridge: MIT Press 1996.

SOHLENIUS 1992

Sohlenius, G.: Concurrent Engineering. CIRP Annals - Manufacturing Technology 41 (1992) 2, S. 645–655.

STAHL 1998

Stahl, J.: Entwicklung einer Methode zur integrierten Arbeitsgestaltung und Personalplanung im Rahmen von concurrent engineering, Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung, Band 16. Aachen: Shaker 1998.

STAHL ET AL. 1997

Stahl, J.; Luczak, H.; Langen, R.; Weck, M.; Klonaris, P.; Pfeifer, T.: Concurrent engineering of work and production systems. European Journal of Operational Research 100 (1997) 2, S. 379–398.

STOFFELS & VIELHABER 2015

Stoffels, P.; Vielhaber, M.: Methodical Support for Concurrent Engineering across Product and Production (System) Development. In: Weber, C.; Husung, S.; Cantamessa, M.; Cascini, G.; Marjanovic, D.; Venkataraman, S. (Hrsg.): Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED15), 2015. S. 155–162.

STOFFELS ET AL. 2014

Stoffels, P.; Litwa, F.; Gerlach, C.; Vielhaber, M. et al.: Integration Framework for Product Development and Production Development. Proceedings of NordDesign (2014).

STUFFER 1994

Stuffer, R.: Planung und Steuerung der integrierten Produktentwicklung, Band 14. München: Hanser 1994.

SWIFT 1987

Swift, K.: Knowledge-based design for manufacture. New technology modular series. London: Kogan Page 1987.

TATARCZYK 2009

Tatarczyk, B.: Organisatorische Gestaltung der frühen Phase des Innovationsprozesses: Konzeptionen, Methoden und Anwendungen am Beispiel der Automobilindustrie. Wiesbaden: Gabler 2009.

THOMKE & FUJIMOTO 2000

Thomke, S.; Fujimoto, T.: The Effect of “Front-Loading” Problem-Solving on Product Development Performance. *Journal of Product Innovation Management* 17 (2000) 2, S. 128–142.

THOMSETT 2002

Thomsett, R.: Radical project management. Just enough series. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR 2002.

TIDWELL 2002

Tidwell, D.: XSLT: XML-Dokumente transformieren. Cambridge: O’Reilly 2002.

TONCHIA & COZZI 2008

Tonchia, S.; Cozzi, F.: Industrial Project Management: Planning, Design, and Construction. Berlin and Heidelberg: Springer 2008.

TWIGG & VOSS 1992

- Twigg, D.; Voss, C. A.: Managing integration in CAD/CAM and simultaneous engineering: A workbook. 1. Auflage. London: Chapman & Hall 1992.
- UNTERSTEIN & MATTHIESSEN 2012
Unterstein, M.; Matthiessen, G.: Relationale Datenbanken und SQL in Theorie und Praxis. EXamen.press, 5. Auflage. Berlin: Springer 2012.
- VALENTINI & HERRMANN 2013
Valentini, U.; Herrmann, A.: Requirements Engineering und Projektmanagement. Berlin: Springer 2013.
- VAN LAMSWERDE 2009
van Lamsweerde, A.: Requirements engineering: From system goals to UML models to software specifications. Chichester, England and Hoboken, NJ: John Wiley 2009.
- VDI 2221 1993
VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth 1993.
- VDI 2235 1987
VDI 2235: Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren; Methoden und Hilfen. Berlin: Beuth 1987.
- VDI 2247 1994
VDI 2247: Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung. Berlin: Beuth 1994.
- VDI 2519 2001
VDI 2519: Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Förder- und Lagersystemen. Berlin: Beuth 2001.
- VDI 2815 1987
VDI 2815: Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung - Fertigungsarten, Fertigungsablaufarten. Berlin: Beuth 1987.
- VDI 2860 1990
VDI 2860: Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole. Berlin: Beuth 1990.
- VDI 3586 2007
VDI 3586: Flurförderzeuge - Begriffe, Kurzzeichen, Beispiele. Berlin: Beuth 2007.

VDI 69901 2009

VDI 69901: Projektmanagement; Projektmanagementsysteme. Berlin: Beuth 2009.

VDI/VDE 3694 2014

VDI/VDE 3694: Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen. Berlin: Beuth 2014.

VERWORN 2005

Verworn, B.: Die frühen Phasen der Produktentwicklung: Eine empirische Analyse in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik. Berlin: Springer 2005.

VIELHABER & STOFFELS 2014

Vielhaber, M.; Stoffels, P.: Product Development vs. Production Development. 24th CIRP Design Conference 21 (2014), S. 252–257.

VOLGER 1990

Volger, A. H.: Simultaneous Engineering bei der Systementwicklung. CIM-Management (1990) 6, S. 13–16.

VONHOEGEN 2013

Vonhoegen, H.: Einstieg in XML. Bonn: Galileo Press 2013.

VOSS & WOODRUFF 2003

Voß, S.; Woodruff, D.: Introduction to Computational Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain. Springer 2003.

WALTER 2006

Walter, V.: Projektmanagement: Projekte planen, überwachen und steuern, Reihe Studium und Training, Band 1. Norderstedt: Books on Demand 2006.

WANG ET AL. 2003

Wang, Z.; Yan, H.-S.; Ma, X.-D.: A Quantitative Approach to the Organisation of Cross-Functional Teams in Concurrent Engineering. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 21 (2003) 10–11, S. 879–888.

WARNECKE 1993

Warnecke, H.-J.: CIM-Recherche. Hat CIM noch eine Zukunft? CIM-Management (1993) 9, S. 31–41.

WIEGERS 2005

Wiegiers, K. E.: Software requirements. Unterschleissheim: Microsoft Press 2005.

WIENDAHL ET AL. 2007

Wiendahl, H.-P.; ElMaraghy, H. A.; Nyhuis, P.; Zäh, M. F.; Wiendahl, H.-H.; Duffie, N.; Briek, M.: Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation. CIRP Annals - Manufacturing Technology 56 (2007) 2, S. 783–809.

WIENDL 2000

Wiendl, W.: Produktintegritätskonzept zum Einsatz in Concurrent Engineering. Dissertation, Universität Hannover, Hannover, 2000.

WILLKE 2011

Willke, H.: Einführung in das systemische Wissensmanagement. Carl-Auer-Compact, 3. Auflage. Heidelberg, Neckar: Carl Auer Verl. 2011.

WILSON 1991

Wilson, P. A.: Computer supported cooperative work: An introduction. Oxford: Intellect 1991.

WINNER ET AL. 1988

Winner, R. I.; Institute for Defense Analyses; United States. Assistant Secretary of Defense: The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition. IDA Report. Institute for Defense Analysis 1988.

YAN & JIANG 1999

Yan, H. S.; Jiang, J.: Agile concurrent engineering. Integrated Manufacturing Systems 10 (1999) 2, S. 103–113.

ZHANG ET AL. 2014

Zhang, P.; Zhang, Z.; Zhang, W.; Wu, C.: Semantic Similarity Computation Based on Multi-feature Combination using HowNet. Journal of Software 9 (2014) 9, S. 2461–2466.

ZIEMKE & SPANN 1993

Ziemke, M. C.; Spann, M.: Concurrent engineering's roots in the World War II era. In: Parsaei, H. R.; Sullivan, W. G. (Hrsg.): Concurrent engineering. London: Chapman & Hall 1993, Design and manufacturing series, S. 24–41.

ZISLER 2013

Zisler, H.: Computer-Netzwerke: Grundlagen, Funktionsweise, Anwendung. Bonn: Galileo Press 2013.

8 Anhang

Tabelle 8.1: Feldrechte für die Artefaktklasse „Anforderungselement“

Feld	<i>Entwurf</i>	<i>FreiInhalt</i>	<i>FreiForm</i>	<i>FreiHierarchie</i>
Anforderungstyp	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Name	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Gruppe	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Beschreibung	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Überprüfungsmethode	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Grenzwert	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Probleme	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Strategien	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Bezugsobjekte	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Vorschläge	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Dokumente	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Status	V_{In}	V_{Fm}	F_{Gr}	F_{Gr}
Bearbeiter (Inhalt)	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Bearbeiter (Form)	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Freigabe	-	V_{Fm}	F_{Gr}	-

Tabelle 8.2: Feldrechte für die Artefaktklasse „Problemelement“

Feld	<i>Entwurf</i>	<i>Frei_{Inhalt}</i>	<i>Frei_{Form}</i>	<i>Frei_{Hierarchie}</i>
Name	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Gruppe	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Beschreibung	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Ursache	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Anforderungen	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Bezugsobjekte	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Dokumente	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Status	V_{In}	V_{Fm}	F_{Gr}	F_{Gr}
Bearbeiter (Inhalt)	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Bearbeiter (Form)	V_{In}	V_{Fm}	-	-
Freigabe	-	V_{Fm}	F_{Gr}	-

Tabelle 8.3: Datensätze des Anwendungsbeispiels

Bereich	Element	<i>Entwurf</i>	<i>Frei_{Inhalt}</i>	<i>Frei_{Form}</i>	<i>Frei_{Hierarchie}</i>	Gesamt
A	Strategie	0	19	8	134	161
	Anforderung	17	5	99	394	524
	Problem	17	9	165	357	559
B	Strategie	0	0	0	117	117
	Anforderung	0	0	54	278	332
	Problem	0	0	0	467	467

Tabelle 8.4: Schwachstellen von SE

Jahr	Autor	Datenmodelle und Modularisierung	Bewertung von Handlungsalternativen	IT und Datenmengen	Instanz zur Optimierung der Prozesse	Budget und Verantwortung	Planung der Übergabezeitpunkte	Frühzeitige Gestaltung der Produktion	Ineffektive Besprechungen	Mangelnde Veränderungsfähigkeit	Kommunikationsprobleme im Team	Führungsqualität	Anpassung der bekannten Methoden	Unklarer Auftrag	Verständlichkeit komplexer Strukturen	Trennung von Planung und Ausführung	Persönliche Gründe
1990	GARRETT	○	●		●	●						●				●	●
1990	BULLINGER & WASSERLOOS			●													
1990	LU			●													
1990	VOLGER					●	●										
1991	EIFF	○			○	○	○										
1992	BULLINGER & REIM			●													
1992	BÜHNER & PHARAO										●						
1992	FANGER & LACEY	○							●	●	○	●					
1993	WARNECKE	○													●		
1993	MCCORD & EPPINGER						●										
1994	LAWSON & KARANDIKAR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○		○			○	
1994	STUFFER																
1997	DÖLLNER	●	●	●			●	○			○		●		○	●	
1997	HAUCK ET AL.							○	●								
1998	DENNER	○			●		○										
1999	YAN & JIANG					●				●							
1999	SCHÖTTNER																
2000	HERRMANN ET AL.	●						●									
2001	FAN & FILOS	●	●	●	○		●	○			●			○			
2001	KABEL	●															
2001	KOC ET AL.		●														
2004	MÜTZE-NEUWÖHNER							●									
2004	MERGET	○						●	●								
2004	LAMGHABBAR ET AL.	○	○	●									●				
2007	MACKE	●															
2011	SCHMITT & BASSE		○				○	○									
2013	EHRLENSPIEL	○	○					○	●		●	●		●	●		●

Indikator	Erklärung
●	Diese Schwachstelle findet sich direkt in der angegebenen Quelle ⁸⁵ .
○	Diese Schwachstelle folgt direkt aus den in der Quelle genannten.
○	Diese Schwachstelle folgt indirekt aus den in der Quelle genannten.
○	Diese Schwachstelle folgt zum Teil aus denen in der Quelle genannten.

⁸⁵ Hierbei ist nicht notwendiger Weise eine direkte sprachliche Identität gemeint sondern vielmehr eine logisch, argumentative Kongruenz.

Tabelle 8.5: Eigenschaften von *Vorschlags*element

Eigenschaft	Beschreibung	Typ
Name	Bezeichnung des Vorschlags- elements	Textfeld
Beschreibung	Beschreibung des Vorschlags	Textfeld
Anforderungen	Anforderungen, für die der Vor- schlag Umsetzungsideen liefert	Verknüpfung
Dokumente	Zusätzliche Dokumente	Dateiverknüpfung
Status	Aktueller Status des Vor- schlags-elementes im Freigabe- prozess	Status
Bearbeiter (Inhalt)	Inhaltlich verantwortlicher Mit- arbeiter	Benutzer
Bearbeiter (Form)	Mitarbeiter welcher für die for- male Vollständigkeit und Rich- tigkeit verantwortlich ist	Benutzer
Freigabe	Mitarbeiter oder Gremium wel- cher/welches das Problem ggü. der Entwicklung als Verbindlich aktiviert	Benutzer
Letzte Änderung	Datum und Zeit der letzten Än- derung	Systemzeit

Tabelle 8.6: Definierte Steuerelemente

Primäre Wissensstruktur

Strategy	Verknüpfungen zu Wissensartefakten der Klasse „Strategie“
Requirement	Verknüpfungen zu Wissensartefakten der Klasse „Anforderung“
Problem	Verknüpfungen zu Wissensartefakten der Klasse „Problem“
Idea	Verknüpfungen zu Wissensartefakten der Klasse „Vorschlag“

Sekundäre Wissensstruktur

Object	Beliebige Verknüpfungen zu Objekten der sek. Wissensstruktur
ObjectSingle	Eine Verknüpfungen zu einem Objekt der sek. Wissensstruktur

Primitive Felder

Text	Einzeiliges Freitextfeld
Multitext	Mehrzeiliges Freitextfeld
StructuredText	Definierter Lückentext mit Objekten der sek. Wissensstruktur
Checkboxes	Beliebige Anzahl an Kontrollkästchen
Select	Definierte Anzahl an Optionen
Status	Spezialform des Auswahlfeldes; Abfragelogiken bzgl. der zulässigen Stufen

Sonstige

ParentExcel	Verknüpfung zu einer Microsoft Exceldatei und Anzeige eines oder mehrerer Werte der Arbeitsblätter
Personal	Nutzerspezifische Favoritenliste

Dateioperationen

File	Ablage beliebiger Datei sowie Möglichkeit zur Erstellung von Anmerkungen zu Bilddateien
------	---

Filter

SelectionFilter	Auswahl von Eigenschaften
TextFilter	Freitextwahl für eine oder mehrere Eigenschaften
UserFilter	Spezialform des Auswahlfilters; Konfiguration für die Nutzerauswahl

Programmcode 8.1: Auszug aus der Konfigurationsdatei

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<application>
<pages>
<page title="Probleme" name="PROBLEMS" right-view="PROBLEMS_VIEW" right-edit="
↳ PROBLEMS_EDIT">
<rows>[...]</rows>
<columns>[...]</columns>
<elements>
<element name="property_grid" type="CONTROL" class="PropertyGrid">
[... ]
<elements>
+<element name="DB_NAME" type="PROPERTY_GRID_FIELD" class="FieldText">
+<element name="DB_GROUP" type="PROPERTY_GRID_FIELD" class="FieldText">
+<element name="DB_PERSONAL_LIST" type="PROPERTY_GRID_FIELD" class="
↳ FieldPersonal">
+<element name="DB_TEXT" type="PROPERTY_GRID_FIELD" class="FieldMultitext
↳ ">
[... ]
</elements>
</element>
+<element name="treeview" type="CONTROL" class="TreeView">
+<element name="tree_generator_1" type="VIRTUAL" class="TreeGenerator">
+<element name="style_selector" type="CONTROL" class="GroupStyleSelector">
+<element name="commentList" type="CONTROL" class="CommentList">
+<element name="filter_1" type="CONTROL" class="SelectionFilter">
+<element name="filter_2" type="CONTROL" class="SelectionFilter">
+<element name="filter_3" type="CONTROL" class="TextFilter">
</elements>
</page>
[... ]
</pages>
</application>
```

9 Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die im Folgenden aufgeführten studentischen Arbeiten, in welchen verschiedene Fragestellungen zur Datenerfassung und Produktionssteuerung in der Werkstattfertigung untersucht wurden. Deren Ergebnisse sind in Teilen in das vorliegende Dokument eingegangen. Der Autor dankt allen Studierenden für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit. Im Folgenden sind die Studienarbeiten in alphabetischer Reihenfolge des Nachnamens der Autoren aufgeführt.

BARTOK, E.

Entwicklung eines Vorgehensmodells zur strategischen Planung der Produktallokation bei Nutzfahrzeugherstellern, Diplomarbeit, 2012. Teile der Arbeit sind in den Abschnitt 6.3 eingegangen.

BAUS, T.

Gestaltung eines produktionsseitigen Anforderungswesens unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungsqualität, Diplomarbeit, 2012. Teile der Arbeit sind in die Abschnitte 4.3 und 6.3 eingegangen.

KÖLLNER, F.

Entwicklung einer Methode zur quantitativen Bewertung des Produktentstehungsprozesses, Diplomarbeit, 2010. Teile der Arbeit sind in die Abschnitte 2.2.3 und 6.3 eingegangen.

MA, L.

Literaturrecherche zum Anforderungsmanagement in der Produktion, Semesterarbeit, 2015. Teile der Arbeit sind in Abschnitte 2.2.2 und 2.2.3 eingegangen.

PAYET, F.

Erstellung eines Referenzmodells der Montage in der Nutzfahrzeugindustrie, Diplomarbeit, 2010. Teile der Arbeit sind in die Abschnitte 4.1.2 und 6.3 eingegangen.

STÖCKLMEIER, S

Vorbereitung einer Studie zur Identifikation von Implementierungsschwächen

von Simultaneous Engineering, Bachelor's Thesis, 2011. Teile der Arbeit sind in den Abschnitt 2.2.3 eingegangen.

TÜSHAUS, A.

Methode zur Ermittlung Montagezeiten im frühen Produktentwicklungsprozess, Diplomarbeit, 2013. Teile der Arbeit sind in Abschnitt 6.3 eingegangen.

WUNDERLE, J.

Konzeption einer Methode zur Initialbefüllung eines produktionsseitigen Lastenheftes, Bachelor's Thesis, 2011. Teile der Arbeit sind in die Abschnitte 5.2, 5.3 sowie 6.3 eingegangen.

YU, X.

Literaturrecherche zu Schwachstellen des Simultaneous Engineering, Semesterarbeit, 2014. Teile der Arbeit sind in den Abschnitt 2.2.3 eingegangen.

YU, X.

Entwicklung eines Strukturierungsrahmens für produktionsseitige Anforderungen, Master's Thesis, 2015. Teile der Arbeit sind in den Abschnitt 4.1 eingegangen.