

UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

SCHRIFTENREIHE PRODUKTIONSTECHNIK

Herausgeber: D. Bähre und H. Bley



Band 45

Christian Köhler

**Technische Produktänderungen –
Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf
Basis einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes**

Saarbrücken 2009

**Technische Produktänderungen –
Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf Basis ei-
ner Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes**

Dissertation zur Erlangung des Grades des
Doktors der Ingenieurwissenschaften
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät III
– Chemie, Pharmazie, Bio- und Werkstoffwissenschaften –
der Universität des Saarlandes

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Christian Maria Köhler

Tag der Einreichung: 08.09.2009

Tag des Kolloquiums: 04.12.2009

Dekan:	Prof. Dr.-Ing. Stefan Diebels
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Stefan Diebels
1. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Christian Weber
2. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel
Akademischer Mitarbeiter:	Dr.-Ing. Joachim Schmitt

Saarbrücken 2009

Christian Köhler

Technische Produktänderungen – Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf Basis einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes

Universität des Saarlandes
Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 45

Geleitwort der Herausgeber

Die Schriftenreihe Produktionstechnik wird gemeinsam vom aktuellen und ehemaligen Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnik (Prof. Dr.-Ing. D. Bähre, Prof. Dr.-Ing. H. Bley) der Universität des Saarlandes herausgegeben. Zweck der Schriftenreihe ist es, die auf dem Gebiet der Produktionstechnik an der Universität des Saarlandes erarbeiteten Forschungsergebnisse einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. In der Schriftenreihe erscheinen in erster Linie die am Lehrstuhl für Fertigungstechnik und dem ehemaligen Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD (Prof. Dr.-Ing. C. Weber, seit 2007 TU Ilmenau) entstandenen Dissertationen. Daneben werden aber auch andere Forschungsberichte, die in den thematischen Rahmen passen und von allgemeinem Interesse sind, in die Schriftenreihe aufgenommen. Die Herausgeber wünschen sich ein reges Interesse an der Schriftenreihe und würden sich freuen, wenn hieraus fruchtbare Dialoge mit Praktikern und Forschern entstünden.

Prof. Dr.-Ing. D. Bähre

Prof. Dr.-Ing. H. Bley

© Universität des Saarlandes 2009
Lehrstuhl für Fertigungstechnik
Prof. Dr.-Ing. D. Bähre
Postfach 15 11 50
D – 66041 Saarbrücken

ISBN 978-3-930429-74-5

ISSN 0945–6244

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Weber, dem ehemaligen Inhaber des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes und jetzigen Leiter des Fachgebiets Konstruktionstechnik an der Technischen Universität Ilmenau, für die gewährten Freiräume, die stete Unterstützung der Arbeit und die Möglichkeit meine Ideen auf internationalen Konferenzen sowie der Summer School on Engineering Design Research 2007 vor interessierten Kollegen präsentieren und diskutieren zu können.

Ebenfalls danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Stommel vom Lehrstuhl für Polymerwerkstoffe der Universität des Saarlandes für die Übernahme der disziplinarischen Verantwortung nach dem Weggang von Prof. Weber, die sehr gute Zusammenarbeit bei gemeinsamen Lehrveranstaltungen und für die Übernahme des Koreferates.

Außerdem gilt meine Dankbarkeit den ehemaligen Kolleginnen und Kollegen der Lehrstühle für Konstruktionstechnik/CAD und Fertigungstechnik/CAM, die mich während meines Studiums und als wissenschaftlichen Mitarbeiter begleitet, unterstützt und mir viele schöne Erinnerungen beschert haben. Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Sören Wanke und Herrn Dipl.-Inf., M.Sc. Jan Conrad für die beispiellos gute Zusammenarbeit am Lehrstuhl, die zahlreichen fachlichen und fachfremden Diskussionen und das Korrekturlesen meiner Arbeit. Weiterhin danke ich Herrn Dipl.-Ing. (FH) Germano Porta, Frau Renate Kröner und meinen ehemaligen studentischen Hilfskräften Dipl.-Ing. Jan-Martin Kaiser, Dipl.-Ing. Ulrich Reinstädter, Timo Divivier, Stephan Groß, Tobias Lüdeke und Johannes Zimmer für ihre Unterstützung. Ebenfalls danke ich meinen Studienarbeitern Herrn Dipl.-Ing. Jan Zimmermann und Herrn Andreas Rebschläger für ihre wertvollen Beiträge zu dieser Arbeit.

Zu guter Letzt, möchte ich meiner Familie, der ich diese Arbeit widme, für den mir ermöglichten Werdegang und die nie endende Unterstützung während meines Studiums und der Promotion danken.

Zusammenfassung

Die Sicherstellung der globalen Wettbewerbsfähigkeit ist für produzierende Unternehmen überlebenswichtig. Auf den Märkten setzen sich die diejenigen Unternehmen durch, welche die Erfolgsindikatoren Qualität, Kosten und Zeit beherrschen. Ein effizienter Umgang mit technischen Produktänderungen hat dabei positive Auswirkungen auf alle drei Faktoren. Studien der RWTH Aachen und der TU München haben insbesondere die Entscheidungsfindung über technische Produktänderungen als kritisches Handlungsfeld identifiziert. Die nähere Untersuchung des Phänomens „Technische Produktänderung“ und der existierenden Ansätze zur Vermeidung bzw. Vorverlagerung sowie zur Analyse und organisierten Abwicklung von technischen Produktänderungen zeigt, dass insbesondere im Bereich der frühzeitigen Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen, also der Entscheidungsgrundlage zur Befindung über eine technische Produktänderung, noch Handlungsbedarf besteht.

Auf dieser Erkenntnis aufbauend wird in dieser Arbeit zunächst ein Referenzprozess für die Abwicklung technischer Produktänderungen definiert, welcher stärker die Analyse der Auswirkungen und Risiken technischer Produktänderungen in den Fokus setzt. Auf Basis dessen wird eine Methodik zur Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen, Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA) genannt, entwickelt. PD/CIRA basiert auf einer methodischen Kombination einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes nach Weber und bewährter Methoden des präventiven Qualitätsmanagements. Dadurch gelingt es frühzeitig diejenige Lösungsmöglichkeit einer technischen Produktänderung zu identifizieren, die das günstigste Aufwand/Nutzen-Verhältnis aufweist. Zudem wird es in einem Ansatz möglich, die Auswirkungen technischer Produktänderungen nicht nur innerhalb eines Produktes, sondern auch auf Produkte mit Gleichteilen, auf das für den Kunden relevante Verhalten des Produktes, dessen Herstellbarkeit, Terminpläne und Wirtschaftlichkeit zu betrachten. Zudem kann PD/CIRA als ein Controlling-Instrument für technische Produktänderungen eingesetzt werden.

Abstract

In order to stay competitive in a globalized business environment, which has become more and more crucial for manufacturing companies, it is important to control several success factors such as quality, cost and time. An effective management of engineering changes has a positive influence on all of these three factors. Current studies of RWTH Aachen University and the Technical University of Munich underline that decision making processes with focus on engineering changes represent an important field of research activities. Deeper studies of the phenomenon “engineering change”, its existing approaches of prevention, bringing forward, analysis as well as organised processing lead to the result that there is a need for an improved support concerning the early analysis of potential change solutions’ impact. This is a precondition for the overall evaluation of engineering change requests.

Due to those findings, firstly, a new engineering change process with a strong focus on the analysis of risks and impact of engineering change solutions is defined. Secondly, based on that process, the Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA), a method to analyse and rate potential change solutions, is presented. As PD/CIRA is a combination of the extension of Weber’s CPM/PDD approach and established methods of preventive quality management, PD/CIRA allows the selection of the change solution with the best effort-benefit ratio. Furthermore, PD/CIRA allows more than just the analysis of change impact inside one product. It is also possible to include the analysis of the change impact on products with same parts, impact on the producibility as well as time-related and economical impact. Additionally, PD/CIRA can be used as controlling tool for engineering changes.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	3
1.3 Forschungsfragen.....	4
1.4 Vorgehen und Aufbau der Arbeit	4
2 Technische Produktänderungen	7
2.1 Begriffsabgrenzung.....	7
2.1.1 Organisatorische Änderungen.....	7
2.1.2 Technische Produkt- und Prozessänderungen.....	9
2.2 Ursachen technischer Produktänderungen.....	12
2.3 Notwendigkeit und Klassifikation technischer Produktänderungen.....	15
2.4 Auswirkungen technischer Produktänderungen	16
2.4.1 Auswirkungen auf Produkte.....	17
2.4.2 Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen.....	18
2.4.3 Kostenauswirkungen.....	20
2.4.4 Zeitauswirkungen.....	22
2.5 Zusammenfassung und Folgerung.....	23
3 Strategien, Organisation und Hilfsmittel des technischen Änderungsmanagements	25
3.1 Vermeidung und Vorverlagerung technischer Produktänderungen.....	27
3.1.1 Vermeidung durch Produktentwicklungsmethodiken.....	28
3.1.2 Vermeidung durch Quality Function Deployment	35

3.1.3	Vermeidung durch Simultaneous Engineering	37
3.1.4	Vermeidung durch Wissensmanagement.....	39
3.1.5	Vermeidung durch präventive Qualitätssicherung.....	40
3.1.6	Vermeidung durch Design Review based on Failure Modes.....	42
3.1.7	Vorverlagerung durch Ansätze aus dem Bereich des Design for X	44
3.1.8	Zwischenfazit.....	48
3.2	Organisierte Abwicklung technischer Produktänderungen	49
3.2.1	Anforderungen an eine organisierte Abwicklung technischer Produktänderungen	51
3.2.2	Technischer Änderungsprozess gemäß DIN 199 – Teil 4	54
3.2.3	Generic Engineering Change Process nach Jarratt et al.....	56
3.2.4	Konfigurationsüberwachung des Konfigurationsmanagements	57
3.2.5	Abwicklung unternehmensübergreifender technischer Produktänderungen	58
3.2.6	Integriertes Änderungsmanagement	61
3.2.7	Informationstechnische Unterstützung	63
3.2.8	Zwischenfazit.....	66
3.3	Hilfsmittel zur Analyse technischer Produktänderungen	67
3.3.1	Hilfsmittel zur Ursachenanalyse	67
3.3.2	Hilfsmittel zur Risikoanalyse und -bewertung.....	68
3.3.3	Hilfsmittel zur Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen.....	69
3.3.4	Informationstechnische Unterstützung	75
3.3.5	Zwischenfazit.....	76
3.4	Zusammenfassung	77
3.5	Diskussion der bestehenden Ansätze und Ableitung eines Handlungsbedarfs.....	79
3.5.1	Strategien des technischen Änderungsmanagements.....	79
3.5.2	Organisation des technischen Änderungsmanagements	80

3.5.3	Hilfsmittel des technischen Änderungsmanagements.....	80
3.5.4	Fazit.....	82
4	Characteristics-Properties Modelling / Property-Driven Development.....	83
4.1	Begründung der Auswahl des Produktmodells.....	83
4.2	Merkmale und Eigenschaften	84
4.3	Produktmodell: Characteristics-Properties Modelling (CPM)	86
4.3.1	Relationen (R_j, R_j^{-1}).....	86
4.3.2	Externe Bedingungen der Entwicklung (EC_j).....	87
4.3.3	Innere Abhängigkeiten (D_x).....	88
4.3.4	Zusätzliche Eigenschaften (P_{+1}).....	88
4.3.5	Lösungsmuster	89
4.3.6	X-Systeme.....	90
4.4	Prozessmodell: Property-Driven Development (PDD).....	92
4.5	Bisherige Anwendungsgebiete	95
4.6	Potentialabschätzung bezogen auf technische Produktänderungen.....	95
4.7	Hypothese	97
5	Konzeptionelle Vorüberlegungen.....	99
5.1	Ziele und Anforderungen an die Methodik.....	99
5.2	Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes	100
5.2.1	Vorüberlegungen zur Ermittlung des Risikos und der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit.....	100
5.2.2	Produktübergreifende Querverbindungen.....	106
5.3	Matrix-Darstellung des CPM/PDD-Ansatzes.....	108
5.3.1	Produktmodell – Matrix-CPM	110
5.3.2	Prozessmodell – Matrix-PDD	113
5.3.3	Integration des Sichtenmodells.....	114

5.3.4	Integration der Crosslinks	116
5.3.5	Darstellung und Dokumentation von Matrix CPM/PDD.....	117
5.4	Referenzprozess für die Abwicklung technischer Produktänderungen	119
5.4.1	Informationen zur Entscheidung über technischer Produktänderungen	119
5.4.2	Referenzprozess für technische Produktänderungen	120
6	Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen.....	123
6.1	Grundidee.....	123
6.2	Vorbemerkung	124
6.3	Analyse der konstruktiven Auswirkungen.....	126
6.3.1	Vorbereitung der Analyse	127
6.3.2	Lösungsmöglichkeiten beschreiben	129
6.3.3	Primäre Auswirkungen bestimmen.....	130
6.3.4	Sekundäre Auswirkungen bestimmen.....	135
6.3.5	Beurteilung des konstruktiven Aufwands	137
6.3.6	Bestimmung der Verhaltensreaktion.....	139
6.4	Bestimmung der Lösungsgüte	140
6.4.1	Beurteilung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit	141
6.4.2	Beurteilung der Auswirkungen auf andere Produkte.....	143
6.4.3	Beurteilung der Terminauswirkungen	145
6.4.4	Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsauswirkungen.....	146
6.4.5	Lösungsgüte	147
6.5	Anwendung beim generierenden Ändern	148
6.6	Zusammenfassende Darstellung des Ansatzes	148
7	Evaluierung	151
7.1	Evaluierung von Matrix-CPM	151

7.1.1	Produkt.....	151
7.1.2	Herkömmliche CPM-Darstellung.....	152
7.1.3	Matrix-CPM Darstellung.....	153
7.1.4	Vergleich und Evaluierung.....	155
7.2	Evaluierung von PD/CIRA.....	157
7.2.1	Ausgangssituation.....	158
7.2.2	Szenario 1: Geänderte Soll-Eigenschaft.....	159
7.2.3	Szenario 2: Geändertes Merkmal.....	163
7.2.4	Szenario 3: Hinzugefügtes Merkmal.....	165
7.2.5	Evaluierung der Methodik.....	166
7.3	Überprüfung der Hypothese.....	167
7.4	Beobachtungen und Folgerungen.....	167
7.4.1	Beobachtungen bei der Anwendung des CPM/PDD-Ansatzes und Folgerungen.....	168
7.4.2	Beobachtungen bei der Anwendung von PD/CIRA und Folgerungen.....	171
7.5	Ergebnisse der Arbeit.....	173
7.5.1	Ergebnisse bezüglich des CPM/PDD-Ansatzes.....	174
7.5.2	Ergebnisse bezüglich des Umgangs mit technischen Produktänderungen.....	174
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	177
8.1	Zusammenfassung.....	177
8.2	Beantwortung der Forschungsfragen.....	179
8.3	Grenzen der Methodik.....	182
8.4	Ausblick.....	183
	Quellenverzeichnis.....	185
	Literatur.....	185
	Normen, Richtlinien und Empfehlungen.....	206

Produkt- und Presseinformationen sowie Internetquellen	208
Anhang: Produktmodelle und Analysematrizen.....	211
Evaluierung Matrix-CPM/PDD	213
Evaluierung PD/CIRA	221
Lebenslauf.....	241

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Konflikt beim Ändern von Produkten.....	2
Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit	5
Abbildung 2.1: Schichtenmodell des Wandels [Krüg06].....	8
Abbildung 2.2: Regelkreis technischer Produktänderungen (angelehnt an [Gemm95])	12
Abbildung 2.3: Beispielhafte Ausbreitung einer technischen Produktänderung [Remm06].....	20
Abbildung 2.4: Durchschnittliche Kosten einer Änderung nach [Wild06].....	21
Abbildung 3.1: Elemente des technischen Änderungsmanagements.....	26
Abbildung 3.2: Paradoxon der Konstruktion [Ehrl07].....	28
Abbildung 3.3: Einordnung der Entwicklung/Konstruktion in den Produktlebenszyklus [Ever98].....	29
Abbildung 3.4: Gegenüberstellung der Konstruktionsabläufe nach [Roth00].....	31
Abbildung 3.5: Four domains of the design world [Suh01].....	32
Abbildung 3.6: Gekoppelte, abgekoppelte und losgekoppelte Konstruktionen.....	34
Abbildung 3.7: Prinzip des QFD und des House of Quality (angelehnt an [ReLH96, Saat01])	36
Abbildung 3.8: Zeitgewinn durch Simultaneous Engineering nach [Stie99].....	38
Abbildung 3.9: Bausteine des Wissensmanagements nach [PrRR06]	40
Abbildung 3.10: FMEA-Formblatt	41
Abbildung 3.11: DRBFM-Ablauf	44
Abbildung 3.12: Aspect-Principle-Correlation Matrix (nach [FrSC05]).....	48
Abbildung 3.13: Verteilung und Vermeidbarkeit technischer Änderungen [DKJR05].....	49
Abbildung 3.14: Fehlermöglichkeiten in der Produktentwicklung [Ehrl07]	50
Abbildung 3.15: Allgemeine Anforderungen an technische Änderungsprozesse.....	53
Abbildung 3.16: Beispiel für ein Änderungsablaufschema [DIN199-4]	55
Abbildung 3.17: Generic Engineering Change Process (nach [JaCE05]).....	56

Abbildung 3.18: Änderungstypologie (in Anlehnung an [EvWS97]).....	59
Abbildung 3.19: Überblick über den ECM-Referenzprozess nach [VDA4965]	60
Abbildung 3.20: Schematischer Zusammenhang zwischen den Bausteinen und Aktionsfeldern des integrierten Änderungsmanagements (nach [ReLZ98]).....	62
Abbildung 3.21: Unterstützung des technischen Änderungsmanagements durch SAP-Komponenten [Remm06].....	65
Abbildung 3.22: Cambridge Change Propagation Model [CISE01].....	70
Abbildung 3.23: Prozessorientierte Systematisierung der Änderungskosten (nach [Conr97, LiRe98]).....	74
Abbildung 4.1: Mögliche Strukturierung von Merkmalen und Eigenschaften [WeWe01, Webe07a]	85
Abbildung 4.2: Analyse und Synthese sowie Zielkonflikte im CPM-Ansatz.....	87
Abbildung 4.3: Externe Bedingungen im CPM-Ansatz.....	88
Abbildung 4.4: Innere Abhängigkeiten im CPM-Ansatz.....	88
Abbildung 4.5: Zusätzliche Eigenschaften im CPM-Ansatz	89
Abbildung 4.6: Schematische Darstellung eines Lösungsmusters im CPM/PDD-Ansatz.....	90
Abbildung 4.7: Darstellung der X-Systeme zusammen mit Design for X (obere Reihe) sowie Design of X (untere Reihe) und Produktanalyse (linke Spalte) sowie Produktsynthese (rechte Spalte) (nach [Webe07])	91
Abbildung 4.8: Regelkreis der Produktentwicklung im PDD-Ansatz (angelehnt an [Deub07, Webe07a])	93
Abbildung 4.9: Ablauf des Property-Driven Developments (Zyklus A) [WeDe02, Deub07].....	94
Abbildung 4.10: Sichtenmodell [Deub07]	96
Abbildung 5.1: Erweitertes Sichtenmodell – Überblick	101
Abbildung 5.2: Bedeutungsgrade von Funktionen am Beispiel der Audi AG (gefunden in [Glas06])	102
Abbildung 5.3: Value-Control-Chart (angelehnt an [Glas06])	102
Abbildung 5.4: Ermittlung der Priorität von Soll-Eigenschaften.....	103
Abbildung 5.5 Vertriebssicht	104
Abbildung 5.6: Designsicht mit Untersicht.....	104

Abbildung 5.7: Produktionssicht.....	105
Abbildung 5.8: Gesamtdarstellung des erweiterten Sichtenmodells.....	106
Abbildung 5.9: Crosslinks – Querverbindungen zwischen Produkten	107
Abbildung 5.10: Matrix-Darstellung des CPM-Produktmodells	111
Abbildung 5.11: Matrix-Darstellung eines Lösungsmusters.....	112
Abbildung 5.12: Matrix-Darstellung des PDD-Prozessmodells – Zyklen 1 und 2.....	113
Abbildung 5.13: Matrix-Darstellung der Vertriebsicht	114
Abbildung 5.14: Matrix-Darstellung der Designsicht mit Untersicht.....	115
Abbildung 5.15: Matrix-Darstellung des gesamten Sichtenmodells.....	116
Abbildung 5.16: Matrix-Darstellung der Crosslinks.....	117
Abbildung 5.17: Matrix-CPM/PDD dargestellt in Microsoft Excel	118
Abbildung 5.18: Referenzprozess für technische Produktänderungen	121
Abbildung 6.1: Vorgehen und bevorzugte Methoden für das korrigierende und generierende Ändern (angelehnt an [LiRe98] und [Wild06]).....	125
Abbildung 6.2: Teil 1 des PD/CIRA-Formblatts	126
Abbildung 6.3: Bestimmung der Soll-/Ist-Differenz.....	128
Abbildung 6.4: Entscheidungsschema korrigierendes vs. generierendes Ändern	128
Abbildung 6.5: Beispielprodukt – Ermittlung variierbarer Merkmale.....	129
Abbildung 6.6: Dokumentation der Lösungsmöglichkeiten im PD/CIRA-Formblatt	130
Abbildung 6.7: Erweitertes Matrix-CPM/PDD für die Untersuchung der Auswirkungen technischer Produktänderungen	131
Abbildung 6.8: Beispiel zur Illustration der primären und sekundären Auswirkungen auf Merkmalsseite	132
Abbildung 6.9: Skala zur Beurteilung der Prognosesicherheit (S) der primären/sekundären Auswirkungen.....	133
Abbildung 6.10: Skala zur Beurteilung der Stärke der Auswirkungen auf das Verhalten des Produktes (V1/V2).....	134
Abbildung 6.11: Skala zur Bewertung der Priorität der Eigenschaften	134
Abbildung 6.12: Dokumentation und Bewertung der primären Auswirkungen im PD/CIRA-Formblatt.....	135

Abbildung 6.13: Dokumentation und Bewertung der sekundären Auswirkungen im PD/CIRA-Formblatt	137
Abbildung 6.14: Skala zur Beurteilung des konstruktiven Aufwands (KA).....	138
Abbildung 6.15: Beurteilung des konstruktiven Aufwands der Lösungsmöglichkeiten im PD/CIRA-Formblatt	138
Abbildung 6.16: Bestimmung der Verhaltensreaktionen der Lösungsmöglichkeiten im PD/CIRA-Formblatt	139
Abbildung 6.17: Teil 2 des PD/CIRA-Formblatts	140
Abbildung 6.18: Skala zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit (H).....	141
Abbildung 6.19: Analyse der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit (H).....	142
Abbildung 6.20: Beurteilung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit des Produktes im PD/CIRA-Formblatt.....	142
Abbildung 6.21: Analyse der Auswirkungen auf andere Produkte für Lösungsmöglichkeit C ₃ *	143
Abbildung 6.22: Beurteilung und Dokumentation der Auswirkungen auf andere Produkte im PD/CIRA-Formblatt	144
Abbildung 6.23: Skala zur Beurteilung der Auswirkungen auf andere Produkte (Pr).....	144
Abbildung 6.24: Skala zur Beurteilung der Terminauswirkungen (T)	145
Abbildung 6.25: Beurteilung und Dokumentation der Terminauswirkungen im PD/CIRA-Formblatt	145
Abbildung 6.26: Skala zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsauswirkungen (W)	146
Abbildung 6.27: Beurteilung und Dokumentation der Wirtschaftlichkeitsauswirkungen im PD/CIRA-Formblatt.....	147
Abbildung 6.28: Bestimmung und Dokumentation der Lösungsgüten im PD/CIRA-Formblatt	148
Abbildung 6.29: Graphische Zusammenfassung von PD/CIRA.....	149
Abbildung 7.1: Explosionszeichnung der Seilrollenkonsole und der Wellenbaugruppe.....	152
Abbildung 7.2: Produktmodell der Seilrolle in herkömmlicher CPM-Darstellung	153
Abbildung 7.3: Produktmodell der Seilrolle in Matrix-CPM Darstellung.....	154
Abbildung 7.4: Beispiel für eine Modellanalyse in Matrix-CPM	156
Abbildung 7.5: Matrix-CPM Produktmodell der Ausgangssituation.....	157

Abbildung 7.6: Beispiel der Kommentierung von inneren Abhängigkeiten.....	158
Abbildung 7.7: Priorisierung der Soll-Eigenschaften anhand der Pareto-Regel.....	159
Abbildung 7.8: Vergleich der Einsparpotentiale der Lösungsmöglichkeiten (basierend auf [WWW1, WWW2])	159
Abbildung 7.9: PD/CIRA-Formblatt Teil 1 zum Szenario 1	160
Abbildung 7.10: PD/CIRA-Formblatt Teil 2 zum Szenario 1	161
Abbildung 7.11: Vergleich der Lösungsgüte der Lösungsmöglichkeiten mit verschiedenen Gewichtungen.....	162
Abbildung 7.12: PD/CIRA-Formblatt Teil 1 zum Szenario 2	163
Abbildung 7.13: PD/CIRA-Formblatt Teil 2 zum Szenario 2	164
Abbildung 7.14: PD/CIRA-Formblatt Teil 1 zum Szenario 3	165
Abbildung 7.15: PD/CIRA-Formblatt Teil 2 zum Szenario 3	166

Abkürzungsverzeichnis

ASME	American Society of Mechanical Engineers
BW	Business Information Warehouse
CAD	Computer Aided Design
CAs	Customer Attributes
CCPM	Cambridge Change Prediction Model
C_i	Characteristics (Merkmale)
CI	Coupling Index
CIA	Change Impact Analysis
CIRA	Change Impact and Risk Analysis
CMEA	Change Mode and Effects Analysis
CPM	Characteristics-Properties Modelling
ΔP_j	Differenz zwischen Soll- und Ist-Eigenschaften eines Produktes
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DRBFM	Design Review based on Failure Modes
DRBTR	Design Review based on Test Results
DRM	Design Research Methodology
DSM	Design Structure Matrix
DTM	Design Theory and Methodology
D_x	Dependencies (Abhängigkeiten)

EC _j	External Conditions (externe Randbedingungen)
ECM	Engineering Change Management (technisches Änderungsmanagement)
ECO	Engineering Change Order (Änderungsauftrag)
ECR	Engineering Change Request (Änderungsantrag)
EDM	Engineering Data Management
EKV	Entwicklung, Konstruktion und Vertrieb (Gesellschaft des VDI)
EN	Europäische Norm
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
FRs	Functional Requirements
F&E	Forschung und Entwicklung
GVI	Generational Variety Index
H	Stärke der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit
HoQ	House of Quality
HRM	Human Resource Management
ICED	International Conference on Engineering Design
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie / informationstechnisch
JIT	Just-in-time
KA	Konstruktiver Aufwand
LG	Lösungsgüte
P	Priorität von Soll-Eigenschaften

P _j	Properties (Eigenschaften)
Pr	Stärke der Auswirkungen auf andere Produkte
PDD	Property-Driven Development
PDM	Produktdatenmanagement / Product Data Management
PD/CIRA	Property-Driven Change Impact and Risk Analysis
PLM	Produktlebenszyklusmanagement / Product Lifecycle Management
PR _j	Properties Required (geforderte Soll-Eigenschaften)
PVs	Process Variables
QFD	Quality Function Deployment
R _j	Relations (Relationen)
S	Prognosesicherheit
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung (Firmenname)
SE	Simultaneous Engineering
SFB	Sonderforschungsbereich
T	Stärke der Terminauswirkungen
TFB	Transferbereich
TQM	Total Quality Management
TRIZ	Theorie des erfinderischen Problemlösens
TTS	Theory of Technical Systems
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

VR	Verhaltensreaktion
V1	Stärke der primären Auswirkungen auf das Produktverhalten
V2	Stärke der sekundären Auswirkungen auf das Produktverhalten
W	Stärke der Wirtschaftlichkeitsauswirkungen
WDK	Workshop-Design-Konstruktion
XL _{XY}	Crosslinks

1 Einleitung

„Ändern und Bessern sind zweierlei.“

Deutsches Sprichwort

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Seit dem Ende des „Kalten Krieges“ haben sich die Märkte der Welt sukzessiv geöffnet und verschmelzen nun zu einem globalen Markt. Dies führt zu einem stetig wachsenden Konkurrenzdruck. Um diesem Konkurrenzdruck stand halten zu können, sind Unternehmen gezwungen, qualitativ hochwertige und innovative Produkte zu niedrigen Kosten zu entwickeln und herzustellen [ZeSM04]. Somit ist jegliche Störung im Entwicklungs- und Produktionsprozess eine Gefahr für das erfolgreiche Agieren eines Unternehmens. Ein Beispiel für eine solche Störung ist eine Änderung an einem Produkt oder Prozess [VoRi98]. Gemäß des Änderungsmanagementreports 2005 der TU München [DKJR05] tritt diese Art der Störung in einem Unternehmen im Schnitt ca. 220-mal pro Monat auf¹.

Der beschriebene Konkurrenzdruck wird zusätzlich durch den Trend der „mass customization“² [EcPJ03] verstärkt, dem Phänomen, dass Kunden immer individuellere Produkte nachfragen. Dies führt innerhalb der Unternehmen zu einer hohen Zahl an Varianten, was einerseits einen Kostentreiber darstellt, aber auf der anderen Seite einem Unternehmen auch zu einem Alleinstellungsmerkmal verhelfen kann [SchHG05]. Um eine Variante eines Produktes zu erzeugen, wird prinzipiell ein bestehendes Produkt geändert und erhält eine neue Teile-

¹ Der Änderungsmanagementreport 2005 der TU München ist das Ergebnis einer Befragung von 50 international tätigen Unternehmen (sowohl Konzerne als auch kleine und mittelständische Unternehmen) aus dem deutschsprachigen Raum, welche in Serie fertigen. Die Unternehmen verteilen sich dabei auf die Automobil-, Automobilzulieferer- und Elektroindustrie.

² Unter „mass customisation“ ist gemäß [BIDM03, EcPJ03] im erweiterten Sinne die Generierung zusätzlicher Produktvarianten, welche dazu dienen die individueller werdenden Bedürfnisse der breiten Konsumentenmasse zu befriedigen, zu verstehen.

nummer³. Dieser Trend führt somit ebenfalls zu einer Steigerung der Anzahl an Störungen im Soll-Ablauf eines Unternehmens und die Bearbeitung bindet erneut Kapazität.

Unternehmen sind somit auf der einen Seite aus Kostengründen bestrebt, Änderungen zu vermeiden oder so früh wie möglich im Lebenszyklus durchzuführen⁴. Auf der anderen Seite sind sie jedoch erforderlich, damit das Unternehmen während des gesamten Lebenszyklus flexibel auf dem Markt agieren und seine Produkte kontinuierlich verbessern kann. Dieser Zielkonflikt ist in Abbildung 1.1 illustriert.

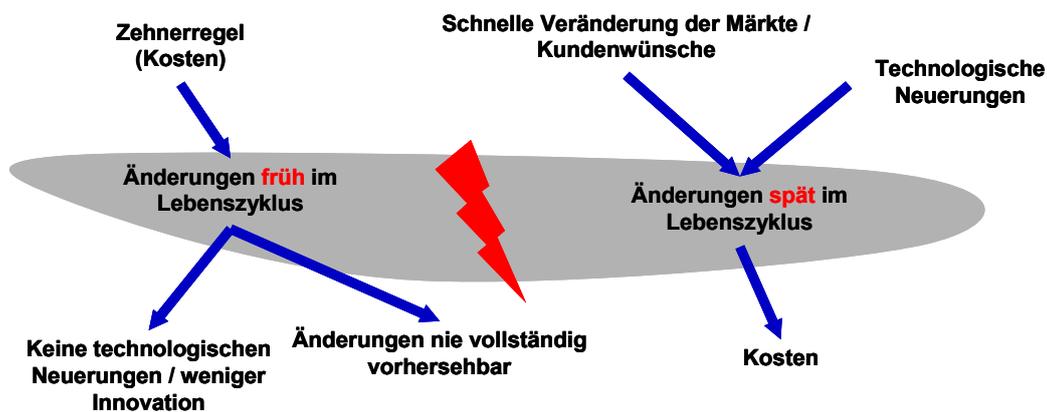


Abbildung 1.1: Konflikt beim Ändern von Produkten

Eine technische Produktänderung ist nicht auf die alleinige Anpassung der Konstruktion begrenzt, vielmehr stößt diese einen ISO 9000-konformen Absicherungs- und Einführungsprozess an. Dies bedeutet zugleich, dass nahezu alle Bereiche eines Unternehmens in die Bearbeitung und Überprüfung einer technischen Produktänderung involviert sind [Gemm95, Pfli87]. Laut den Ergebnissen des Änderungsmanagementreports 2005 hat sich die Zeit für einen Änderungsdurchlauf zwischen 1994 und 2005 verdreifacht [DKJR05]. Der Grund hierfür liegt in der, durch die ISO 9000-Normenreihe ausgelöste, stärkeren Formalisierung der Durchführung und verstärkten Dokumentation von Änderungen mit dem Ziel der Erhöhung der Prozesssicherheit des Änderungsablaufs. Weitere Einflussfaktoren, welche zur Erhöhung der Durchlaufzeit geführt haben, sind gemäß [DKJR05] komplexer gewordene Unternehmens- und Entwicklungsprozesse und der erhöhte Koordinationsaufwand durch die organisa-

³ Varianten sind gemäß DIN 199 – Teil 4 „Gegenstände ähnlicher Form und / oder Funktion mit in der Regel hohem Anteil identischer Gruppen oder Teile“ [DIN199-4].

⁴ Dies ist in der sogenannten „Zehnerregel“ oder „rule of ten“ begründet (vgl. [VDI2247]). Diese sagt aus, dass die Kosten für die Fehlerbehebung bzw. Änderung eines Produktes zwischen den Phasen des Produktlebenszyklus um den Faktor 10 ansteigen.

torische Integration der Zulieferer in den Änderungsprozess sowie die zunehmend verteilte Produktentwicklung.

Die Verfasser des Änderungsmanagementreports 2005 haben basierend auf ihren Ergebnissen – von denen hier nur der für die Motivation dieser Arbeit interessante Teil vorgestellt wird – folgende Handlungsfelder identifiziert [DKJR05]:

- Vollständige Bestimmung der Änderungsfolgen
- Schnelle Entscheidung über und somit schnellere Umsetzung von Änderungen
- Früherkennung und Wiederverwendung von Problemlösungen

Das Ändern von Produkten gehört somit zu den Kernaufgaben eines Unternehmens [EcPJ03]. Nach Aussage der Innovationsagenda der RWTH Aachen sind ein effizientes Änderungsmanagement, insbesondere im Bereich der Analyse von Änderungsauswirkungen, und die sichere Information über Änderungszustände Schlüssel zum künftigen Erfolg eines Unternehmens [RWTH04]. Ein effizientes Änderungsmanagement kann zwar die eingangs erwähnten Störungen nicht vollständig beseitigen, aber zu deren Minimierung und optimalen Bearbeitung beitragen. Somit entsteht durch ein effizientes Änderungsmanagement für Unternehmen ein Wettbewerbsvorteil [EcCZ04].

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Das Hauptziel der Arbeit leitet sich aus den Handlungsfeldern des Änderungsmanagementreports der TU München und der Innovationsagenda der RWTH Aachen ab. Ziel dieser Arbeit ist die Bereitstellung eines Instrumentariums, welches den Produktentwickler beziehungsweise Änderungsverantwortlichen in seiner Entscheidung über eine technische Produktänderung unterstützen kann, indem die Änderungsfolgen beziehungsweise Änderungsauswirkungen möglichst vollständig bestimmt werden. Zu dem soll es mit dem Instrumentarium möglich sein, den Prozess der Entscheidung über eine technische Produktänderung sicherer und schneller zu machen.

1.3 Forschungsfragen

Die Forschungsfragen, welche die Grundlage dieser Arbeit darstellen, lauten wie folgt:

- Technische Produktänderungen stellen ein wichtiges Thema im Bereich der Entwicklung und Konstruktion von Produkten dar. Welche generellen Strategien gibt es im Umgang mit technischen Produktänderungen? Welche Ziele verfolgen diese?
- Bevor eine technische Produktänderung umgesetzt wird, muss über diese positiv befunden werden. Welche Kriterien sind bei der Entscheidung über eine technische Produktänderung maßgebend?
- Je länger sich die Durchführung einer notwendigen Änderung an einem Produkt herauszögert, desto größer ist das Risiko für das Unternehmen, welches das Produkt herstellt. Somit übt der Faktor Zeit Druck auf die Entscheidung über eine technische Produktänderung aus. Wie kann der Prozess der Entscheidung über eine technische Produktänderung unterstützt werden, so dass dieser dennoch prozesssicher und zügig abläuft?

1.4 Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Das Vorgehen und der Aufbau der vorliegenden Arbeit lehnt sich an die von Blessing und Chakrabarti erarbeitete Design Research Methodology (DRM) [BlCh02] an, wie sie auch auf der Summer School on Engineering Design Research der Design Society gelehrt wird. In dieser Arbeit wird in einer „Descriptive Study I“ der aktuelle Stand der Technik dargestellt, analysiert und diskutiert. Die „Prescriptive Study“ widmet sich dann der Entwicklung und Dokumentation des eignen Ansatzes. Dieser wird abschließend in der „Descriptive Study II“ auf seine Tauglichkeit hin überprüft. In Abbildung 1.2 ist der Aufbau der Arbeit und die Zuordnung der Kapitel zu den drei Studien der DRM dargestellt.

Das erste Kapitel beschreibt zunächst die Ausgangssituation und die Motivation der Arbeit. Ausgehend hiervon wird die Zielsetzung der Arbeit formuliert. Aus diesen Zielen werden Forschungsfragen abgeleitet, welche im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden sollen.

Im Zentrum von Kapitel 2 stehen die technischen Produktänderungen. Zunächst wird die Begrifflichkeit der technischen Produktänderungen von den organisatorischen Änderungen abgegrenzt. Im Anschluss daran wird dargestellt, wie es zu technischen Produktänderungen kommt, warum diese notwendig sind, wie sie sich klassifizieren lassen und welche Auswirkungen technische Produktänderungen mit sich bringen.

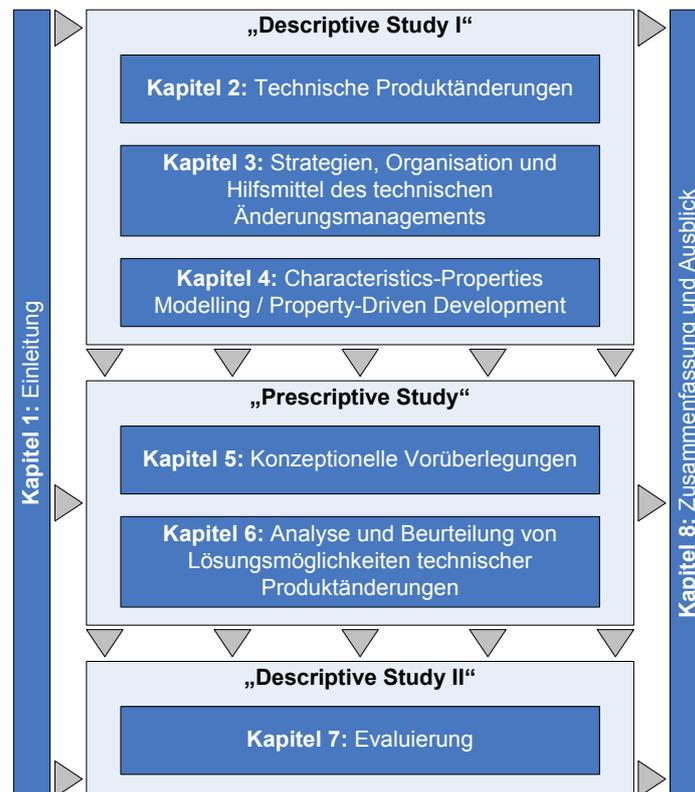


Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit

Kapitel 3 befasst sich im ersten Teil mit den Strategien im Umgang mit technischen Produktänderungen. Der zweite Teil des Kapitels analysiert die organisierte Abwicklung von technischen Produktänderungen. Zum Abschluss des Kapitels 3 werden bestehende Hilfsmittel zur Analyse technischer Produktänderungen beschrieben, ein Handlungsbedarf festgestellt und im Vorgriff auf Kapitel 4 ein Produktmodell ausgewählt.

Der Ansatz des Characteristics-Properties Modelling / Property-Driven Development wird in Kapitel 4 vorgestellt und das Potential des Ansatzes bezogen auf technische Produktänderungen analysiert. Abschließend wird eine Hypothese aufgestellt, welche in den anschließenden Kapiteln überprüft wird.

Bevor die eigentliche Methodik entwickelt werden kann, sind zunächst konzeptionelle Vorüberlegungen durchzuführen. Diese sind in Kapitel 5 beschrieben. In diesem Kapitel wird der CPM/PDD-Ansatz erweitert und um eine neue Darstellungsart ergänzt. Abschließend wird ein Referenzprozess für die Abwicklung technischer Produktänderungen definiert, in welchem auch die in Kapitel 6 entwickelte Methodik eingebettet sein soll.

In Kapitel 6 wird die Property-Driven Change Impact and Risk Analysis, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methodik zur Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen, beschrieben.

Das siebte Kapitel der Arbeit befasst sich mit der Evaluierung der entwickelten Methodik. Zusätzlich wird die Hypothese aus Kapitel 5 überprüft. Im Anschluss daran werden Beobachtungen festgehalten, welche im Rahmen dieser Arbeit gemacht wurden. Aus diesen Beobachtungen werden Folgerungen und Empfehlungen abgeleitet. Zum Abschluss des Kapitels werden die Ergebnisse der Arbeit dargestellt.

Im achten Kapitel werden die Arbeit zusammengefasst, die Forschungsfragen beantwortet, die Grenzen der entwickelten Methodik beschrieben und ein Ausblick gegeben. An das Kapitel 8 schließen sich das Quellenverzeichnis und der Anhang an.

2 Technische Produktänderungen

Technische Produktänderungen stellen den Fokus dieser Arbeit dar. In diesem Kapitel wird geklärt, was technische Produktänderungen sind und wie sie sich von organisatorischen Änderungen unterscheiden. Zudem wird erläutert, warum technische Produktänderungen überhaupt entstehen, wie sie klassifiziert werden können und welche Folgen sie haben.

2.1 Begriffsabgrenzung

Im betrieblichen Sprachgebrauch wird der Begriff Änderung mehrdeutig verwendet. Hier können die folgenden drei Bedeutungen unterschieden werden:

- Änderungen in und an der Organisation
- Änderungen an Produkten
- Änderungen an Produktionsprozessen

2.1.1 Organisatorische Änderungen

Änderungen in und an der Organisation eines Unternehmens werden häufig auch mit dem englischen Begriff „*change*“ umschrieben. Alternativ finden auch die Begriffe Wandel, Umstrukturierung oder Veränderung Anwendung [DoLa05, JaEC05, Krüg06]. Organisatorische Änderungen dienen der unternehmensbezogenen Veränderung und Entwicklung [Krüg06] und sind Änderungen der Ablauf- und Aufbauorganisation⁵ [Gemm95, Klee99]. Diese erstrecken sich von Änderungen in der Struktur und Strategie bis hin zur Veränderung von Werten und Überzeugungen eines Unternehmens (Abbildung 2.1). Organisatorische Änderungen werden durch eigendynamische, sogenannte emergente Prozesse ausgelöst und beeinflusst

⁵ Unter der Ablauforganisation ist die zeitliche und räumliche Anordnung von Handlungsvorgängen in einer Unternehmung zu verstehen [Ever96].

Die Aufbauorganisation dient der „Schaffung der organisatorischen Grundelemente Stelle, Instanz und Abteilung, mit deren Verknüpfung zu einer organisatorischen Struktur sowie mit der Regelung von Beziehungen zwischen diesen Elementen“ [Ever96].

[Krüg06, Mint78, Mint87]. Die Erfolgsaussichten organisatorischer Änderungen sinken in dem Maß, wie sie im Gegensatz zur bestehenden Unternehmenskultur stehen [DoLa05].

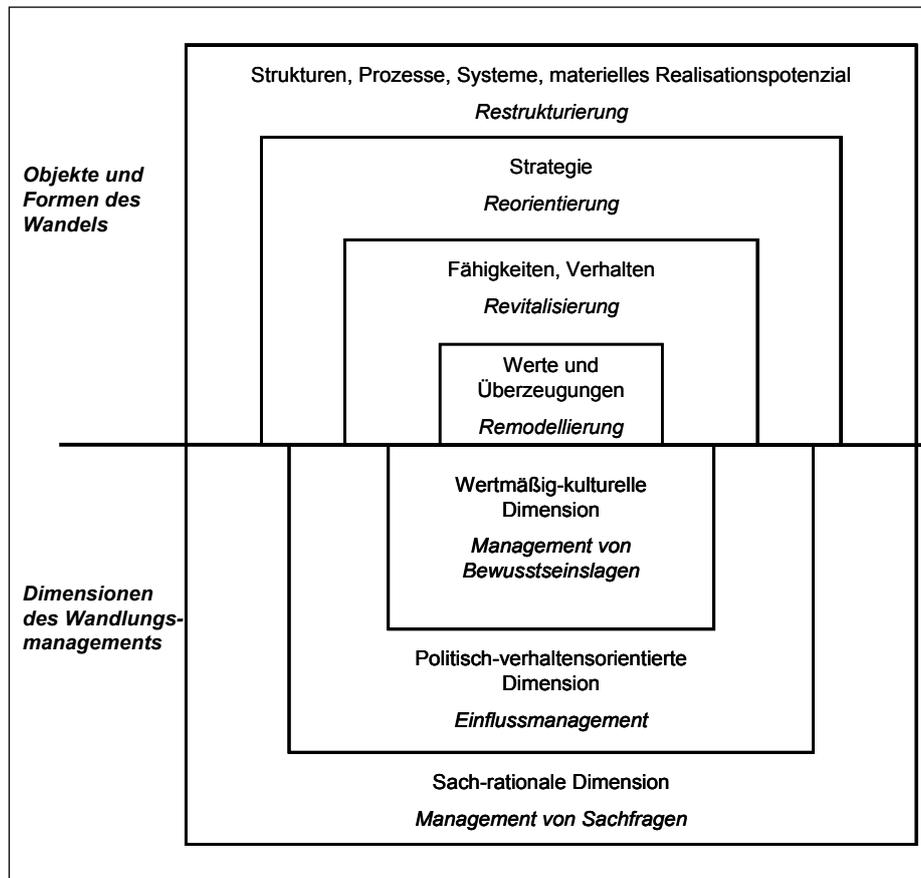


Abbildung 2.1: Schichtenmodell des Wandels [Krüg06]

Der organisatorische Änderungsprozess kann in die Phasen Initialisierung, Konzipierung, Mobilisierung, Umsetzung und Verstetigung unterteilt werden [Krüg06]. Besonderes Augenmerk muss hierin auf die Phase der Mobilisierung gelegt werden [Krüg06, Pfei08], denn in dieser Phase wird die Veränderung kommuniziert und die Akzeptanz für die Veränderung geschaffen. Gemäß einer 2007 von IBM Deutschland durchgeführten Studie zum Thema Change Management kann der Prozess der Mobilisierung nur erfolgreich verlaufen, wenn das Bewusstsein für die Herausforderungen, die mit einer Veränderung einhergehen, geschaffen wird [JoAN07]. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Unternehmensleitbild als Spiegelbild der Strategie, Motivation und Kultur des Unternehmens zu [EiFr07].

Beispiele für themenbezogene organisatorische Änderungen sind Einstellungs- und Verhaltensänderungen, wie sie mit Einführung des Total Quality Managements (TQM, vgl. [HuMa02, Freh93]) oder der Lean Production (vgl. [WoJR92]) stattgefunden haben beziehungs-

weise noch stattfinden. Ebenso sind die verstärkte Teambildung im Allgemeinen [DoLa05] oder der Aufbau virtueller Teams im Speziellen [BrSc04] Beispiele organisatorischer Änderungen.

Organisatorische Änderungen können unter anderem auch durch technische Änderungen hervorgerufen werden oder diese hervorrufen [Gemm95].

2.1.2 Technische Produkt- und Prozessänderungen

Bei Betrachtung der verfügbaren Publikationen der vergangenen 25 Jahre lassen sich zum Thema technischer Produktänderungen zwei große Wellen identifizieren. Die erste Welle erstreckt sich dabei von Anfang bis Ende der 1980er Jahre (siehe z.B. [DIN199-4, Pfli87, Pfli89, DIN6789-3]), die zweite Welle beginnt in der zweiten Hälfte der 1990er und hält mit einer kurzen Unterbrechung zu Beginn des 21. Jahrhunderts bis heute an (siehe z.B. [Gemm95, Conr97, LiRe98, Klee99, DKJR05, JaEC05, Jani06]). Der Begriff Änderung wird im technischen Kontext in den, im Zuge der ersten Welle, veröffentlichten Normen sehr stark an die damals maßgebliche Produktdokumentation angelehnt [Conr97]. Dies zeigt sich beispielsweise in den Definitionen der DIN 6789 – Teil 3, oder dem von Pflicht [Pfli89] zitierten Auszug aus dem Entwurf der DIN 6772 zum Ändern von Dokumenten und Gegenständen von 1988:

- „Eine Änderung ist die vereinbarte Festlegung eines neuen anstelle des bisherigen Zustandes“⁶ [DIN6789-3].
- „Eine Änderung ist jeder Eingriff in eine technische Produktdokumentation und damit in den festgelegten Zustand des mit dieser Dokumentation beschriebenen Zustands (DIN6772)“ [Pfli89].

Eine alleinige Anlehnung an die Produktdokumentation erscheint aus heutiger Sicht problematisch, da im Gegensatz zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der genannten Normen die Produktentwicklung in starkem Maße rechnerunterstützt abläuft und somit gemäß Conrat Niemerg [Conr97] eher von einer Datenbasis gesprochen werden muss.

⁶ An die DIN 6789 – Teil 3 angelehnte Definitionen findet sich auch in [Gemm95, LiRe98]. Lindemann und Reichwald [LiRe98] ergänzen die Definition um den zugehörigen Prozess der Transformation.

Aus dem Gebiet des Konfigurationsmanagements (siehe Kapitel 3.2.4) stammen Definitionen, welche die Freigabe als entscheidendes Kriterium betrachten. Beispielsweise definiert Saynisch eine Änderung als „... Modifikation an Geräten, Produkten oder Teilen und ihren Dokumenten [...], die nach Festlegen einer Referenzkonfiguration⁷ vorgenommen werden“ [Sayn84]. Die Definition der technischen Änderung in [LiRe98] bezieht sich ebenfalls auf eine Bezugskonfiguration. Der Bezug auf eine Freigabe und nicht auf Dokumente erscheint unter anderem sinnvoll, weil infolge einer Freigabe weitere Arbeitsschritte angestoßen werden und somit der Änderungsaufwand steigt [Conr97]. Gleichzeitig stellt sich jedoch die Frage wie Änderungen zu bezeichnen sind, wenn noch keine Freigabe erfolgt ist. Hier besteht keine eindeutige Begrifflichkeit [Conr97].

Weitere von Conrat Niemerg [Conr97] identifizierte Probleme im Rahmen der Definition des Begriffs technische Änderung sind:

- Die Unklarheit des relevanten Freigabezeitpunkts, d.h. ab wann die Auflagen der ISO 9000 ff. (siehe Kapitel 3.2.1) hinsichtlich der Prüfungs-, Genehmigungs- und Dokumentationspflicht gelten.
- Das Problem von vorläufigen, unvollständigen oder teilweisen Freigaben, wie sie im Rahmen des Simultaneous Engineering (siehe Kapitel 3.1.3) häufig vorkommen.
- Viele Produktentwicklungen stellen lediglich Varianten- oder Anpassungskonstruktionen dar, welche auf bestehenden Produkten basieren und somit als Änderung des Ausgangsprodukts aufgefasst werden können (vgl. hierzu auch [Ehrl07, Gemm95]).
- Die Tatsache, dass Produkt- und Prozessänderungen häufig untrennbar miteinander verbunden sind.

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Punkte grenzt Conrat Niemerg [Conr97] die technische Änderung ab. Diese Abgrenzung dient als Basisdefinition für diese Arbeit, wird jedoch noch um den Zeitpunkt des Auftretens von technischen Änderungen sowie der Forde-

⁷ Die Referenzkonfiguration kann identisch zur Bezugskonfiguration nach ISO 10007 gesetzt werden. Die Bezugskonfiguration bildet „die formell zu einem vorgegebenen Zeitpunkt festgelegte Konfiguration eines Produkts, die als Grundlage für weitere Tätigkeiten dient [ISO10007].“

nung der DIN 6789 – Teil 3, dass technische Änderungen die Verkaufsfähigkeit eines Erzeugnisses erhöhen oder zur Kompensation der Gesamtaufwendungen beitragen müssen, erweitert:

Technische Änderungen sind alle nachträglichen Festlegungen von neuen (an Stelle der bisherigen) Zuständen an freigegebenen (d.h. verbindlich festgelegten) Arbeitsergebnissen innerhalb eines zusammenhängenden technischen Entwicklungs- und Produktionsprozesses mit dem Ziel der Sicherstellung beziehungsweise Verbesserung der Verkaufsfähigkeit eines Erzeugnisses oder der Erhöhung des Verkaufserlöses. Sie beinhalten immer eine Änderung der technischen Dokumentation beziehungsweise der Datenbasis, schließen aber auch alle damit zusammenhängenden Produkt- und Prozessänderungen ein. Technische Änderungen können an beliebigen Zeitpunkten des Produktlebenszyklus auftreten und sind nach den gültigen Normen prüfungs-, genehmigungs- und dokumentationspflichtig.

Die Verkaufsfähigkeit im Sinne dieser Definition beinhaltet ebenfalls Aspekte, wie beispielsweise die Gesetzes- oder Marktkonformität. Die Bezeichnung technische Änderung wird gemäß der obigen Definition in dieser Arbeit stets verwendet, wenn sowohl technische Änderungen an Produkten als auch Prozessen angesprochen werden. Die erwähnten Produkt- und Prozessänderungen stellen Sonderformen der technischen Änderung dar.

Unter einer technischen Produktänderung wird in dieser Arbeit folgendes verstanden:

Technische Produktänderungen sind technische Änderungen, welche auf Änderungen an den Zuständen von Produkten und deren Dokumentation beziehungsweise Datenbasis beschränkt sind. Technische Produktänderungen bedingen in der Regel weitere technische Änderungen.

Späte technische Produktänderungen können insbesondere in der Phase des Produktionsanlaufs zu Hindernissen und Problemen führen [SKNH06] und technische Prozessänderungen hervorrufen.

Technische Prozessänderungen sind technische Änderungen, an den für die Erzeugung des entwickelten Produktes beteiligten Prozessen, den dazu benötigten technischen Systemen und Dokumentationen.

Technische Prozessänderungen können ebenfalls weitere technische Änderungen hervorrufen [GeSt98] und selbst von technischen Änderungen betroffen sein [Klee98].

2.2 Ursachen technischer Produktänderungen

Nachdem der Begriff technische Produktänderung geklärt ist, stellt sich die Frage wodurch technische Produktänderungen entstehen. Eine erste Antwort darauf gibt der Richtlinienentwurf des VDI Nr. 2247 [VDI2247]. Dieser unterscheidet zwei Phasen:

- Vor Produktionsfreigabe liegen die Ursachen technischer Produktänderungen in geänderten Vorgaben (z.B. Kundenanforderungen) oder der Feststellung von Fehlern in den diversen Verifizierungsschritten (z.B. FMEA, Versuch oder Design Review).
- Nach der Produktionsfreigabe kommen technische Produktänderungen aufgrund von Fehlermeldungen aus der Fertigung, Kundenreklamationen oder auch Verbesserungsvorschlägen zustande.

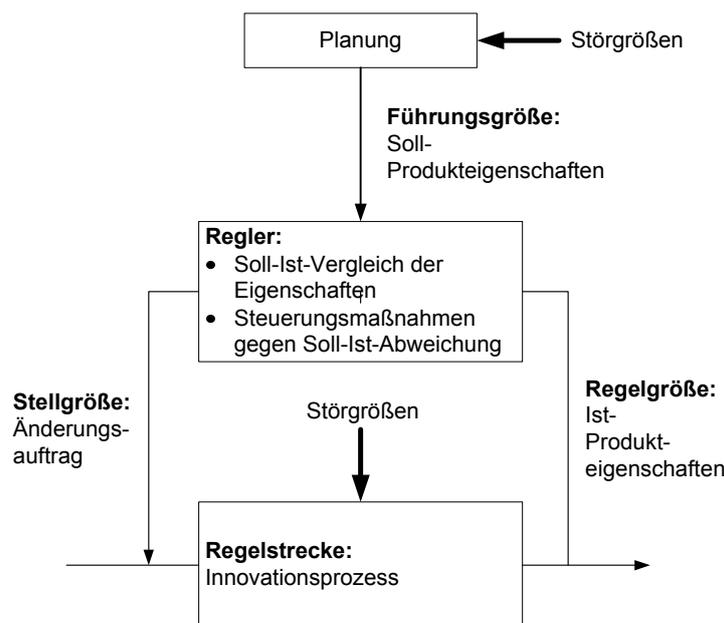


Abbildung 2.2: Regelkreis technischer Produktänderungen (angelehnt an [Gemm95])⁸

Aus der VDI 2247 lässt sich entnehmen, dass prinzipiell zwischen den Begriffen Auslöser (Kundenanforderungen, Verbesserungsvorschläge etc.) und Ursachen (z.B. Konstruktionsfehler) technischer Produktänderungen unterschieden werden kann. Für diese Arbeit ist diese Differenzierung jedoch nicht weiter von Interesse, weshalb generell von Ursachen technischer

⁸ In Anlehnung an die Begrifflichkeiten des CPM/PDD-Ansatzes (vgl. Kapitel 4) wurde in dieser Abbildung der Begriff Produktmerkmale durch Produkteigenschaften ersetzt.

Produktänderungen gesprochen wird. In diesem Sinne kommt es, wie in Abbildung 2.2 dargestellt, zu einer technischen Produktänderung, wenn die Soll-Eigenschaften eines Produktes nicht mehr mit den Ist-Eigenschaften übereinstimmen. Die Soll-/Ist-Abweichung kann dabei sowohl interne als auch externe Ursachen haben.

Als **interne** Ursachen für technische Produktänderungen kommen eigene Innovationen und Produktverbesserungen, Erkenntnisgewinne aus Fertigung, Montage und dem Qualitätsmanagement, interne Fehlermeldungen, zu hohe Kosten, Konstruktionsfehler infolge mangelnden Wissens über das Erzeugnis oder dessen Einsatzbedingungen, Informationsdefiziten, unzureichenden Entscheidungsgrundlagen oder persönliche Faktoren (z.B. Stress, Ermüdung) in Betracht. **Externe** Ursachen technischer Produktänderungen finden sich z.B. in fremden Innovationen (z.B. neue Werkstoffe oder Technologien), veränderten Markt- oder Kundenanforderungen beziehungsweise Trends (wie z.B. „mass customisation“), verbesserten Produkten der Wettbewerber, veränderten Produkten von Zulieferern, Gesetzes-/Richtlinien- oder Normänderungen, Kundenbeschwerden (direkt oder indirekt, z.B. via Kundenrezessionen im Internet). Veränderungen im Umfeld eines Unternehmens können unter anderem auch an Produkten, welche seit mehreren Jahren nicht mehr produziert werden, zu Änderungen führen. [DIN6789-3, BIDM03, EcPJ03, Ehrl07, Gemm95, KoRL07, LiRe98, Pfli89, VDI2247]

Im Zuge der Recherche zu dieser Arbeit konnte keine geschlossene Studie gefunden werden, welche alle diese Ursachen berücksichtigt und deren Auftretenshäufigkeit untersucht hat. Um ein Gefühl für die Bedeutung der einzelnen Ursachen zu bekommen, werden im Folgenden Eckdaten aus mehreren Studien vorgestellt.

- Gemmerich stellt fest, dass die meisten Ursachen für technische Änderungen der Produktentwicklung zugerechnet werden können, je nach Branche liegt dieser Wert zwischen 31 und 72 % [Gemm95]. Wildemann [Wild06] beziffert diesen Anteil mit 50%.
- Conrat Niemerg [Conr97], Lindemann/Reichwald [LiRe98] und Wildemann [Wild06] geben an, dass ca. 40% der technischen Änderungen nach Erstellung der Serienwerkzeuge auftreten, woraus sich schließen lässt, dass zu diesem Zeitpunkt noch keine technisch ausgereiften Produkte vorliegen.
- Gemäß Eversheim et al. [EvWS97] sind ca. 45% der auftretenden Produkt- oder Werkzeugänderungen Folge von Mängeln an den Produkten.

- Eine vom Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD durchgeführte Industriestudie in der Region Saarland und Trier identifiziert das betriebliche Vorschlagswesen als am häufigsten eingesetztes Werkzeug zur Qualitätsverbesserung [Zimm07, KCWZ08]. Dies lässt darauf schließen, dass ihm auch als Auslöser technischer Produktänderungen eine hohe Bedeutung zukommt.
- Gesetzes- oder Normänderungen lösen ca. 7% aller technischen Produktänderungen aus [Gemm95].
- Eine von Ahmed und Kanike durchgeführte Analyse von über 1500 technischen Änderungsreports an einem Flugzeugtriebwerk kam zu dem Ergebnis, dass die aufgetretenen Ursachen in verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus unterschiedlich stark ausgeprägt sind [AhKa07]. Die Hauptgründe in der Entwicklungs- und Prototypenphase waren hierbei zu hohes Gewicht (49%)⁹, veränderte Spezifikationen (40,7%), Zertifizierungsgründe (32%) und Fertigungs- oder Montagegründe (28%). Hingegen wurden technische Änderungen in der Fertigungs- und Testphase des Produktes hauptsächlich aus Gründen der Fertigung oder Montage (31%), Verlässlichkeit des Triebwerks (28%), Lebensdauer (24%) und Baubarkeit (19%) verursacht. Letztlich haben in der Servicephase wiederum Gründe der Fertigung oder Montage (19%), Kostenreduzierung (17%), operative Erfahrungen mit dem Triebwerk (15%) und Baubarkeit (15%) dominiert.

Aus den zitierten Studien ist ersichtlich, dass der überwiegende Teil aller technischen Produktänderungen Unzulänglichkeiten in der Produktentwicklung zugerechnet werden kann, was die Bedeutung des Themas technische Produktänderungen als Bestandteil der Produktentwicklung unterstreicht. Somit kann als erstes Zwischenergebnis festgehalten werden, dass eine genauere Betrachtung der Unterstützung der Produktentwickler hinsichtlich Fehlervermeidung und dem Umgang mit aufkommenden Produktänderungen notwendig ist.

⁹ Im Rahmen der Fallstudie waren Mehrfachnennungen der Ursachen möglich, weshalb sich die Zahlenwerte nicht zu 100% addieren.

2.3 Notwendigkeit und Klassifikation technischer Produktänderungen

Die allgemeine Notwendigkeit der Durchführung technischer Produktänderungen entsteht aus folgenden Gründen [DIN6789-3]:

- Funktionelle Verbesserung
- Fertigungsrationalisierung
- Kundenwunsch, Marktbedürfnis
- Behebung von Fehlern in technischen Dokumenten
- Behebung von Ausschussursachen
- Änderung von Fremdteilen
- Sicherheitsanforderungen
- Gesetzliche Bestimmungen

Hinsichtlich des Entscheidungsspielraums über die Durchführung einer technischen Produktänderung trotz erkannter Notwendigkeit, lassen sich gemäß Allmannsberger [Allm98] Muss- und Kann-Änderungen unterscheiden.

Unter **Muss-Änderungen** sind technische Produktänderungen zu verstehen, welche aufgrund einer unzureichenden Funktionserfüllung des Entwicklungsobjektes oder zur Berichtigung der Produktdokumentation notwendig sind [Allm98]. Werden Muss-Änderungen nicht durchgeführt, so kann dies die erfolgreiche Platzierung des Produktes am Markt verhindern oder zur Nichteinhaltung gesetzlicher Vorschriften oder Normen führen [Allm98]. Nach Maßgabe der DIN 6789 – Teil 3 [DIN6789-3] sind alle technischen Änderungen, welche die Sicherheitsanforderungen und gesetzlichen Bestimmungen betreffen, zwingend durchzuführen. Ein griffiges Beispiel für eine Muss-Änderung sind die Schadstoffklassen bei Kraftfahrzeugen. Erfüllt ein Neufahrzeug die gültige Schadstoffklasse nicht, so darf es nicht in Verkehr gebracht werden. Alle technischen Produktänderungen, die zur Einhaltung der Schadstoffklasse beitragen, sind somit Muss-Änderungen.

Kann-Änderungen sind technische Produktänderungen, welche auf eine Kostenreduzierung oder eine Optimierung der Funktion zielen. Hierzu ist zwingend die Notwendigkeit der technischen Produktänderung zu bestimmen.

Gemmerich [Gemm95] fokussiert die Unterscheidung zwischen Kann- und Muss-Änderungen zusätzlich auf die Dynamik des Absatzmarktes. Als Kriterium nimmt er die Wellenlänge der absatzseitigen Dynamik zur Hand. Ist diese deutlich kürzer als der Lebenszyklus des betrachteten Produktes, so müssen die technischen Produktänderungen erfolgen. Eine Nichtdurchführung der Änderung würde dazu führen, dass das Produkt nicht mehr wie geplant abgesetzt werden kann.

2.4 Auswirkungen technischer Produktänderungen

In der Literatur gibt es verschiedene Ansätze zur Ordnung der Auswirkungen technischer Produktänderungen. Beispielsweise werden von Gemmerich [Gemm95] objektbezogene, verrichtungsbezogene, wertbezogene und zeitbezogene Auswirkungen technischer Produktänderungen unterschieden. Wobei objektbezogene Änderungsauswirkungen interne und externe Auswirkungen auf technische Dokumente und Gegenstände des Produkts sowie auf Betriebsmitteln, Einrichtungen oder andere Produkte beschreiben. Dementsprechend sind verrichtungsbezogene Änderungsauswirkungen Störungen an Produkten und Prozessen und damit Terminverschiebungen und Kosten. Wertbezogene Auswirkungen sind die durch die Dringlichkeit, Vermeidbarkeit und Wirtschaftlichkeit beeinflussten Änderungskosten im Produktlebenszyklus. Die zeitbezogenen Änderungsauswirkungen beinhalten durch die Durchlaufzeit beeinflusste Auswirkungen, wie beispielsweise Informationsasymmetrien und dadurch bedingte Folgefehler. Kleedörfer [Klee98] unterteilt die Auswirkungen in die Bereiche Produkt, Aufbauorganisation, Prozess und Kosten.

Für diese Arbeit soll folgende Unterscheidung der Auswirkungen technischer Produktänderungen gelten:

- Auswirkungen auf Produkte
- Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen
- Kostenauswirkungen

- Zeitauswirkungen

2.4.1 Auswirkungen auf Produkte

In der Kategorie „Auswirkungen auf Produkte“ werden alle Auswirkungen von technischen Produktänderungen erfasst, welche das zu fertigende Produkt und dessen Dokumentationen betreffen. Daneben berücksichtigt diese Kategorie Auswirkungen auf andere Produkte, seien es Varianten des betrachteten Produktes oder Produkte, in denen das betrachtete Produkt verbaut ist. Diese Kategorie entspricht teilweise den objektbezogenen Änderungsauswirkungen nach Gemmerich. Dieser nimmt zusätzlich eine Unterteilung der Kategorie in primäre und sekundäre Auswirkungen vor¹⁰. Die primären Auswirkungen beschreiben die Auswirkungen auf das betrachtete Produkt selbst und die sekundären Auswirkungen stellen Auswirkungen auf Betriebsmittel, Einrichtungen und andere Produkte dar. Die Auswirkungen auf Betriebsmittel und Einrichtungen werden in dieser Arbeit der Kategorie Prozesse und Ressourcen zugeordnet. Dies sei der Vollständigkeit halber an dieser Stelle erwähnt, damit die im Folgenden präsentierten Ergebnisse der Gemmerich-Fallstudien richtig eingeordnet werden können.

Eines der Ergebnisse der von Gemmerich durchgeführten Fallstudien in der Elektronik- und Maschinenbauindustrie besagt, dass der Großteil der technischen Produktänderungen Auswirkungen auf die Geometrie (67%), gefolgt vom Material (28%) und der Teileanzahl (19%) hat [Gemm95]. Branchenabhängig überwiegen dabei im Maschinenbau Auswirkungen auf die Geometrie (97%) und in der Elektronik auf die Teileanzahl (27%). Zusätzlich belegt die Studie, dass die sekundären Auswirkungen in der Elektronikindustrie weitaus bedeutsamer sind als in der Maschinenbauindustrie. Dies wurde auf den höheren Automatisierungsgrad der Elektronikindustrie zurückgeführt. Weiterhin wurde festgestellt, dass 22% aller technischen Produktänderungen zu Änderungen an technischen Betriebsmitteln, welche selbst wiederum technische Produktänderungen sein können, führen. Dies zeigt auch, dass es sinnvoll ist, diese Kategorien voneinander zu trennen.

Beispielhaft können an folgenden Gegenständen und Dokumenten primäre Änderungsauswirkungen auftreten (z.T. angelehnt an [Gemm95]): Geometrie und Angaben in technischen

¹⁰ Die Begriffe der primären und sekundären Auswirkungen werden in dieser Arbeit mit einer anderen Bedeutung verwendet (siehe Kapitel 6).

Zeichnungen und CAD-Modellen, Simulationen, Spezifikationen, Schaltplänen, archivierten Zeichnungen (mikroverfilmt, digitalisiert etc.), Stücklisten, Ersatzteillisten, Teilestammsätzen, Teileverwendungsnachweisen, Instandhaltungs- und Wartungsplänen, Installations- und Gebrauchsanweisungen etc. Bei signifikanten Änderungen am Produkt kann dies auch Auswirkungen auf die Sachnummer eines Produktes haben, was dann keine technische Produktänderung mehr, sondern bereits eine Neukonstruktion¹¹ im Sinne von [DIN6789-3, Pfl87] ist.

Je komplexer ein Produkt ist, desto mehr Folgeänderungen und damit verbundene Fehler können auftreten [DKJR05]. Aufgrund der schwer überschaubaren Auswirkungen erschwert eine hohe Produktkomplexität die Handhabung und Beurteilung einer technischen Produktänderung.

2.4.2 Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen

Die Kategorie Prozesse und Ressourcen berücksichtigt die Auswirkungen technischer Produktänderungen auf die zur Produktherstellung benötigten Prozesse und die damit verbundenen Dokumente. Darin sind nicht nur die Fertigungs-, Montage- und Prüfprozesse, sondern auch alle planenden, steuernden, logistischen und betriebswirtschaftlichen Prozesse enthalten. Weiterhin werden die Auswirkungen auf die Ressourcen in dieser Kategorie betrachtet. Dies erscheint sinnvoll, da Prozesse und Ressourcen sehr häufig eng miteinander verzahnt sind. Unter Ressourcen sind das Personal¹², EDV, Anlagen, Betriebsmittel, Kapital, Material und immaterielle Ressourcen zu verstehen [Ever96, Gait06].

Somit gehören zu dieser Kategorie auch die sekundären Auswirkungen nach Gemmerich, also Auswirkungen auf die technischen Systeme und – falls vorhanden – deren Dokumentationen, die zur Herstellung des Produktes benötigt werden. Beispiele für diese Kategorie sind somit Auswirkungen auf Modelle, Formen, Werkzeuge, Vorrichtungen, Mess- und Prüfmittel, CNC-Programme, Sondermaschinen etc. Darüber hinaus gehören nach Ansicht des Autors

¹¹ Die DIN 6789 – Teil 3 [DIN6789-3] zieht die Grenze zwischen technischer Produktänderung und Neukonstruktion bei der Austauschbarkeit eines Gegenstandes. Ist diese infolge einer technischen Produktänderung nicht mehr gewährleistet, handelt es sich um eine Neukonstruktion, welche auch eine neue Sachnummer erhält.

¹² Auch wenn dem Autor dieser Arbeit die Verwendung des Begriffs Ressource für das Personal nicht zusagt, wird hier unter Ressource auch Personal verstanden. Der Grund dafür ist, dass sich dies im allgemeinen Sprachgebrauch eingebürgert hat und als Begriff in der entsprechenden Fachliteratur (z.B. [BrSc04, Scho00]) verwendet wird.

aber auch die korrespondierenden Dokumente, wie beispielsweise Arbeitspläne, Arbeits- und Prüfanweisungen, Hallenpläne sowie Prozessfolgen, Prozesssimulationen, Schulungsunterlagen, Materialdisposition etc. in diese Kategorie.

Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen sind eng mit Terminverschiebungen und Kosten verbunden. Diese können direkt oder indirekt wirken. Unter direkter Auswirkung ist eine technische Änderung an einem Prozess oder der damit verbundenen Dokumentation zu verstehen, welche sich dann negativ auf Termine u.ä. auswirkt. Indirekte Auswirkungen entstehen beispielsweise durch technische Änderungen an vor- oder nachgelagerten Prozessen. Ein Beispiel hierfür können veränderte Dispositionsmengen infolge geänderter Packungsgrößen sein, welche dann zu Produktionsengpässen führen. Somit können alle Bereiche eines Unternehmens direkt oder indirekt durch technische Änderungen betroffen sein [Pfli87]. So hat beispielsweise die Arbeitsvorbereitung zu überprüfen, inwieweit sich Termine ändern oder die Produktionsplanung¹³ kontrolliert, ob sich infolge der technischen Produktänderung Werkzeuge oder Maschinenparameter ändern. Dies unterstreicht auch, dass hier hohe Anforderungen an den Informationsaustausch und die Qualität der Änderungsdokumente gestellt werden müssen [Gemm95]. Auf die Auswirkungen technischer Produktänderungen hinsichtlich der Faktoren Kosten und Zeit wird in den beiden nächsten Abschnitten genauer eingegangen.

Die von Gemmerich durchgeführten Studien belegen, dass technische Produktänderungen die häufigsten und nachhaltigsten Störgrößen im Produktionsablauf eines Unternehmens sind; sie führen in der Regel zu Terminverschiebungen und gesondertem Aufwand [Gemm95]. Wie sich eine technische Produktänderung in einem Unternehmen ausbreiten kann, ist beispielhaft in Abbildung 2.3 dargestellt.

¹³ hier im Sinne der technischen Produktionsplanung nach Zenner [Zenn06] zu verstehen

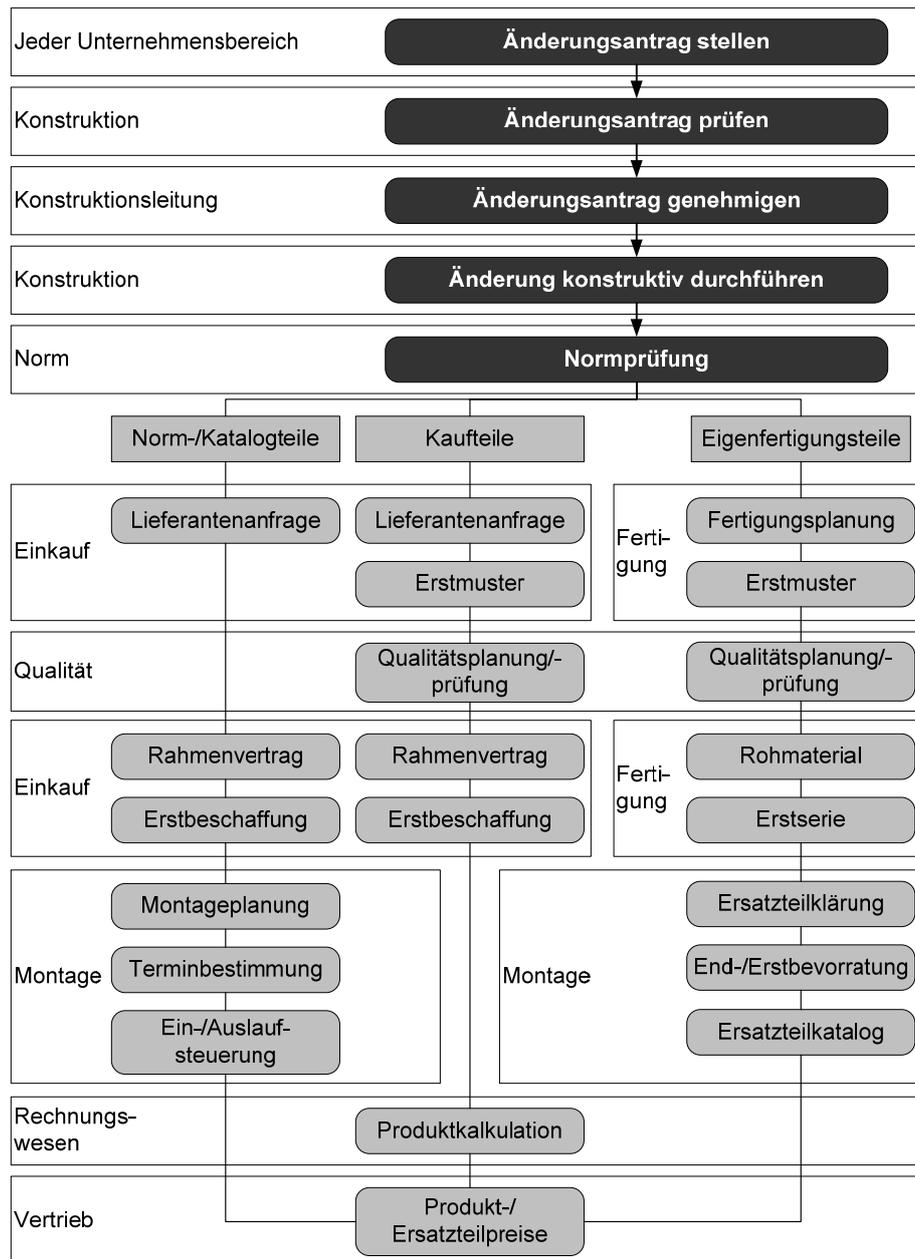


Abbildung 2.3: Beispielhafte Ausbreitung einer technischen Produktänderung [Remm06]

2.4.3 Kostenauswirkungen

Die dritte Klasse von Auswirkungen technischer Produktänderungen sind die anfallenden Kosten. Über die Kosten technischer Änderungen gibt es kaum konsistente Aussagen. Wildemann hat über Jahre hinweg die publizierten Änderungskosten zusammengetragen (vgl. Abbildung 2.4) und einen Mittelwert von ca. EUR 1.400,- Kosten pro Änderung ermittelt [Wild06]. Das Problem mit diesem Zahlenwert ist, dass sämtliche berücksichtigten Änderungskosten unterschiedliche Bezugsbasen haben und unterschiedliche Faktoren mit einbezie-

hen. So gibt beispielsweise Pflicht [Pfli89] durchschnittliche Änderungskosten in Höhe von EUR 500,- (im Original DM 1.000,-) bezogen auf jeden neuen Änderungsindex beziehungsweise EUR 1.000,- (im Original DM 2.000,-) bezogen auf jede neue Sachnummer an. Darin sind jedoch nur die Änderungsgemeinkosten, also die Einführungs- und Verwaltungskosten aber keine Durchführungskosten (z.B. Kosten für Werkzeugänderungen oder neue Werkzeuge) enthalten. Demgegenüber steht Gemmerich [Gemm95], welcher auf einen Durchschnittswert für die Kosten technischer Änderungen von etwa EUR 921,- (im Original DM 1.841,-) pro Änderungsauftrag in seiner Maschinenbaufallstudie und sogar auf EUR 7.110,- (im Original DM 14.220,-) pro Änderungsauftrag im Sektor der Elektronikindustrie kommt. Der Unterschied zwischen den Branchen liegt darin begründet, dass in der Elektronikindustrie im Mittel fünf Änderungspositionen in einem Änderungsauftrag enthalten sind, in der Maschinenbauindustrie nur eine. Somit ergibt sich für die Elektronikindustrie ein Wert EUR 1.422,- pro Änderungsauftrag und Änderungsposition. Gemmerich hat dabei die änderungsbedingten Personal- und Materialkosten in allen betroffenen Bereichen erfasst. All diese angegebenen Kosten haben gemeinsam, dass kein Entwicklungsmehraufwand berücksichtigt wurde. Nichtsdestotrotz liefern die von Wildemann gesammelten Änderungskosten eine Grundlage, um ein Gefühl für die Kosten einer technischen Änderung zu entwickeln.

Quelle	Kosten einer Änderung	genaue Bezugsbasis	Anmerkung
Pflicht (1989)	EUR 500,- EUR 1.000,-	je neuem Änderungsindex, alle Positionen je neuer Sachnummer, alle Positionen	nur "Änderungsgemeinkosten (Einführungs- und Verwaltungskosten), ohne Änderungsdurchführungskosten bei Produkten oder Werkzeugen
Wildemann (1994)	EUR 770,-	je Änderung	nur Zeitaufwendungen
Wildemann (1994)	EUR 1.500,-	je Änderungsposition	Zeitaufwendungen, Verschrottungskosten, Sperrlagerkosten, Werkzeugänderungskosten
Wildemann (1993)	EUR 1.650,- EUR 1.950,- EUR 3.350,-	je Änderung	3 Fallstudien in mittelständischen Unternehmen
Gemmerich (1995)	EUR 921,-	je Änderung	Fallstudie Maschinenbau
Gemmerich (1995)	EUR 7.110,- (EUR 1.442,-)	je Änderungsantrag mit im Schnitt 5 Positionen (je Position)	Fallstudie Elektronik
Ehrlenspiel (1995)	EUR 1.000,-	je Änderung	
Boznak (1994)	\$ 1.000,- \$ 2.000,- \$ 10.000,-	je Änderung	in 3 verschiedenen Unternehmen mit jeweils 52, 220 bzw. 423 Tätigkeiten je Änderung; nur Kosten der Informationsverarbeitung
Boznak (1993)	\$ 1.400,-	je Änderung	
Reichwald (1992)	EUR 1.840,-	je Änderung	nur Werkzeugkosten, Nacharbeit
Mittelwert (EUR Angaben)	ca. EUR 1.400,-	je Änderung	

Abbildung 2.4: Durchschnittliche Kosten einer Änderung nach [Wild06]

Die Bedeutung der Änderungskosten für die Änderungsentscheidung zeigt ebenfalls der Änderungsmanagementreport 2005: So hat sich der Anteil der Unternehmen, welche periodisch Änderungskosten auswerten, von einem Wert von 27% in 1994 auf 85% in 2005 erhöht

[DKJR05]. Neben dem gestiegenen Kostenbewusstsein hat zu dieser Erhöhung, nach Ansicht der Autoren des Reports, auch die vereinfachte Datenerhebung auf Basis von PDM- und sonstiger IT-Systeme geführt.

Hinsichtlich des Änderungszeitpunktes lässt sich sagen, dass die Änderungskosten zunehmen, je später eine Änderung im Produktlebenszyklus auftritt [VDI2247]. Gleiches gilt für die Änderungskosten bezogen auf die Komplexität eines Produktes [Gemm95].

2.4.4 Zeitauswirkungen

Die Zeit, welche für die Durchführung einer technischen Produktänderung benötigt wird, stellt die vierte Kategorie der Auswirkungen technischer Produktänderungen dar. Laut dem Änderungsmanagementreport 2005 hat sich die durchschnittliche Durchlaufzeit einer technischen Produktänderung zwischen 1994 und 2005 in den betrachteten Unternehmen beinahe verdreifacht. So dauert ein Änderungsdurchlauf heute im Schnitt 35 Tage [DKJR05].

Gründe für die Erhöhung der Durchlaufzeiten liegen unter anderem in der gestiegenen Komplexität der Produkte beziehungsweise Prozesse. Daneben ist aber auch der Prozess der Durchführung und Dokumentation technischer Produktänderungen aufwendiger geworden. So führt beispielsweise das Streben nach einer höheren Prozesssicherheit zu einer genaueren Bestimmung der Änderungsauswirkungen, was auf Basis der bestehenden Ansätze sehr zeitintensiv ist. [DKJR05]

Lange Durchlaufzeiten bergen zwei Gefahren in sich:

- Zum einen führen hohe Durchlaufzeiten zu **erhöhten Kosten**, beispielsweise in Form gesperrter Dokumente, Teile, Baugruppen oder Produkte (Opportunitätskosten). Hier gilt im Übrigen auch der umgekehrte Fall, dass identifizierte hohe Änderungskosten, aufgrund der zusätzlichen Absicherungen, zu einer Erhöhung der Durchlaufzeit führen.
- Zum anderen besteht die Gefahr der **Informationsasymmetrie**, welche sich durch uneinheitliche Informations- oder Konfigurationsstände in den betroffenen Bereichen äußert. Dies ist insbesondere während der Entwicklungsphase kritisch, da durch technische Änderungen Zwischenergebnisse, welche als Basis weiterer Zwischenergebnisse dienen, in Frage gestellt werden und es somit zu inkonsistenten Ergebnissen kommen kann [Hill97].

Dies kann unter anderem dazu führen, dass sich Teile in der Montage nicht fügen lassen, weil Abteilung A die Welle auf Basis einer anderen Bezugskonfiguration fertigt als Abteilung B die Nabe. Dies ist ein Beispiel für einen offensichtlichen Fehler durch Informationsasymmetrie. Jedoch können die Fehler auch in der Montage unentdeckt bleiben und sich erst im Feld äußern, was zu wesentlich schlimmeren Folgen (Imageverlust und Kosten) für Unternehmen führt.

2.5 Zusammenfassung und Folgerung

Zu Beginn dieses Kapitels wurde der Begriff technische Produktänderung definiert sowie von den technischen Prozessänderungen und den organisatorischen Änderungen abgegrenzt. Im Anschluss daran wurde dargestellt, dass technische Produktänderungen als Folge einer, durch unternehmensinterne oder externe Ereignisse verursachten, Differenz zwischen dem Soll- und Ist-Zustand eines Produktes entstehen. Die Soll-/Ist-Differenz erzeugt die Notwendigkeit einer technischen Produktänderung, bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass es auch zu einer technischen Produktänderung kommt. Die Entscheidung über die Durchführung hängt unter anderem von der Bedeutung der Ursache ab. Infolge der Durchführung einer technischen Produktänderung ergeben sich Auswirkungen auf das Produkt selbst, auf Varianten des Produktes, auf Produkte, welche das Produkt oder Teile davon enthalten, auf die Produktionsprozesse und die dazu benötigten Ressourcen, auf Kosten und auf die Zeit.

Als Ergebnis dieses Kapitels lässt sich festhalten, dass der Hauptverursacher von technischen Produktänderungen die Produktentwicklung ist. Insbesondere Entwicklungsfehler spielen eine bedeutende Rolle. Dies wird unterstützt durch die Feststellung, dass mit steigender Komplexität des Produktes die Menge an Folgeänderungen und somit das Fehlerpotential steigt. Zusätzlich wurde festgestellt, dass sich die Anforderungen an die Prozesssicherheit des technischen Änderungsprozesses erhöht haben, was zu einer Verlängerung des Änderungsdurchlaufs um den Faktor 3 geführt hat. Dies gipfelt wiederum in erhöhten Kosten und der Gefahr der Informationsasymmetrie. Somit scheint die Notwendigkeit gegeben, die Produktentwicklung als Hauptverursacher von technischen Produktänderungen und Hauptverantwortlichen bei der Erarbeitung und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen stärker, insbesondere methodisch, zu unterstützen. Als Kriterien zur Beurteilung von vorgeschlagenen technischen Produktänderungen können die identifizierten Auswirkungen auf

Produkte, Prozesse sowie Ressourcen, Kosten und die Zeit dienen. Eine effektivere und effizientere Ermittlung dieser Auswirkungen führt zwangsläufig auch wiederum zu einer Optimierung der Faktoren Kosten und Zeit.

Im folgenden Kapitel werden Strategien und Hilfsmittel zum Umgang mit und zur Auswahl von technischen Produktänderungen analysiert.

3 Strategien, Organisation und Hilfsmittel des technischen Änderungsmanagements

Zur Handhabung von technischen Produktänderungen gibt es das technische Änderungsmanagement. Allerdings ist das technische Änderungsmanagement an sich nicht eindeutig definiert. So verbinden Jarratt et al. das technische Änderungsmanagement mit der Organisation und Überwachung des Prozesses des Ändern von Produkten [JaCE05]. Die Bedeutung des Begriffs „Management“ wird in der Beschreibung von Lindemann und Reichwald deutlicher: „Änderungsmanagement beinhaltet Änderungen am Produkt nach erster verbindlicher Festlegung der Dokumente und alle diesem Änderungsvorgang zugeordneten Prozesse. [... sowie die ...] Gesamtheit aller Maßnahmen zur Vermeidung sowie zur gezielten Vorverlagerung und effizienten Planung, Auswahl, Bearbeitung und Regelung von Produktänderungen“ [LiRe98]. Die VDA-Empfehlung 4965 [VDA4965-T1, VDA4965] definiert das technische Änderungsmanagement als „die ganzheitliche Kontrolle und Verwaltung von Produktänderungen, d. h. die Sammlung von Ideen und Bedarfe für Änderungen, deren Konkretisierung, technische und betriebswirtschaftliche Bewertung sowie entwicklungs- und produktionsbezogene Umsetzung“. Nach Seiler et al. [SeGB06] umfasst das technische Änderungsmanagement „... alle Funktionen und Prozesse, die notwendig sind, um Änderungen an Produkten während ihres Produktlebenszyklus durchzuführen, zu kontrollieren und zu dokumentieren“. Dies schließt also ebenso die Verwaltung der Abläufe mit ein. Anstelle von technischem Änderungsmanagement wird auch häufig der Begriff „Änderungswesen“¹⁴ verwendet. Das Änderungswesen ist eher auf die Organisation des Ablaufs technischer Änderungen beschränkt [DIN199-4] und stellt in seiner klassischen Form eher ein papiergebundenes Formular- und Freigabewesen dar [Jani04].

In Anlehnung an die obigen Definitionen kann das technische Änderungsmanagement folgendermaßen abgegrenzt werden:

Das technische Änderungsmanagement umfasst alle Dokumente, Methoden, Tätigkeiten und Prozesse, welche zur Vermeidung und Vorverlagerung, effizienten Auswahl, Bearbeitung,

¹⁴ „Das Änderungswesen umfasst die innerbetriebliche Organisation und die zugehörigen Organisationsmittel zur Änderung von Gegenständen, z.B. von Unterlagen und Teilen“ [DIN199-4].

Genehmigung/Ablehnung, Durchführung, Kontrolle und Dokumentation von technischen Änderungen notwendig sind.

Aus dieser Definition wird ersichtlich, dass das technische Änderungsmanagement sich aus drei wesentlichen Elementen zusammensetzt:

- **Strategie:** Prävention vs. Reaktion, d.h. Vermeidung und Vorverlagerung von technischen Produktänderungen vs. effiziente Abwicklung von technischen Produktänderungen
- **Organisation:** Organisation des Prozesses der Analyse und Bewertung, Genehmigung/Ablehnung und Durchführung technischer Produktänderungen
- **Hilfsmittel:** Hilfsmittel zur Unterstützung der Vermeidung und Vorverlagerung, effizienten Abwicklung, Analyse und Bewertung von technischen Produktänderungen

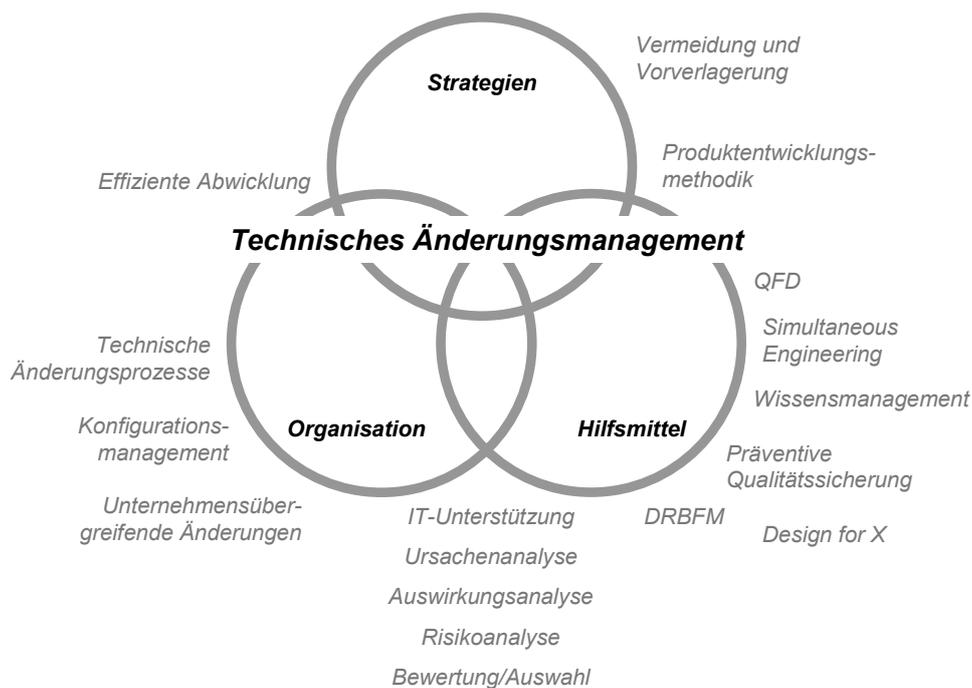


Abbildung 3.1: Elemente des technischen Änderungsmanagements

Diese drei Elemente bedingen sich jedoch gegenseitig und können somit, wie in Abbildung 3.1 dargestellt, nicht isoliert voneinander betrachtet werden. Deshalb wird es auch innerhalb dieses Kapitels zu Überschneidungen kommen. Die übergeordnete Struktur dieses Kapitels leitet sich aus den drei Kreisen der Abbildung 3.1 (Strategien, Organisation und Hilfsmittel) ab. Jedoch überschneidet sich das Kapitel 3.1 „Vermeidung und Vorverlagerung technischer Produktänderungen“ mit den Hilfsmitteln, so dass die der Vermeidung und Vorverlagerung

von technischen Produktänderungen dienenden Hilfsmittel in diesem Kapitel behandelt werden. Die im Zuge der effizienten Abwicklung benötigte Organisation im reaktiven Umgang mit technischen Produktänderungen wird in Kapitel 3.2 „Organisierte Abwicklung technischer Produktänderungen“ betrachtet. Die verbleibenden Hilfsmittel werden gesondert in Kapitel 3.3 „Hilfsmittel zur Analyse technischer Produktänderungen“ beschrieben. Abschließend wird auf Handlungsfelder geschlossen.

3.1 Vermeidung und Vorverlagerung technischer Produktänderungen

Generell wäre es wünschenswert, aufwendige technische Produktänderungen in laufenden Projekten zu vermeiden. Dies hätte eine nahezu vollständige Reduzierung der Änderungskosten zur Folge [PVCO03]. Dies bedeutet jedoch gleichzeitig, dass einerseits die in Kapitel 2.2 beschriebenen Ursachen technischer Produktänderungen, insbesondere Entwicklungsfehler, vermieden und andererseits zukünftige technische Produktänderungen antizipiert sowie bereits während der Entwicklungsphase in das Produkt integriert werden müssen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sollten technische Produktänderungen möglichst früh im Lebenszyklus durchgeführt werden. In Anlehnung an die sogenannte Zehnerregel (vgl. z.B. [VDI2247]) sind die Änderungskosten in den frühen Konzeptphasen am niedrigsten und gleichzeitig die Beeinflussbarkeit des Produktes am größten. Folglich kann in frühen Phasen ein möglichst hoher Nutzen ohne großen Änderungsaufwand erzielt werden [Wild06]. Jedoch sind in dieser frühen Phase ebenfalls die Erkenntnisse über die festzulegenden Produkteigenschaften am geringsten, weshalb Ehrlenspiel [Ehrl07] auch vom „Paradoxon der Konstruktion“ spricht (siehe Abbildung 3.2).

Dieses Unterkapitel stellt Ansätze zur Vermeidung fehlerbedingter, technischer Produktänderungen in der Entwicklungsphase vor. Diese machen zusammen mit den Fehlern der Planungsphase ca. 80% der Produktfehler aus [TöBG95]. Die Vermeidung technischer Produktänderungen kann prinzipiell als eine Vorverlagerung von technischen Produktänderungen an einen Zeitpunkt, zu dem noch keine Freigaben erfolgt sind, angesehen werden [Aßma98]. Zudem beinhaltet der präventive Umgang mit technischen Produktänderungen die Früherkennung absehbarer technischer Produktänderungen.

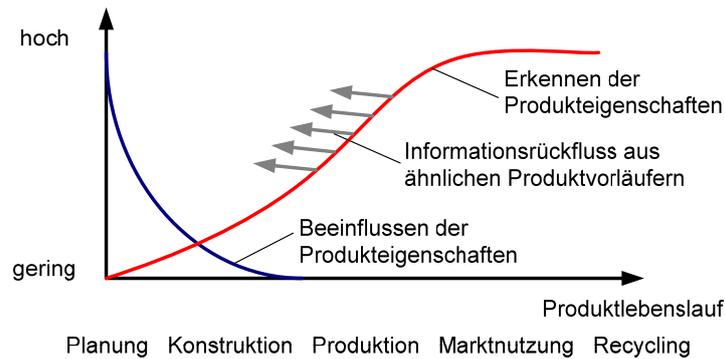


Abbildung 3.2: Paradoxon der Konstruktion [Ehrl07]

3.1.1 Vermeidung durch Produktentwicklungsmethodiken

Die Produktentwicklung¹⁵ ist eine bedeutende Phase des Produktlebenszyklus, welcher, wie in Abbildung 3.3 dargestellt, eine Folge von Phasen, ausgehend von einem Bedürfnis oder einer Idee für ein Produkt über dessen Entwicklung, Fertigung, Vertrieb, Nutzung etc. bis hin zur Entsorgung beschreibt [ISO15226, PaBe07].

Ausgangspunkt der Produktentwicklung ist, wie erwähnt, ein Bedürfnis auf Seite des Kunden oder des Herstellers [AnHe87]. Ihr Ziel ist es, aus den Markt- oder Kundenanforderungen, unter Berücksichtigung der gegebenen technischen, ökonomischen, ökologischen, sozialen, ethischen und rechtlichen Randbedingungen, erfolgversprechende Produkte mit einem möglichst hohen Nutzen für Hersteller und Kunden zu entwickeln und die Basis für die Herstellung dieser Produkte zu schaffen [Ever98, Schä05].

Da ein methodisches Vorgehen innerhalb der Produktentwicklung hilft, Fehler oder Unzulänglichkeiten, welche erst später im Produktlebenszyklus entdeckt werden würden, zu vermeiden, kann dieses als qualitätsbestimmend bezeichnet werden [ReLH96]. Somit helfen Produktentwicklungsmethodiken, durch ihre Handlungsanweisungen zur schrittweisen Erarbeitung der Herstellungs- und Nutzungsunterlagen eines Produktes [Ehrl07, PaBe07], fehlerinduzierte technische Produktänderungen zu vermeiden. Besonders die Phase der Aufklärung ist für die Vermeidung technischer Produktänderungen von großer Bedeutung, da hier die Anforderungsliste erstellt wird. Eine unvollständige Anforderungsliste führt unter Um-

¹⁵ Häufig wird sie auch als Entwicklung und Konstruktion oder auch nur als Konstruktion bezeichnet.

ständen zu nicht zufriedenstellenden Lösungen und somit zu Reklamationen und technischen Produktänderungen [Aßma98].

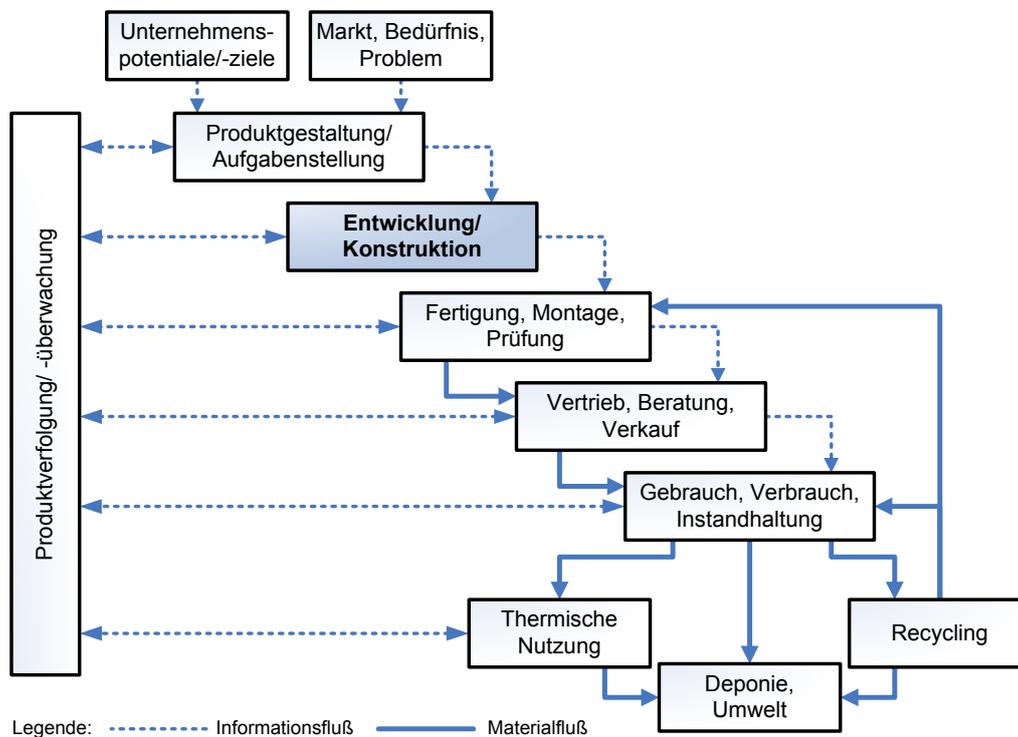


Abbildung 3.3: Einordnung der Entwicklung/Konstruktion in den Produktlebenszyklus [Ever98]

Die aktive Forschung an Produktentwicklungsmethodiken (häufig auch als Konstruktionsmethodiken bezeichnet) ist in Europa als Reaktion auf die Folgen des Zweiten Weltkriegs und in den USA als Reaktion auf die russische Sputnik-Mission ausgelöst worden [Cros92, Cros93]. Zuvor gab es bereits wesentliche Arbeiten von Redtenbacher, Reuleaux und Grashoff in der Mitte und dem Ende des 19. Jahrhunderts sowie beispielsweise von Matousek in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts [Ehrl07, Heym05]. Insbesondere Arbeiten aus dem deutschsprachigen Raum, Großbritannien und Russland haben die Produktentwicklungsmethodik in den letzten 50 Jahren maßgeblich geprägt. Stellvertretend für die Leistungen der deutschsprachigen Produktentwicklungsmethodiker seien hier die Arbeiten von Kesselring [Kess54], Hansen [Hans68], Rodenacker [Rode70], Hubka [Hubk73, Hubk76] und Eder [HuEd92], Koller [Koll76], Pahl und Beitz [PaBe77] sowie Roth [Roth82] genannt. In Großbritannien wurden wesentliche Impulse durch eine Serie produktentwicklungsmethodischer Konferenzen in den 1960er und 1970er (z.B. in London 1962 [JoTh63] und Birmingham 1965 [Greg66]) gesetzt [Cros92, Cros93]. Als Vertreter der britischen Schule seien beispielsweise Wallace [Wall52], Gosling [Gosl62, EdGo65], Archer [Arch64] und French [Fren71, Fren85] erwähnt [Steio5,

Deub07]. Die wohl bekannteste Arbeit zur Produktentwicklungsmethodik aus Russland ist die „Theorie des erfinderischen Problemlösens (TRIZ)“ von Altschuller [Alts73, Alts84]. Wesentliche Beiträge zur Entwicklung der Produktentwicklungsmethodik in den 1980er und 1990er haben die Tagungsreihe ‚International Conference on Engineering Design (ICED)‘ des Workshop-Design-Konstruktion (WDK)¹⁶, die ‚Design Theory and Methodology (DTM)‘-Tagungen der American Society of Mechanical Engineers (ASME, vgl. [Stau91]) und die Gesellschaft ‚Entwicklung, Konstruktion und Vertrieb (EKV)‘ des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) hervorgebracht [Cros92, Heym05]. Ein ausgiebiger Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Konstruktionswissenschaft ist in [Heym05] zu finden. Eine chronologische Übersicht der Meilensteine der Konstruktionswissenschaft bis 1998 gibt Pahl in [Pahl98].

Stellvertretend für die Vielzahl an Produktentwicklungsmethodiken wird im Folgenden kurz auf die VDI-Richtlinie 2221 und das Axiomatic Design nach Suh eingegangen, die in gewisser Hinsicht Gegenpole darstellen, aber beide sehr einflussreich sind. Eine umfangreiche Übersicht und ein Vergleich diverser Produktentwicklungsmethodiken finden sich in [Stein05]. Ein Überblick über neuere Ansätze der Produktentwicklung und Forschungsschwerpunkte namhafter Forschungsinstitutionen weltweit ist in [CIEc05] dargestellt.

VDI-Richtlinie 2221

Die VDI-Richtlinie 2221 kann als übergreifender Rahmen der deutschsprachigen Ansätze zur methodischen Produktentwicklung angesehen werden, da sie die maßgeblichen Gedanken der deutschen Ansätze in sich vereint [JäBi06]. In Abbildung 3.4 ist ein Vergleich der Abläufe nach Roth, Pahl/Beitz, der VDI-Richtlinie 2221, Koller und Rodenacker dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass allen Ansätzen das folgende Vorgehen gemein ist:

- Formulierung der Aufgabenstellung
- Aufstellen der Funktionsstruktur

¹⁶ Der Workshop-Design-Konstruktion ging 2000/2001 in der Design Society auf.

- Überführung der Funktionsstruktur in eine Wirkstruktur anhand geeigneter Wirkprinzipien
- Festlegen der geometrisch-stofflichen Gestalt
- Festlegen der Fertigungsrandbedingungen

Ablaufplan nach					
Konstr.-Phasen (Roth)	Roth	Pahl/Beitz	VDI - 2221	Koller	Rodenacker
	Aufgabe	Aufgabe	Aufgabe	Produktplanung	Aufgabe
Aufgabenformulierung	Formulieren Klären d. Aufgabenstellung Hauptaufgabe Anweisung, Anforderungsliste	Klären der Aufgabe Klären der Aufgabenstellung Anforderungsliste	Formulieren der Aufgabe 1 Klären und präzisieren der Aufgabenstellung	Marktanalyse Erarbeiten der Aufgabenstellung	Geforderter Wirkzusammenhang
Funktionelle	Funktion entwickeln Funktion ermitteln, Allgemeine, Logische Funktionsstruktur	Konzipieren Entwickeln der prinzipiellen Lösung Funktionen Wirkprinzipien Wirkstrukturen Prinzipielle Lösungen Varianten Technisch-wirtschaftliches Bewerten	Prinzip finden 2 Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen 3.1 Suche nach Lösungsprinzipien Effektebene	Funktionssynthese Zweck- o. Hauptfunktionen, Gliedern der Teil- und Grundfunktionsstrukturen, Technisch-wirtschaftliches Bewerten	Funktion Logischer Wirkzusammenhang Physikalisches Geschehen Physikalischer Wirkzusammenhang
Wirkprinzip	Prinziplösung entwickeln Funktion mit Effekten, Prinziplösungen entwickeln; Spezielle Funktion				
Wirkstruktur	Effektträger zur Prinzipskizze entwickeln Techn.-wirtschaftl. Bewert.		3.2 Suche nach Lösungsprinzipien Gestaltenebene	Qualitative Synthese	Wirkort Kinematischer Wirkzusammenhang Konstruktiver Wirkzusammenhang Fertigungstechnischer Wirkzusammenhang
Geometrisch-stoffliche Gestaltende	Gestalten Struktur und Formgestalten Strukturgestalt – Skizze Konturen und Querschnitte entwerfen Werkstoffe, Festigkeit, Montierbarkeit, Benennung Funktionsintegration Gesamtentwicklung Techn.-wirtschaftl. Bewert.	Entwerfen Baustuktur entwickeln Grobgestalten: Form, Werkstoff, Berechnen Feingestalten Techn.-wirtschaftl. Bewerten Baustuktur endgültig gestalten Schwachstellen, Störgrößen Kostendeckung, Stücklisten, Fertigungsanweisungen	Gestalten 4 Gliedern in realisierbare Module 5 Gestalten der maßgebenden Module 6 Gestalten des gesamten Produkts	Zuordnen und variieren von Effekten, Effektträger variieren, Prinzip darstellen, Auswählen der Lösungen für Gesamtkonzept, Gestalten, Entwerfen Quantitative Synthese	
Herstellungstechnische Gestaltende	Fertigungsgestalten Schwachstellenanalyse Fertigungs- montage - Transport-, recycling-gerecht usw. gestalten Endgültiger Entwurf, Detaillieren, Tolerieren Herstellungsunterlagen, Montage-, Betriebs-Prüfvorschriften	Ausarbeiten Ausführungs- und Nutzungsunterlagen, Fertigungsunterlagen Montage-, Transport, Betriebs-, Prüfvorschriften	7 Festlegen der Ausführungs- und Nutzungsangaben	Berechnen, Bemessen, Experimentelle Untersuchungen, Erprobung, Verbesserung, Detaillieren, Arbeitspläne erstellen Fertigungs-, Montageunterlagen	
Produktdokumente					

Abbildung 3.4: Gegenüberstellung der Konstruktionsabläufe nach [Roth00]

Der Prozess der Produktentwicklung wird durch die VDI-Richtlinie 2221 in vier Phasen eingeteilt, welche sich in sieben Arbeitsschritte aufspalten, denen jeweils ein bestimmtes Arbeitsergebnis zugeordnet wird [VDI2221]. Die Entwicklung der Lösungsprinzipien (Arbeitsschritte 1 bis 3) wird durch die VDI-Richtlinie 2222 – Blatt 1 [VDI2222-1] und der methodische Entwurf (Arbeitsschritte 4 bis 6) durch die VDI-Richtlinie 2223 [VDI2223] unterstützt. In der neueren VDI-Richtlinie 2206 [VDI2206] zur Entwicklung mechatronischer Systeme wird für die Entwicklung des mechanischen Systemteils auf die VDI-Richtlinie 2221 verwiesen.

Die VDI-Richtlinie 2221 stellt ein praktikables und schnell zu erlernendes Vorgehensmodell zum strukturierten Umgang mit konstruktiven Problemlösungsprozessen dar. Dabei liegen ihre Stärken in der Lösungssuche für funktionale Eigenschaften von Produkten. Prinzipiell lässt die VDI 2221 die Integration vielfältiger technischer und methodischer Hilfsmittel zu und ist nach eigener Aussage sowohl für Neu-, Anpassungs- und Variantenkonstruktionen geeignet. Nachteile der VDI-Richtlinie 2221 sind unter anderem darin zu sehen, dass sie sehr allgemein gehalten ist und somit auch wenig konkrete Hilfestellungen enthält. Außerdem fokussiert sie sehr stark die funktionale Sichtweise von Produkten, weshalb sie auch nur für die Entwicklung der funktionalen Eigenschaften eines Produktes geeignet erscheint. Somit können durch sie prinzipiell lediglich Änderungen an funktionalen Eigenschaften eines Produktes vermieden werden.

Axiomatic Design nach Suh

Das Axiomatic Design nach Suh [Suh90, Suh01, Suh05] stellt die Produktentwicklung, vereinfacht gesagt, als eine Art mathematische Gleichung dar, welche die Kundenwünsche in technische Eigenschaften unter Berücksichtigung von Randbedingungen überführt. Dieses Vorgehen ist abstrakter und somit theoretischer als der relativ praktikable Ablaufplan der VDI 2221.

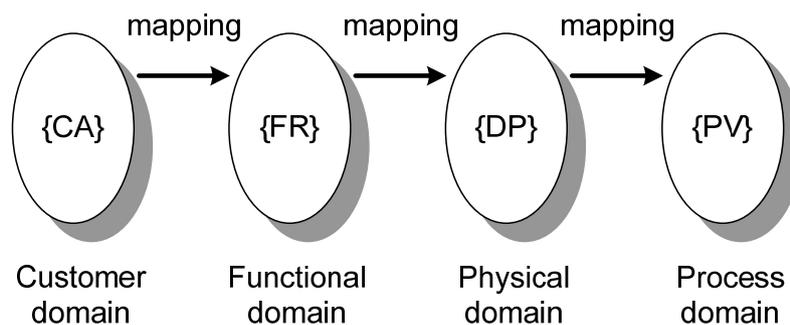


Abbildung 3.5: Four domains of the design world [Suh01]

Suh beschreibt den Entwicklungsprozess als ein Wechselspiel zwischen dem, *was* zu erreichen und dem, *wie* es zu erreichen gewollt ist [Suh90, Suh01, Suh05]. In Suhs Modell werden die Anforderungen an das Produkt („was“) durch die **Functional Requirements (FR)** und die Art der Produktgestaltung („wie“) durch die sogenannten **Design Parameters (DP)** repräsentiert. Die Design Parameters ergeben sich aus dem Verständnis der Functional Requirements

und stellen deren physische Ausgestaltung dar. Die Functional Requirements und Design Parameters können einander direkt zugeordnet werden, wodurch dargestellt werden kann, welcher Design Parameter welches Functional Requirement realisiert. Diesen Entwicklungsprozess nennt Suh „mapping“.

Das in Abbildung 3.5 dargestellte Mapping zwischen den vier Domänen des Axiomatic Design, lässt sich nach Suh in Form folgender Matrixgleichung schreiben, wobei $\{FR\}$ und $\{DP\}$ die Vektoren der Funktional Requirements beziehungsweise Design Parameters und $[A]$ die, das Produkt charakterisierende, in der Regel quadratische Design Matrix darstellen¹⁷:

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \Leftrightarrow \{DP\} = [A]^{-1}\{FR\}$$

Axiome sind unbeweisbare, in sich einsichtige und unbestreitbare Grundsätze [Bert96]. Das axiomatische Vorgehen unterscheidet sich nach Suh [Suh01] von einem algorithmischen Vorgehen, z.B. dem des Design for X (vergleiche Abschnitt 3.1.6), dadurch, dass verallgemeinerbare Prinzipien existieren, welche das Verhalten eines zu untersuchenden Objektes beschreiben. Suh extrahiert die beiden folgenden Prinzipien aus der Abstraktion von guten Entwicklungsentscheidungen und Entwicklungsprozessen [Suh90, Suh01, Suh05]:

- ***Axiom 1 – Das Unabhängigkeitsaxiom:***
Behalte die Unabhängigkeit der Functional Requirements bei.
- ***Axiom 2 – Das Informationsaxiom:***
Minimiere den Informationsgehalt der Konstruktion.

Nach Aussage der Fallstudien in [Suh01] trägt die strikte Einhaltung der beiden Axiome zur Verbesserung der Leistung, Robustheit, Verlässlichkeit und Funktionalität der betrachteten Produkte, Prozesse, Systeme, Softwarelösungen und Organisationen bei.

Das Informationsaxiom besagt, dass eine gute Konstruktion so einfach wie möglich ist. Somit hat sie sowohl eine minimale Anzahl an Design Parameters also auch eine minimale Komplexität. Ein Beispiel hierfür ist die I-Drive-Steuerung von BMW, in welcher eine Vielzahl von Bedienelementen integriert ist. Das Unabhängigkeitsaxiom sagt hingegen aus, dass im angestrebten Fall eine Veränderung eines beliebigen Functional Requirements auch genau eine

¹⁷ Umformung nur gültig, wenn $[A]$ quadratisch

Veränderung an dem einen zugeordneten Design Parameter mit sich bringt. Aus Sicht der auswirkungsarmen Durchführung von technischen Produktänderungen wäre dies der Idealzustand. Hinsichtlich der Unabhängigkeit unterscheidet Suh in [Suh90] drei Ebenen: losgekoppelte (uncoupled), gekoppelte (coupled) und abgekoppelte (decoupled) Konstruktionen (vergleiche Abbildung 3.6).

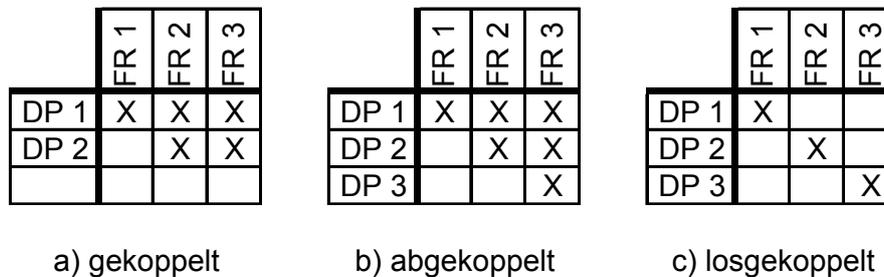


Abbildung 3.6: Gekoppelte, abgekoppelte und losgekoppelte Konstruktionen

Eine losgekoppelte Konstruktion erfüllt dabei das Unabhängigkeitsaxiom vollständig, wohingegen die gekoppelte Konstruktion dieses verletzt. Ist die Anzahl der Design Parameters kleiner als die Anzahl der Functional Requirements, so kommt es gemäß Suhs erstem Theorem entweder zu einer gekoppelten Konstruktion oder zu einer Nichterfüllung von Functional Requirements¹⁸. Somit kann eine gekoppelte Konstruktion durch eine Erhöhung der Anzahl der Design Parameter abgekoppelt werden (Abbildung 3.6 (b)).

Suhs Axiomatic Design stellt insbesondere durch die strikte Trennung zwischen den Functional Requirements und Design Parameters eine interessante Grundlage für die Produktentwicklung dar. Die beiden Axiome scheinen dem Autor lediglich als Leitfaden zur Optimierung von Systemen sinnvoll zu sein; während der Entwicklung von Produkten erscheinen diese als nur schwer einhaltbar und somit wenig hilfreich. Darüber hinaus scheint die simultane Einhaltung beider Axiome sich im Ansatz sogar zu widersprechen: Durch das Unabhängigkeitsaxiom wird eine Anzahl an Design Parameters gefordert, welche exakt der Zahl der Functional Requirements entspricht. Also legt diese Zahl auch bereits die minimale Anzahl an Design Parameters fest, welche das Informationsaxiom fordert. Hinsichtlich der Produktentwicklung sieht der Autor sogar die Gefahr, dass eine mit Gewalt erzwungene Einhaltung der Axiome zu

¹⁸ Im umgekehrten Fall (Anzahl der Design Parameter größer als Anzahl der Functional Requirements) spricht Suh entweder von einer redundanten Konstruktion (wenn mindestens ein Design Parameter keinem Functional Requirement zugeordnet ist) oder von einer gekoppelten Konstruktion.

Vereinfachungen in der Entwicklung führen muss und somit ein zusätzliches Fehlerpotential und daraus resultierende technische Produktänderungen mit sich bringt.

Der Ansatz des Characteristics-Properties Modelling/Property-Driven Development versucht die beiden vorgestellten Ansätze (VDI 2221 und Axiomatic Design) zu integrieren und gleichzeitig ein Fundament für die Rechnerintegration im Produktentwicklungsprozess zu bilden. Da dieser Ansatz für diese Arbeit zentral ist, wird auf ihn nicht an dieser Stelle eingegangen, sondern ausführlich in Kapitel 4.

Fazit

Die beiden exemplarisch vorgestellten Produktentwicklungsmethodiken geben bereits einen Hinweis auf die vielfältigen Möglichkeiten der Herangehensweise an die Entwicklung von Produkten. Wichtig für die Prävention von technischen Produktänderungen ist dabei ein systematisches Vorgehen, welches hilft Fehler zu vermeiden. Hier erscheint die VDI-Richtlinie 2221 dem Axiomatic Design überlegen. Für die später in diesem Abschnitt behandelte Analyse von technischen Produktänderungen erscheint jedoch ein Produktmodell, welches auf Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen beruht, als ein geeigneteres Hilfsmittel. Hier ist sicherlich, der umfassendere Ansatz des Axiomatic Design, ebenso wie der in Kapitel 4 vorgestellte Ansatz des Characteristics-Properties Modelling/Property-Driven Developments, im Vorteil.

3.1.2 Vermeidung durch Quality Function Deployment

Das Quality Function Deployment (QFD) wurde Ende der 1960er Jahre von dem Japaner Akao entwickelt und in verschiedenen japanischen Industrien eingesetzt [Akao92]. Die Methode ist in den 1990er Jahren nach Europa gekommen und dient dazu, den Entwickler bei der Festlegung der entscheidenden Produktmerkmale, der Auswahl der Produktionsmittel und Produktionsprozesse sowie der zugehörigen Kontrollverfahren zu unterstützen [ReLH96, VDI2247]. In der Praxis wird QFD jedoch in der Regel nur für die Bestimmung der Produktmerkmale eingesetzt [Bout99]. Akao definiert QFD als „die Planung und Entwicklung der Qualitätsfunktionen eines Produktes entsprechend der von den Kunden geforderten Qualitätseigenschaften“ [Akao92]. Dazu verfolgt QFD die drei Ziele [Bout99]:

- **Treffsicherheit:** möglichst genaue Ermittlung der Kundenbedürfnisse

- **Robustheit:** tolerantes Verhalten der Lösung gegenüber Marktänderungen und technischen Produktänderungen
- **Fehlerfreiheit:** möglichst frühzeitiges Ausmerzen von Fehlern.

Mit diesen drei Zielen unterstützt QFD den präventiven Umgang mit technischen Produktänderungen. Die genaue Ermittlung der Kundenbedürfnisse führt zu einer weitgehend vollständigen Anforderungsliste und vermeidet somit technische Produktänderungen infolge von Kundenreklamationen. Das tolerante Verhalten des Produktes gegenüber Markt- und technischen Produktänderungen reduziert die Anzahl der Änderungen in Folge einer der beschriebenen Änderungen. Die frühzeitige Behebung von Fehlern führt insgesamt dazu, dass viele der entwicklungsfehlerbedingten technischen Produktänderungen gar nicht erst auftreten.

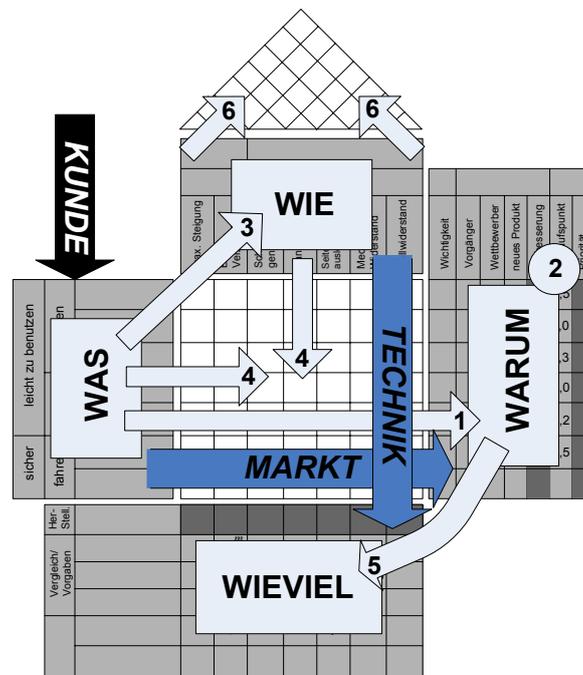


Abbildung 3.7: Prinzip des QFD und des House of Quality (angelehnt an [ReLH96, Saat01])

Bei der Anwendung von QFD wird das so genannte House of Quality (HoQ, siehe Abbildung 3.7) erstellt. Dazu werden im Wesentlichen die folgenden Schritte durchlaufen (angelehnt an [ReLH96, VDI2247, Saat01]):

- Strukturieren der Kundenanforderungen und Gewichten der Anforderungen aus Kundensicht (WAS → WARUM, (1) in Abbildung 3.7)

- Durchführen einer Wettbewerbsanalyse aus Kundensicht, d.h. Vergleich der geplanten Qualität des eigenen Produktes mit denen der Wettbewerber ((2) in Abbildung 3.7)
- Übersetzen der Kundenanforderungen in, am Gesamtprodukt kontrollierbare, technische Merkmale (WAS → WIE, (3) in Abbildung 3.7). Dieser Schritt ähnelt dem Vorgehen in Suh's Axiomatic Design (siehe Kapitel 3.1.1)¹⁹.
- Darstellen der Verknüpfungen zwischen den Kundenanforderungen und den daraus abgeleiteten technischen Merkmalen sowie Bewerten der Stärke der Abhängigkeit ((4) in Abbildung 3.7)
- Bestimmen der technischen Bedeutung der Qualitätsmerkmale als Skalarprodukt aus den priorisierten Kundenanforderungen sowie der spaltenweisen Abhängigkeit der Qualitätsmerkmale und Durchführen eines Wettbewerbsvergleichs (WARUM → WIEVIEL, (5) in Abbildung 3.7)
- Füllen der Korrelationsmatrix (Dach des HoQ) mit positiven und negativen Wechselwirkungen zur Verdeutlichung der Zielkonflikte ((6) in Abbildung 3.7)

QFD kann das im folgenden Kapitel beschriebene Simultaneous Engineering inhaltlich unterstützen [ReLH96]. Ferner kann QFD einen Beitrag als Anwendungswerkzeug in einer Produktentwicklungsmethodik leisten (z.B. zur Überführung der Kundenanforderungen). Cuber hat sogar, aufbauend auf der Philosophie des QFD und der Konstruktionsmethodik nach VDI 2221 beziehungsweise Pahl/Beitz, eine Qualitätsmanagementstrategie für den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess entwickelt [Cube96]. Bei entsprechender Detaillierung des QFD-Ergebnisses ist auch eine Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf die Kundenanforderungen denkbar.

3.1.3 Vermeidung durch Simultaneous Engineering

Das Simultaneous Engineering ist eine Strategie der Arbeitsorganisation, bei der alle den Produktlebenszyklus betreffenden Bereiche, möglichst von Beginn an, in einem straffen Projektmanagement parallel, in sich überlappenden Tätigkeiten, zusammenarbeiten und somit recht-

¹⁹ Eine Analogiebetrachtung zwischen QFD und Axiomatic Design kann [Shet02] entnommen werden.

zeitig ihr spezifisches Wissen einbringen, sowie kurze Innovationszyklen sicherstellen können [Ehr107, Linc95, Sche98, ScLü06]. Beim konsequenten Betreiben von Simultaneous Engineering werden auch wichtige Zulieferer, Systemlieferanten und Kunden von Beginn in den Entwicklungsprozess miteinbezogen [Linc95].

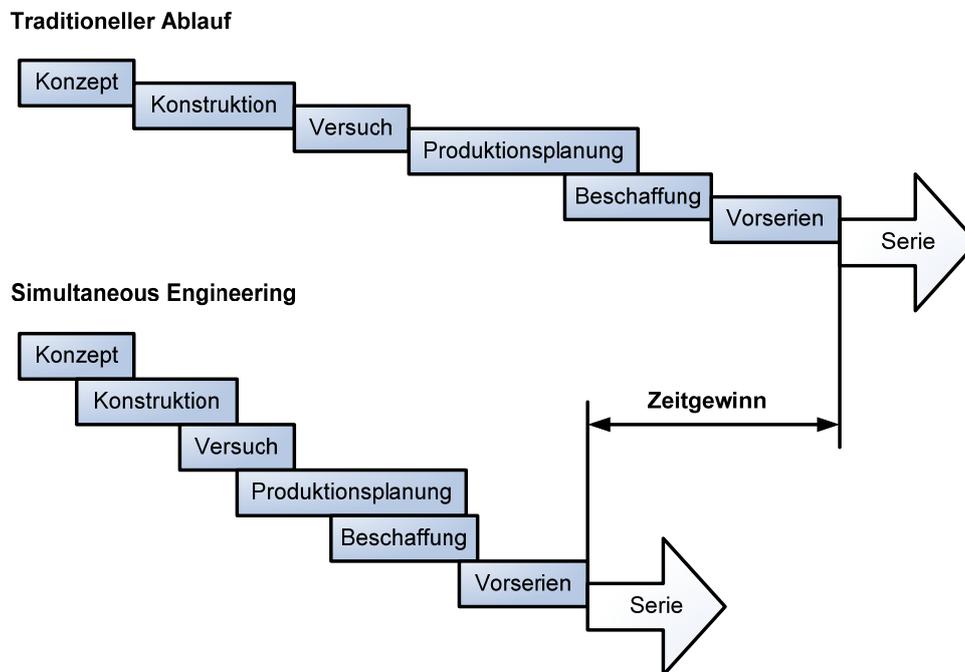


Abbildung 3.8: Zeitgewinn durch Simultaneous Engineering nach [Stie99]

Die generellen Ziele des Simultaneous Engineering sind die Zeiteinsparung bei der Produkterstellung (Verkürzung der „Time-to-market“, siehe Abbildung 3.8), die Kostenverringerung hinsichtlich der Produktgesamtkosten (insbesondere Entwicklungs- und Herstellkosten) und eine Verbesserung der Produktqualität hinsichtlich der Vorstellung der Kunden [Ehr107, ScLü06]. Ehrlenspiel nennt dazu folgende Erfahrungswerte [Ehr107]:

- Die Gesamtdurchlaufzeit ist um etwa 43% kürzer, wobei sich die Entwicklungszeit um etwa die Hälfte und die Durchlaufzeit in der Fertigung um 25% reduzieren lässt.
- Die Gesamtkosten sinken etwa um 20%, wobei die Entwicklungskosten wegen des höheren Aufwands steigen können. Dies wird aber durch die niedrigeren Herstellkosten (sinken um etwa 25%) kompensiert.
- Hinsichtlich der Produktqualität ist zu sagen, dass es durch Simultaneous Engineering weniger kundeninduzierte technische Produktänderungen gibt. Dies liegt daran, dass der Produktentwicklungsprozess durch das Simultaneous Engineering näher an den

Markteintritt gerückt ist und somit Kundenanforderungen besser prognostiziert werden können.

Trotz des verbesserten Informationsaustausches durch das Simultaneous Engineering kommt es auch weiterhin zu technischen Produktänderungen; der Vorteil ist jedoch, dass diese jetzt näher an die zu Beginn des Unterkapitels beschriebenen „kostengünstigen“ frühen Phasen heranrücken [Ehrl07]. Der Hauptgrund für das Auftreten technischer Produktänderungen trotz Simultaneous Engineering liegt in Planungsinkonsistenzen infolge der Weitergabe von vorläufigen Informationen, welche durch die Parallelisierung der Arbeit bedingt sind [ScLü06].

3.1.4 Vermeidung durch Wissensmanagement

Aus technischen Produktänderungen an Vorgängerprodukten kann gelernt, das gesammelte Wissen verarbeitet und somit ein essentieller Beitrag für die Definition von Nachfolgeprodukten gewonnen werden [Jani04]. Besonders die Ursachenanalyse von bereits durchgeführten technischen Produktänderungen ist bedeutsam für die dauerhafte Vermeidung von technischen Produktänderungen in neuen Entwicklungsprojekten [Aßma98]. Aus diesem Grund sollten Produktänderungsteams möglichst langfristig agieren, damit das erarbeitete Wissen möglichst effektiv zur Umsetzung technischer Produktänderungen genutzt werden kann [ScKr06]. Weiterhin liefert der Informationsrückfluss aus Produktion und Nutzung (z.B. aus dem Beschwerdemanagement) einen wichtigen Beitrag zur Anhebung des Erkenntnisniveaus in den frühen Phasen der Produktentwicklung [Ehrl07]. Dem Wissensmanagement kommt im Kontext der Vermeidung von Entwicklungsfehlern und somit von technischen Produktänderungen die Rolle der Verwaltung der gesammelten Erfahrungen zu.

Probst et al. beschreiben das Wissensmanagement als ein integriertes Interventionskonzept, das sich mit den Möglichkeiten zur Gestaltung der organisationalen Wissensbasis befasst [PrRR06]. Dabei werden unter Wissen „... die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen“ [PrRR06] und unter der organisationalen Wissensbasis „... die individuellen und kollektiven Wissensbestände [...], auf die eine Organisation zur Lösung ihrer Aufgaben zurückgreifen kann“ [PrRR06] verstanden. Somit kann gesagt werden, dass sich das Wissensmanagement mit der Verbesserung der organisatorischen Fähigkeiten durch einen besseren Umgang mit der Ressource Wissen befasst [LuTr05]. Probst et al. haben die acht, in Abbildung 3.9 dargestellten, Bausteine des Wis-

sensmanagements identifiziert. Dabei beschreiben die sechs inneren Bausteine die Kernprozesse des Wissensmanagements und die beiden äußeren ergänzen das Konzept zu einem Managementregelkreis.

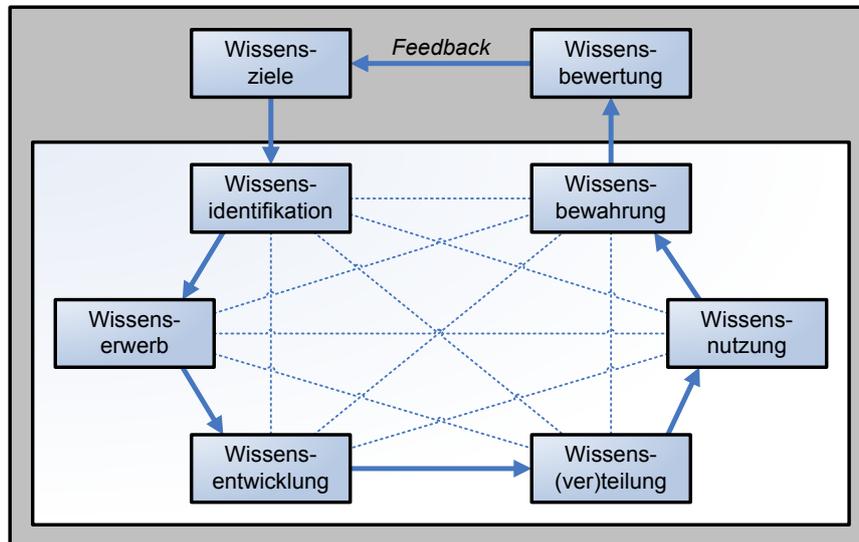


Abbildung 3.9: Bausteine des Wissensmanagements nach [PrRR06]

3.1.5 Vermeidung durch präventive Qualitätssicherung

Vom Grundgedanken her soll die präventive Qualitätssicherung das Auftreten von Fehlern verhindern und müsste somit den Ansätzen zur Vermeidung technischer Produktänderungen zugeordnet werden. Die meisten Ansätze des präventiven Qualitätsmanagements – ebenso die erweiterten Ansätze des Design for X (vgl. Kapitel 3.1.6) – entfalten ihre Wirkung für die Produktentwicklung erst in der Analyse der Produktentwicklungsergebnisse und verhindern somit die Weitergabe von Entwicklungsfehlern. Aus diesem Grund werden sie als Ansätze zur Früherkennung technischer Produktänderungen beschrieben.

Gemäß der ISO 9000 steht Qualität für den „Grad, indem ein Satz einer Einheit innewohnenden, kennzeichnenden Eigenschaften Erfordernisse beziehungsweise Erwartungen, welche festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder pflichtend sind, erfüllt“ [ISO9000]. Qualitätsmanagement beschreibt dabei „aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Leiten und Lenken einer Organisation bezüglich Qualität“ [ISO9000]. Die Qualitätssicherung ist der „Teil des Qualitätsmanagements, der auf das Erzeugen von Vertrauen darauf gerichtet ist, dass Qualitätsanforderungen erfüllt werden“ [ISO9000]. Somit kann unter präventiver Qualitätssiche-

rung der Teil des Qualitätsmanagements verstanden werden, welcher vorbeugend auf die Erfüllung von Qualitätsanforderungen hinwirkt.

Die bekannteste und am meisten verbreitete Methode der präventiven Qualitätssicherung ist die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse [KCWZ08, TöBG95, Zimm07]. Cuber ordnet diese den qualitätsbestimmenden Qualitätstechniken zu [Cube96]. Wildemann [Wild06] sieht in ihr auch mit Abstand die effektivste Methode der Prävention technischer Produktänderungen. Aus diesem Grund soll sie im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (im Englischen: Failure Mode and Effects Analysis - FMEA) wurde Ende der 1960er im Rahmen der Apollo-Missionen der NASA entwickelt und kam über den Automobilhersteller Ford nach Europa [TiMü03]. Sie ist eine formalisierte und analytische Methode mit dem Ziel der präventiven und systematischen Ermittlung von Fehlermöglichkeiten. Durch das Erkennen und Lokalisieren von Fehlern in Konzepten, Systemen, Konstruktionen oder Prozessen vor ihrem Auftreten wird es möglich, diese durch geeignete Maßnahmen zu verhindern. Somit werden Risiken²⁰, Lieferzeiten, Herstell- und Fehlerkosten reduziert, technische Produktänderungen frühzeitig erkannt, die Qualität und Zuverlässigkeit von Produkten gesteigert sowie die Gefahr von Schäden am Unternehmen durch Produkthaftung oder Imageverlust gemindert [Bere89, Frank89, Köhl05, PaSc03, ReDH05, TiMü03]. Darüber hinaus dient die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse als Dokumentation des Produktentwicklungs- bzw. Prozessplanungsstandes und der Erfüllung von Forderungen der ISO 9000-Normenreihe.

LKT			Konstruktions-FMEA						Seite: Abteilung: FMEA-Nummer: Datum:				
Nr.	Komponente Prozess	Funktion	Fehler- art	Fehler- folge	K	Fehler- ursache	Fehler- vermeidung	Fehler- entdeckung	B	A	E	RPZ	Maßnahmen V./T:
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)

Abbildung 3.10: FMEA-Formblatt

²⁰ Ein *Risiko* wird nach [EN1050] als „Funktion aus Schwere eines Schadens, Gefährdungsexposition, Auftretenswahrscheinlichkeit sowie Mangel an Ausweichungsmöglichkeiten“ definiert.

Die Analyse selbst lässt sich in die folgenden fünf Schritte aufteilen:

- Strukturierung (Spalten (1) und (2) in Abbildung 3.10),
- Funktionsanalyse (Spalte (3) in Abbildung 3.10),
- Fehleranalyse (Spalten (4) bis (7) in Abbildung 3.10),
- Risikobewertung (Spalten (8) bis (13) in Abbildung 3.10)
- Optimierung (Spalte (14) in Abbildung 3.10)

Zur Unterstützung der Durchführung der FMEA können weitere Qualitätstechniken, wie z.B. die Fehlerbaumanalyse oder das Ishikawa-Diagramm zum Einsatz kommen. Für eine kritische Betrachtung der FMEA sei auf [KöTC06] verwiesen.

3.1.6 Vermeidung durch Design Review based on Failure Modes

Das Design Review Based on Failure Modes (DRBFM), auch Mizenboushi genannt, wurde Ende der neunziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts vom japanischen Automobilhersteller Toyota entwickelt [Kapu06]. Die Methodik ist auf Basis der Annahme entwickelt worden, dass technische Änderungen das höchste Fehlerpotential enthalten [Scho06]. Die DRBFM-Methodik ist zugleich eine entwicklungsbegleitende Kreativitätsmethode und eine Philosophie zur diskursorientierten Design-Findung und Design-Evaluierung. [ScKa05b, Scho06]. Dabei achtet DRBFM darauf, dass infolge von beabsichtigten und unbeabsichtigten Produktänderungen das Qualitätsniveau erhalten bleibt [ScKa05b]. DRBFM stellt als Kombination aus FMEA und Konstruktionsprüfung einen systematischen und vorbeugenden Ansatz dar, welcher darauf abzielt, den Konstrukteur systematisch durch die Phasen des Änderungsprozesses zu führen, frühzeitig ein robustes Design zu erreichen und den Konstrukteur aktiv in den Qualitätsprozess einzubinden [ScKa05b]. Dabei soll erreicht werden, dass sich die Rolle des Ingenieurs vom „Problemlöser“ zum „Problemverhinderer“ wandelt [Scho06, ScKB06]. DRBFM fokussiert die Wiederverwendung bewährter Lösungen. Kritisch betrachtet stellt dies jedoch ein Innovationshemmnis dar.

Die Philosophie hinter DRBFM wird auch als GD³ (GD-Cube) bezeichnet. GD³ steht dabei für

- **Good Design:**

Good Design steht für hohe Zuverlässigkeit durch robustes Produktdesign, d.h. den Rückgriff auf bewährte Produktkomponenten. Dadurch soll sichergestellt werden, dass sich technische Produktänderungen auf das Wesentliche beschränken. In der Phase des Good Design wird nach versteckten Fehlern im Produkt, dem Produktentstehungsprozess und den internen und externen Schnittstellen gesucht. [ScKB06]

- **Good Discussion:**

Die Phase des Good Discussion wird auch als das wesentliche Element von DRBFM bezeichnet, weil es den Konstrukteur dem Kunden näher bringt [Scho06]. Außerdem werden hier zur Entscheidungsfindung neben der Konstruktion auch die Fertigung, der Einkauf, die Zulieferer und der Kunde involviert [ScKa05a]. Zusammen mit Good Dissection werden die Problemidentifikation und darauf aufbauend die Formulierung und Umsetzungen von Maßnahmen unterstützt [ScKB06].

- **Good Dissection:**

Good Dissection fußt auf der Methode des Design Review Based on Test Results (DRBTR), einem Test- und Evaluierungsverfahren bei technischen Produktänderungen [Scho06].

Ähnlich wie bei der FMEA wird DRBFM durch ein Formblatt strukturiert und dokumentiert. Trotz der geringen Verbreitung der Methode existieren bereits Computertools, die die Durchführung von DRBFM unterstützen. Auf Basis des DRBFM-Formblatts der am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD vorhanden Software IQ-RM 5 der Firma APIS Informationstechnologien GmbH lässt sich der in Abbildung 3.11 dargestellte Ablaufplan zu DRBFM erstellen.

Eine frühe Form solcher Design Reviews stellt sicherlich die Fehlerkritik nach Hansen [Hans68] dar. Diese läuft nach dem einfachen Schema „Suchen – Erkennen – Beurteilen – Bekämpfen“ [Hans68] ab und berücksichtigt verschiedene Erscheinungsformen von Fehlern (Funktion, Herstellung, Benutzer und Vertrieb).

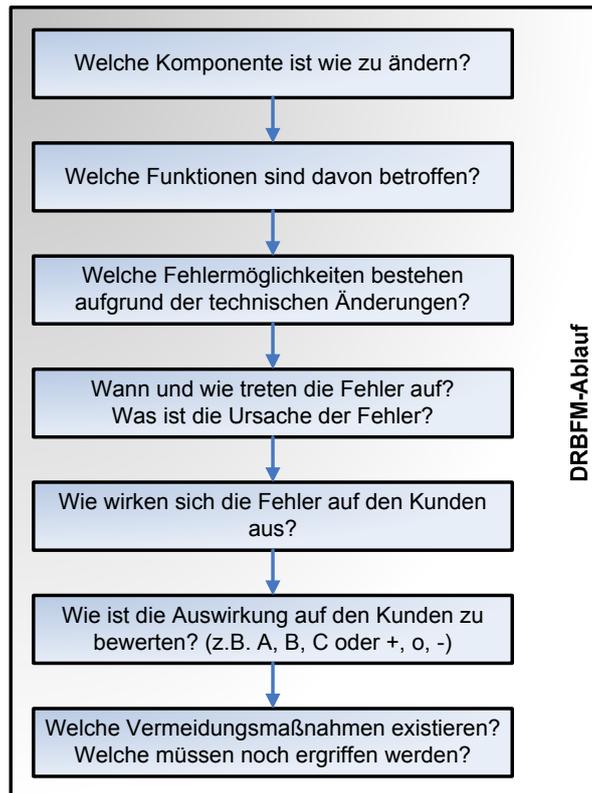


Abbildung 3.11: DRBFM-Ablauf

3.1.7 Vorverlagerung durch Ansätze aus dem Bereich des Design for X

Neben der Produktentwicklungsmethodik liefert auch das Design for X Ansätze, welche zur Vermeidung von Fehlern in der Produktentwicklung beitragen können. Diese Ansätze unterstützen den Produktentwickler im jeweiligen Spezialfall bei der Einhaltung der Grundregeln der Gestaltung „eindeutig, einfach und sicher“ [PaBe07]. Neben allgemeinen Empfehlungen zur fertigungs- und montagegerechten Produktgestaltung (Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)), welchen Wildemann [Wild06] ein hohes Potential der Prävention technischer Produktänderungen attestiert, gibt es auch Gestaltungsrichtlinien für eine Vielzahl von Sonderfällen, wie z.B. Ausdehnungs-, Kriech-, Korrosions-, Ergonomie-, Kontroll-, Transport-, Recycling-, Risiko-, ...-gerechtigkeit²¹. All diese Gestaltungsrichtlinien stellen eine Sammlung von Erfahrungen, Versuchsergebnissen, Gesetzen, Normen etc. dar und sind somit eine Art allgemeiner Wissensspeicher der Produktentwicklung.

²¹ Eine ausführliche Beschreibung der genannten Gestaltungsrichtlinien kann [PaBe07] entnommen werden.

Im Folgenden wird auf spezielle Ansätze des Design for X eingegangen, welche explizit auf die Früherkennung zukünftiger, technischer Produktänderungen abzielen. Dies sind die Ansätze des Design for Variety, Design for Flexibility und Design for Changeability.

Design for Variety (DfV)

Der Ansatz des Design for Variety nach Martin und Ishii [MaIs02] zielt primär auf die Entwicklung standardisierter und modularisierter Produktplattformarchitekturen ab. Standardisierte und modularisierte Produktplattformen müssen den Anforderungen vieler Kunden genügen und mit einem minimalen Entwicklungs- beziehungsweise Gestaltungsaufwand anzupassen sein. Design for Variety unterstützt die Ausgestaltung der Produktplattformarchitekturen durch eine Systematik, welche versucht, die Auswirkungen von Marktänderungen auf ein Produkt auf ein Minimum zu reduzieren. Aus diesem Grund ist es erforderlich, potentielle, zukünftige, technische Produktänderungen frühzeitig zu erkennen, die Auswirkungen zu analysieren und die Produktplattformarchitektur dagegen zu immunisieren. Um dies zu bewerkstelligen, führen Martin und Ishii den Generational Variety Index (GVI) als Maß für die Wahrscheinlichkeit der Änderung von Komponenten über der Zeit und den Coupling Index (CI) als Maß für die Stärke der Kopplung von Produktkomponenten ein²². Um den GVI zu bestimmen, wird eine abgewandelte Form des QFD verwendet, worin primär die Veränderungen im Markt betrachtet und die Bedeutung derer für die Produktkomponenten bestimmt werden. Voraussetzung der Bestimmung des CI ist die Analyse der Flussgrößen im vorhandenen physischen Produkt. Der Design for Variety Ansatz führt beide Indizes zusammen und erlaubt so eine Entscheidung darüber, welche Komponenten standardisiert und modularisiert werden sollten.

Das Design for Variety eignet sich als präventives Analysewerkzeug, um kritische, d.h. änderungsanfällige Komponenten in Abhängigkeit des angenommenen Marktverhaltens zu entdecken und diese entsprechend umzugestalten. Aufgrund des angenommenen Basismodells zeigt Design for Variety jedoch nur änderungsanfällige Komponenten.

²² Analog zum Axiomatic Design, sind Produktplattformarchitekturen mit einer geringen Kopplung einfacher anzupassen.

Design for Flexibility

In Arbeiten zum Design for Flexibility (vgl. [BiBl07, PVCO03]) wird Flexibilität als ein Grad der Empfindlichkeit oder Anpassbarkeit an zukünftige Änderungen im Produktdesign verstanden. Bischoff schlägt dazu an klassische „gut/schlecht“-Bilder angelehnte Gestaltungsrichtlinien vor [BiBl07], Palani Rajan et al. [PVCO03] präsentieren eine Methode, welche die Flexibilität eines Produktes, im Sinne der Resistenz eines Produktes oder einer Komponente gegenüber zukünftigen, äußeren Veränderungen, messbar machen soll. Diese sogenannte Change Mode and Effects Analysis (CMEA) bedient sich dabei der bekannten FMEA-Methodik. Der Ablauf der CMEA gliedert sich grob wie folgt [PVCO03]:

- Dekomposition des Produktes in Module, Komponenten oder Funktionen.
- Beschreibung der potentiell möglichen Änderungen auf der Dekompositionsebene.
- Beschreibung der möglichen Ursachen für die Änderungen.
- Beschreibung der möglichen Auswirkungen der Änderungen.
- Bewertung der „Flexibility“ hinsichtlich der konstruktiven Flexibilität, der Auftretenswahrscheinlichkeit und der Unternehmensbereitschaft. Die Unternehmensbereitschaft ist eine Bewertung auf Basis der Flexibilität der Fertigung, der Zulieferkette und der Organisation sowie den finanziellen Möglichkeiten.
- Berechnung der „Change Potential Number“ als gewichtete Summe der Bewertungsfaktoren.

Die Idee, eine Bewertungsmethode für technische Produktänderungen auf Basis der Bewertung der FMEA-Methodik zu gestalten, erscheint vielversprechend. Die CMEA jedoch kombiniert den bewährten Analyseablauf mit fragwürdigen Elementen. So erscheint die Identifikation der potentiell möglichen Änderungen etwas spekulativ, da hier außer durch Kreativitätsmethoden keine Unterstützung erfolgt. Ebenso basiert die Analyse der möglichen Auswirkungen der Änderungen gemäß Aussage der Entwickler [PVCO03] auch nur auf Brainstorming oder ähnlichen Methoden. Ein Rückgriff auf vorhandene Produktmodelle ist nicht vorgesehen. Außerdem erscheint die Bestimmung der Bewertungsindizes sehr schwammig und nur schwer greifbar, was sich sicherlich negativ auf die Anwendbarkeit der Methode auswirkt.

Design for Changeability

Einen interessanten Beitrag zum Design for Changeability liefern Fricke und Schulz in [FrSc05] beziehungsweise Fricke in [Fric06]. Changeability beschreibt dabei den „Grad der Einfachheit, mit der ein Projekt, Programm oder Produkt hinsichtlich mehr oder weniger vorhersagbaren Änderungen [*Anm. des Autors: geänderte Anforderungen des Kunden oder des Marktes*] geändert werden kann“ [Fric06]. Fricke und Schulz [FrSc05] gehen davon aus, dass sich die Changeability eines Systems durch die Faktoren Wandlungsfähigkeit, Agilität, Robustheit und Anpassbarkeit²³ beschreiben lässt. Das Ziel des Ansatzes von Fricke und Schulz ist es, Systemarchitekturen so lange wie möglich veränderbar zu halten, um so möglichst spät im Entwicklungsprozess einfach und schnell auf veränderte Märkte oder neue Kundenbedürfnisse reagieren zu können²⁴. Die Fähigkeit, Entscheidungen über das finale Design so spät wie möglich treffen zu können, spiegelt im Übrigen einen der Erfolgsfaktoren von Toyota wider [WLCS95]. Dies stellt außerdem eine Ergänzung zum Prinzip des Robust Design²⁵ nach Clausing [Clau98] dar.

Der Ansatz von Fricke und Schulz steht somit im Widerspruch zu den anderen Ansätzen. Hier sollen Änderungen am Produkt erst so spät wie möglich erfolgen, um mit dem technischen Fortschritt mithalten zu können (z.B. durch Integration neuer Technologien). Ähnlich dem Simultaneous Engineering wird beim Design for Changeability zu Beginn ein Mehraufwand erforderlich, welcher jedoch zu Einsparungen in den folgenden Phasen führt [Fric06].

Die Prinzipien und ihre Beziehung zu den Aspekten der Changeability sind in Abbildung 3.12 dargestellt. Die Prinzipien des Design for Changeability greifen auf Elemente aus TRIZ, des Axiomatic Design und die Design Structure Matrix zurück.

Design for Changeability stellt einen sehr umfassenden Ansatz zur Verlagerung von technischen Produktänderungen möglichst an das Ende des Entwicklungsprozesses dar. Dadurch bricht der Ansatz mit bestehenden Paradigmen. Es werden entsprechende Prinzipien postuliert, welche den Ansatz unterstützen sollen, allerdings auch Zielkonflikte mit sich bringen.

²³ Im Englischen Original: flexibility, agility, robustness, adaptability

²⁴ Ein ähnliches Ziel verfolgen Schuh et al. mit dem Fokus auf veränderlichen Produktionssystemen in einer produktorientierten Produktion [ScHG05].

²⁵ Clausing beschreibt Robust Design als robuste Funktionalität, d.h. dass eine Konstruktion bei einer Menge wahrscheinlicher Einsatzbedingungen sicher funktioniert. [Clau98]

Nach Aussage der Autoren fehlen dem Ansatz jedoch noch die praktische Implementierung und eine Möglichkeit zur Messung der Changeability. Nichtsdestotrotz stellt der Ansatz einen interessanten Wechsel in der Philosophie zum präventiven Umgang mit technischen Produktänderungen dar.

		Aspects of Changeability																			
		Flexibility	Agility	Robustness	Adaptability																
Principles	Basic	B1	Ideality/Simplicity	X	X	X	X														
		B2	Independence	X	X	X	X	-													
		B3	Modularity/Encapsulation	X	X	X	X		+												
	Extending	E1	Integrability	X			X														
		E2	Autonomy	X			X		+												
		E3	Scalability	X	X		X				+										
		E4	Non-Hierarchical Integration		X		X		+	-	+	+									
		E5	Decentralization		X		X				-	+									
		E6	Redundancy	X		X			-		+	+									
	Principle-Aspect Interrelation						B1	B2	B3	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Principle-Principle Interrelation					

+ useful interrelation
- harmful interrelation

Abbildung 3.12: Aspect-Principle-Correlation Matrix (nach [FrSC05])

3.1.8 Zwischenfazit

Dieser Abschnitt zeigt eine Auswahl von Ansätzen zum präventiven Umgang mit technischen Produktänderungen, welche dazu dienen, Entwicklungsfehler und somit technische Produktänderungen zu vermeiden beziehungsweise diese so frühzeitig zu erkennen, dass sie mit minimalem Zeit- und Kostenaufwand behoben werden können. Zudem bieten die Ansätze des Design for Variety, Flexibility and Changeability interessante Ansätze bezüglich der Analyse und Bewertung technischer Produktänderungen (vgl. Kapitel 3.3).

Die Untersuchungen von Conrat Niemerg [Conr97] kamen zu dem Ergebnis, dass ca. 40% der fehlerbedingten technischen Änderungen (entsprechen etwa 21% aller technischen Änderungen) vermeidbar sind. Diese Zahlen wurden durch den Änderungsmanagementreport 2005 der TU München [DKJR05] bestätigt (vgl. Abbildung 3.13). Hinsichtlich der Fehlerfrüherkennung besagt eine Studie der TU Berlin über Entwicklungsmakel²⁶ an Produkten der deutschen Fertigungsindustrie [GrGB05], dass nur 4,6% aller Entwicklungsmakel in der Entwicklungs-

²⁶ Im Englischen „Design Flaw“

phase entdeckt werden können; der überwiegende Anteil wird von den Kunden (36,4%) sowie von Fertigung und Montage (25,4%) gefunden. Während der Testphase werden lediglich 19,7% der Entwicklungsmakel erkannt. Zusammengefasst bedeutet dies, dass zwar ca. 20% der technischen Produktänderungen prinzipiell vermeidbar sind, jedoch dem Anschein nach Defizite im Bereich der Entdeckung von Fehlern bestehen. Somit besteht Bedarf hinsichtlich der generellen Vermeidung von Entwicklungs- aber auch Änderungsfehlern, so dass die absolute Anzahl technischer Produktänderungen möglichst klein wird.

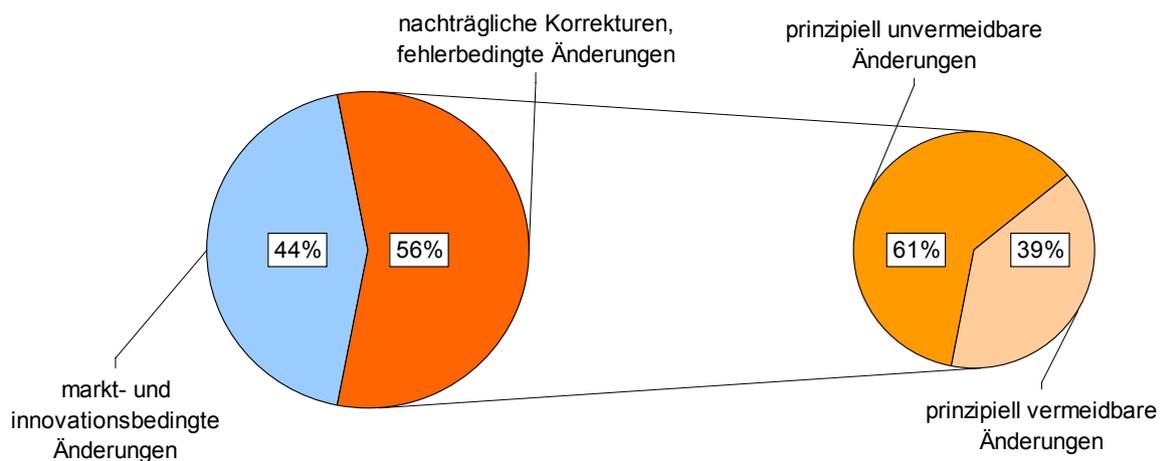


Abbildung 3.13: Verteilung und Vermeidbarkeit technischer Änderungen [DKJR05]

Diese Zahlen zeigen auch, dass der überwiegende Anteil technischer Produktänderungen trotz der vorgestellten Ansätze nicht vermieden werden kann (ca. 80% vgl. [Conr97, DKJR05]) und Entwicklungsfehler häufig erst sehr spät entdeckt werden (vgl. [GrGB05, Bill98]). Zudem werden viele technische Produktänderungen erst nachträglich durch Marketing/Vertrieb ausgelöst (vgl. [Bill98]). Aus diesem Grund erscheint es – bei aller Bedeutung der Prävention – im Kontext technischer Produktänderungen noch wichtiger, sich mit dem Thema der Handhabung und der Analyse technischer Produktänderungen zu beschäftigen.

3.2 Organisierte Abwicklung technischer Produktänderungen

Nicht alle technischen Änderungen sind vermeidbar [Pfli87] oder vorhersehbar. Insbesondere der gestiegene Zeitdruck und Einsparungen in der Entwicklung und Konstruktion führen trotz Prävention zu Fehlern, welche spätere Produktänderungen oftmals unvermeidbar machen [Ehr107, SKNH06] (siehe Abbildung 3.14). Auch im Sinne der kontinuierlichen Verbesserung

sind technische Änderungen notwendig [ScLü06], denn jeder entdeckte Fehler bietet die Chance, sich zu verbessern [Imai01]. Außerdem wäre eine Produktentwicklung ohne technische Produktänderungen eine Produktentwicklung ohne Innovationen²⁷. Deshalb können technische Produktänderungen auch als natürliche und somit unausweichliche Bestandteile der Produktentwicklung angesehen werden, welche zu kontinuierlichen Produktverbesserungen führen [ScLü06].

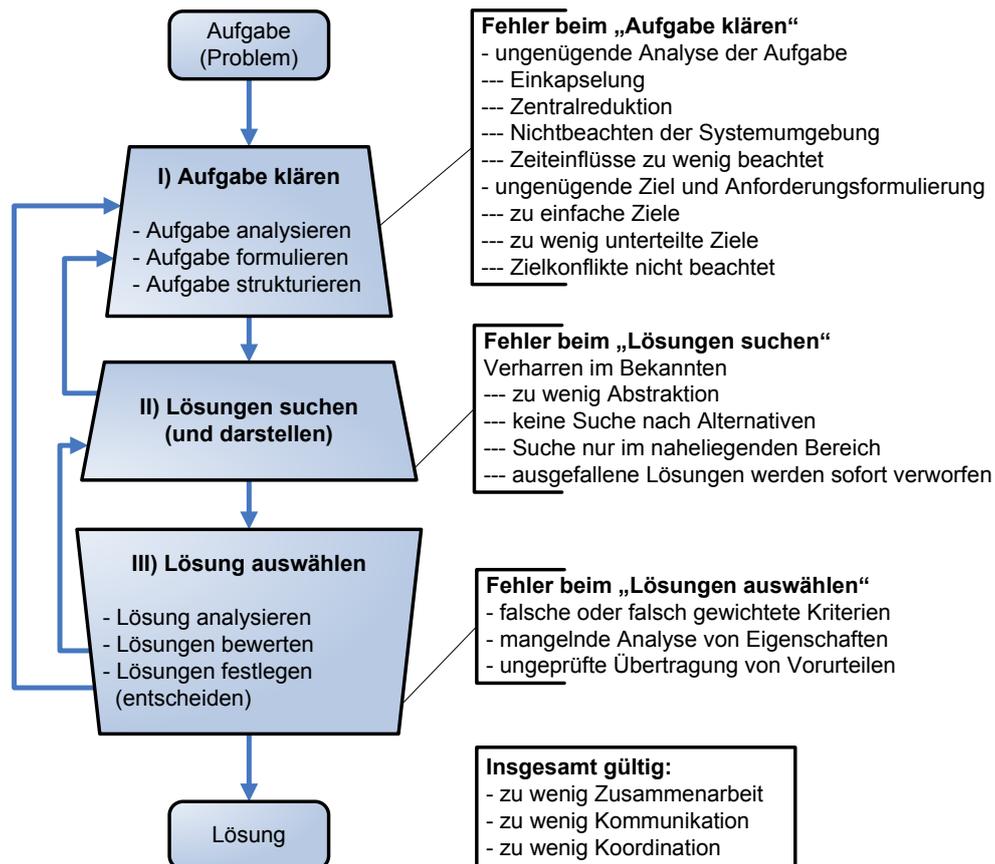


Abbildung 3.14: Fehlermöglichkeiten in der Produktentwicklung [Ehr107]

Die Notwendigkeit, aufgetretene technische Produktänderungen organisiert zu handhaben, ergibt sich bereits aus der Vielzahl der Bereiche, welche von einer technischen Produktänderung betroffen sind. Beispielsweise muss die Konstruktion die technische Machbarkeit überprüfen oder der Einkauf die Beschaffungsmöglichkeiten von Werkzeug und Zukaufteilen analysieren. In Fertigung, Montage und Qualitätssicherung müssen Arbeitsanweisungen angepasst und Erstmuster produziert beziehungsweise abgenommen werden. Das Controlling be-

²⁷ An dieser Stelle sei daraufhingewiesen, dass eine technische Änderung immer eine Veränderung an einer freigegebenen Bezugsconfiguration darstellt. Somit sind lediglich nachfolgende Innovationen eingeschränkt.

stimmt die Kosten der technischen Produktänderungen und prüft zusammen mit dem Vertrieb die Auswirkungen auf den Absatzpreis des Produktes.

Die Folgen eines unstrukturierten Vorgehens sind nach Abramovici et al. [AbVB06] außerdem:

- lange Durchlaufzeiten bei der Bearbeitung von Änderungsanträgen
- fehlende Prozesstransparenz
- hohe Kosten und hoher Aufwand bei der Änderungsbearbeitung
- keine Dokumentation beziehungsweise Nachvollziehbarkeit von Prozessschritten und Entscheidungen
- keine Integrationsmöglichkeit der Änderungsdaten in Life-Cycle-Systeme (ERP/PDM)

3.2.1 Anforderungen an eine organisierte Abwicklung technischer Produktänderungen

Gemäß der DIN 6789 – Teil 3 existieren sowohl gegenüber den Herstellern als auch den Lieferanten von Produkten außerbetriebliche, beispielsweise gesetzgeberische oder normative, Anforderungen an die technische Dokumentation der Produkte. Daraus lassen sich bestimmte Anforderungen an das technische Änderungsmanagement ableiten, welche in den Normen DIN EN ISO 9001 und 9004 näher spezifiziert sind [DIN6789-3]. Die DIN EN ISO 9001 [ISO9001] und 9004 [ISO9004] sind Teile der sogenannten ISO 9000 – Normenreihe, welche das Qualitätsmanagement und insbesondere Qualitätsmanagementsysteme normiert. Die Einführung eines Qualitätsmanagementsystems dient der Steigerung der Kundenzufriedenheit durch die Erfüllung der Kundenanforderungen, der ständigen Verbesserung der Prozesse des Unternehmens und der Erfüllung zutreffender behördlicher Anforderungen [ISO9001]. Somit kommt den Qualitätsnormen eine ambivalente Rolle zu: einerseits geben sie Anforderungen für den Umgang mit technischen Produktänderungen vor und andererseits lösen sie durch die Forderung nach ständiger Verbesserung selbst technische Produktänderungen aus.

Folgende Anforderungen lassen sich aus den Qualitätsnormen ableiten:

- Kenntnis, Darstellung, Dokumentation und ständige Verbesserung aller betrieblichen Prozesse, somit auch des technischen Änderungsprozesses [ISO9001]
- Dokumentierte Verfahren zur Lenkung von Entwicklungsänderungen (im Weiteren ebenfalls als technische Produktänderungen bezeichnet) mit den Schritten Kenn- und Aufzeichnung, Bewertung, Verifizierung und Validierung sowie Genehmigung [ISO9001]
- Bestimmung der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf alle Strukturstufen des betrachteten Produktes, andere Produkte und bereits gelieferte Erzeugnisse [DIN6789-3, ISO9001]
- Aufzeichnung, Lenkung und Archivierung der getroffenen Maßnahmen bei technischen Produktänderungen [ISO9001]
- Durchführung einer Risikobewertung und Festlegung von präventiven Maßnahmen zur Minderung erkannter Risiken (z.B. durch eine FMEA) [ISO9004]
- Vollständigkeit der Analyse technischer Produktänderungen [ISO9004]
- Ursachenanalyse von Fehlern und Behebung von Fehlern im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung [ISO9001]²⁸

Neben den beschriebenen normativen Forderungen gibt es auch Anforderungen, welche sich aus der Produkthaftung (z.B. EG-Richtlinie 1999/34/EG [199934EG]) ergeben. So müssen Konstruktionsstände und Änderungsvorgänge mindestens 10 Jahre nach dem Inverkehrbringen des Erzeugnisses noch rückzuverfolgen sein.

Mit Hinblick auf interne Anforderungen fordert die DIN 6789 – Teil 3 [DIN6789-3] eine zügige, kostengünstige und fehlerfreie Durchführung von technischen Produktänderungen, da angeschlossene Unternehmensbereiche auf aktuelle und richtige Informationen angewiesen sind. Reichwald et al. stellen zusätzlich folgende (eher interne) Anforderungen an technische Änderungsprozesse auf [ReLZ98]:

- Frühzeitige Erkennung des Änderungsbedarfs

²⁸ Dies fordert auch Pflicht [Pfli97]

- Notwendigkeit der Planung und Auswirkungserfassung einer Änderung aufgrund vielfältiger Produkt-Prozess-Abhängigkeiten
- Sicherstellen eines geregelten Informationsflusses zwischen den von einer Änderung betroffenen Bereichen
- Umfassende Kostenerfassung und Wirtschaftlichkeitsbewertung sowie Durchführungsentcheidung
- Vermeidung sequentieller Abläufe durch Parallelisierung
- Schaffung von Prozesstransparenz
- Zukünftige Fehlervermeidung durch Lernen aus Änderungen.

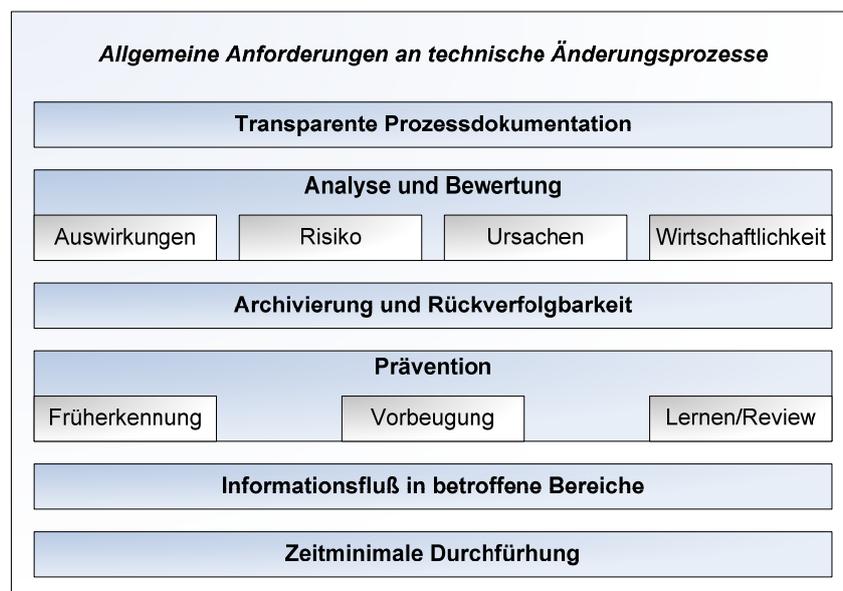


Abbildung 3.15: Allgemeine Anforderungen an technische Änderungsprozesse

Zusammengefasst sind die identifizierten Anforderungen an technische Änderungsprozesse in Abbildung 3.15 dargestellt. Es lässt sich insbesondere feststellen, dass es für den Lieferanten beziehungsweise Hersteller eines Erzeugnisses von hoher Bedeutung ist, einen geordneten technischen Änderungsprozess einzuführen, aufrechtzuerhalten und ständig zu verbessern. Dieser Prozess muss entsprechend dokumentiert sein. Im Sinne der Bewertung von technischen Produktänderungen sind insbesondere die Analyse der Auswirkungen (inkl. der Wirtschaftlichkeit der Änderung) und die Beurteilung von Änderungsrisiken von besonderer Wichtigkeit. Ebenfalls sind die Komponenten Information und Zeit nicht zu vernachlässigen,

da sowohl infolge mangelnder Information als auch bei zu hoher Durchlaufzeit wirtschaftliche Nachteile drohen.

3.2.2 Technischer Änderungsprozess gemäß DIN 199 – Teil 4

Der technische Änderungsprozess umfasst alle Tätigkeiten der Änderungsdurchführung. Ein Prozessablaufschema, welches sich sehr häufig im deutschsprachigen Raum findet, ist das Änderungsablaufschema der DIN 199 – Teil 4 [DIN199-4] aus dem Jahr 1981 (siehe Abbildung 3.16). Dieses Ablaufschema gibt die Reihenfolge der Abarbeitung von Änderungsmaßnahmen²⁹ vor und verbindet diese mit den erforderlichen Unterlagen oder Dokumenten. Somit lässt sich sagen, dass das Ablaufschema der DIN 199 – Teil 4 ein Vorgehen zur dokumentengestützten Abwicklung von Änderungsantrag und -auftrag beschreibt. Das Ablaufschema der DIN 199 – Teil 4 kann als generelles Basisschema angesehen werden, da sich Änderungsabläufe in Betrieben aufgrund betrieblicher Besonderheiten nur schwer normen lassen [Pfli87].

Das Basisschema für einen Änderungsablauf findet sich, wie bereits erwähnt, in der Literatur recht häufig wieder und hat auch in der Praxis als organisatorisches Basisschema mehr oder weniger Verbreitung gefunden [Klee99]. Von einigen Autoren wurde das Schema weiterentwickelt und verfeinert. Beispielsweise integrierte Saynisch [Sayn84] die Möglichkeit der Abänderung eines abgelehnten Änderungsantrages und Pflicht [Pfli87] die Möglichkeit der Stellungnahmen durch Fachstellen. Conrat Niemerg [Conr97] stellt beispielhaft einen der DIN 199 – Teil 4 ähnelnden technischen Änderungsprozess auf, der außerdem die Teilprozesse in den einzelnen Fachabteilungen berücksichtigt.

Der von der DIN 199 – Teil 4 vorgeschlagene Änderungsablauf ist zu eng gefasst, da nur wenig Raum für kreative Ideen besteht, der Änderungsablauf bürokratisiert und das vorgeschlagene Änderungsmanagement identisch zu den Bearbeitungsschritten des Änderungsantrages ist [ABCo98]. Außerdem wird bemängelt, dass die DIN 199 – Teil 4 keinen Prozess der Lösungssuche, Bewertung und Auswahl, im Sinne der Beurteilung von Kosten und Dauer einer Änderung, vorsieht [ABCo98]. Das klassische Änderungswesen, wie es in der Norm vorgestellt wird, ähnelt eher einem Schema zur Änderungsdocumentation, welches sicherstellt, dass

²⁹ Änderungsmaßnahmen im Sinne der DIN 199 – Teil 4 entsprechen weitgehend Prozessschritten

die technischen Produktänderungen in den Dokumentationsunterlagen vermerkt sind [Jani06].
 Verglichen mit den vorab identifizierten Anforderungen fehlt diesem Änderungsablaufschemata darüber hinaus eine Problem- beziehungsweise Ursachenanalyse, eine eingehende Analyse der Risiken und Auswirkungen technischer Produktänderungen sowie eine Kontrolle der Änderungsumsetzung und der Bewertung des Änderungserfolges.

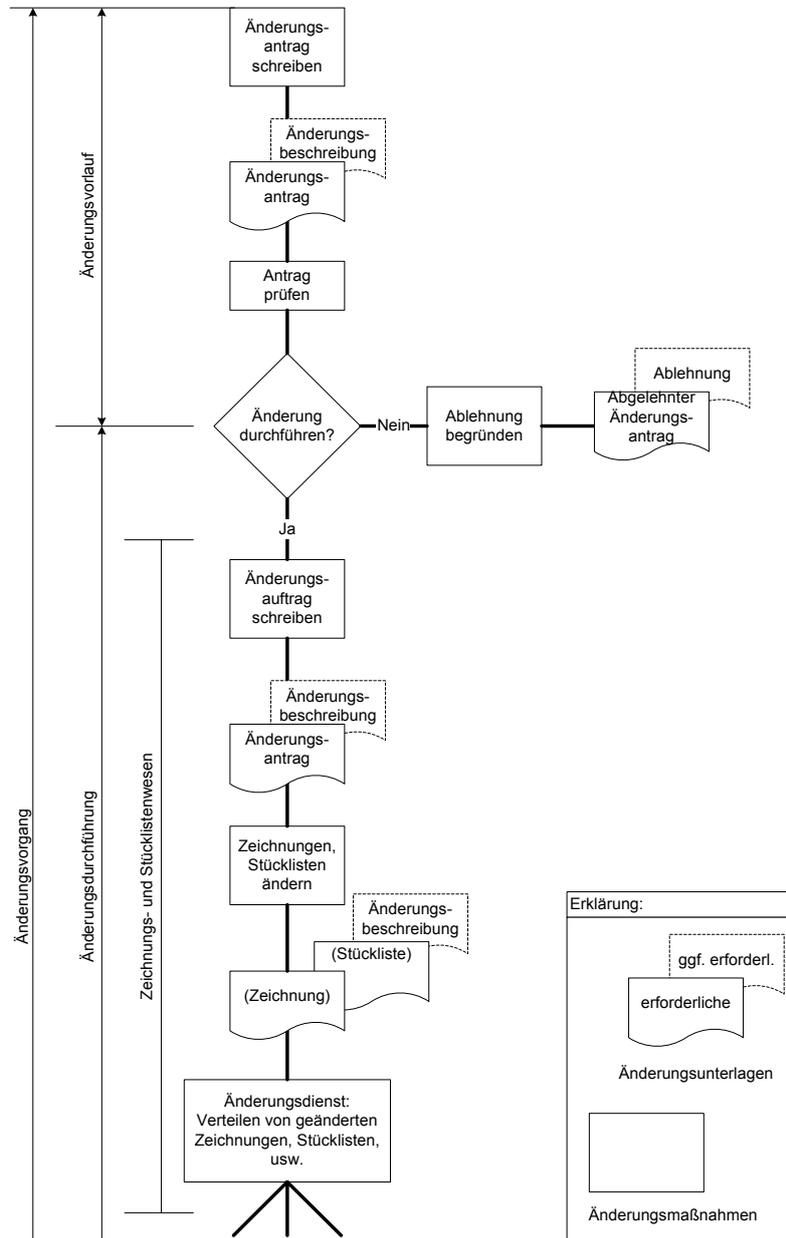


Abbildung 3.16: Beispiel für ein Änderungsablaufschemata [DIN199-4]

3.2.3 Generic Engineering Change Process nach Jarratt et al.

Jarratt et al. [JaCE05] stellen einen allgemeinen technischen Änderungsprozess (im Original: Generic Engineering Change Process) vor, welcher infolge der Auslösung sechs Phasen durchläuft. Dieser technische Änderungsprozess ist in Abbildung 3.17 dargestellt. Im Vergleich mit dem Ablaufschema nach DIN 199 – Teil 4 ist ersichtlich, dass der Änderungsprozess nach Jarratt et al. wesentlich umfassender ist und einige der zuvor genannten Kritikpunkte behebt:

- In Schritt 2 des Prozesses werden Lösungsalternativen erarbeitet, was einem Syntheseschritt im Sinne der Produktentwicklung entspricht und somit Raum für kreative Lösungen bietet (vgl. [ABCo98]).
- Die geforderte Bewertung der Risiken und Auswirkungen technischer Produktänderungen beziehungsweise der Lösungsalternativen zum Änderungsantrag ist in Schritt 3 enthalten.
- Darüber hinaus ist in Schritt 6 durch das Prozess-Review die Möglichkeit zur Bewertung des Änderungserfolgs und damit verbundenen Lerneffekten geschaffen.

Im Gegensatz zur DIN 199 – Teil 4 gibt es im Prozess nach Jarratt et al. vier Abbruchpunkte nach den Phasen 1, 2, 3 und 4. Diesem Prozess fehlt jedoch ebenso eine Problem- beziehungsweise Ursachenanalyse.

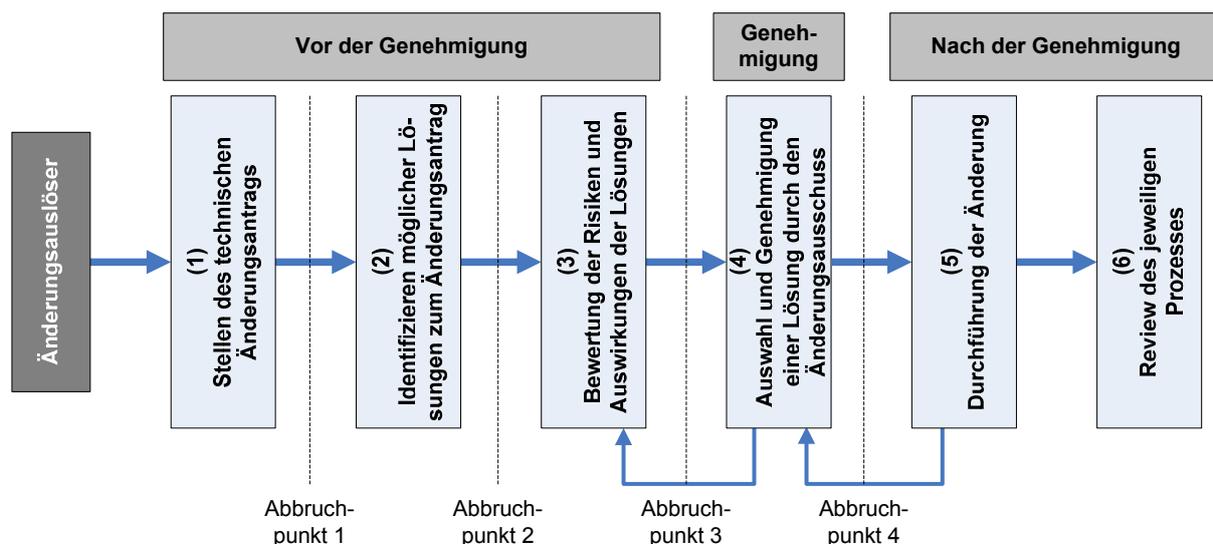


Abbildung 3.17: Generic Engineering Change Process (nach [JaCE05])

3.2.4 Konfigurationsüberwachung des Konfigurationsmanagements

Eine Konfiguration umfasst die funktionellen und physischen Merkmale eines Produktes, wie sie in seinen technischen Dokumenten beschrieben und im Produkt verwirklicht sind [ISO10007]. Historisch geht das Konfigurationsmanagement auf die Apollo-Missionen der NASA zurück [Sayn84] und hat das Ziel, Konsistenzprobleme in der Dokumentation der Produktentwicklung zu lösen, welche durch die zahlreichen Versionen eines Produktes, seiner Komponenten und Dokumentationen, die zudem selbst in verschiedenen Versionen vorliegen können, entstehen [Klee99].

Als ein Teilgebiet des Projektmanagements fokussiert das Konfigurationsmanagement einerseits die Planung und Überwachung von Entwicklungsständen [ISO10007, Klee99] und dient andererseits der kontrollierten und nachvollziehbaren Durchführung von technischen Produktänderungen [HSHM06]. Somit wird es in diesem Kontext als eine Möglichkeit zur Organisation von technischen Produktänderungen betrachtet. Gemäß Saynisch [Sayn84] ist das Änderungswesen Teil des Konfigurationsmanagements und im Sinne der [ISO10007] der Konfigurationsüberwachung zuzurechnen. Eine Einbindung der Handhabung technischer Produktänderungen in das Projektmanagement erscheint sinnvoll, da technische Produktänderungen einen Projektcharakter aufweisen [Gemm95]. Außerdem werden Produktentwicklungen heute in der Regel in Projektform durchgeführt. Aus Sicht des Konfigurationsmanagements wäre es ferner möglich, die Definition einer technischen Produktänderung umzudrehen. So könnte eine alternative Definition eine technische Produktänderung als Differenz zwischen zwei Konfigurationen beschreiben [Klee99].

Aufbau und Prozess nach EN ISO 10007:1996

Konfigurationsmanagement ist in Europa nach der EN ISO 10007:1996 [ISO10007] genormt. Durch Anwendung der Norm können die in Kapitel 3.2.1 erwähnten Forderungen der ISO 9000 ff. erfüllt werden.

Das Konfigurationsmanagement nach EN ISO 10007 umfasst die technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Konfigurationsidentifizierung, -überwachung, -buchführung sowie Konfigurationsauditierung. Dabei sind unter **Konfigurationsidentifizierung** im erweiterten Sinne die Maßnahmen zur Produktstrukturierung, zur Dokumentation der physischen und

technischen Merkmale (inklusive Schnittstellen und späterer Änderungen) und Kennzeichnung der Konfigurationseinheiten sowie deren Dokumente zu verstehen. Die **Konfigurationsüberwachung** dient der Überwachung von Änderungen an Konfigurationen, welche neben den geltenden Konfigurationsdokumenten, Änderungsantrags- und -durchführungsständen in der **Konfigurationsbuchführung** dokumentiert werden. Die **Konfigurationsauditierung** ist die formale Prüfung des Ausführungsstandes einer Konfiguration hinsichtlich der Übereinstimmung mit den geltenden Konfigurationsdokumenten. Die vier beschriebenen Elemente sind ebenfalls die Schritte des Konfigurationsmanagementprozesses.

Die Konfigurationsüberwachung gemäß [ISO10007] besteht aus den Schritten

- Änderung dokumentieren und begründen,
- Änderungsauswirkungen bestimmen,
- Änderung genehmigen oder ablehnen,
- Änderung einführen und verifizieren sowie
- Sonderfreigaben vor und nach Realisierung bearbeiten.

Die Überwachung der Änderungen in Konfigurationen beginnt ab der erstmaligen Freigabe der Konfigurationsdokumente. Im Gegensatz zur DIN 199 – Teil 4 beinhaltet das in der EN ISO 10007:1996 integrierte Änderungswesen die Bestimmung der Auswirkungen technischer Produktänderungen und die Verifizierung des Änderungserfolgs. Gegenüber dem Generic Engineering Change Process von Jarratt et al. fehlt hierbei jedoch die Risikobewertung.

3.2.5 Abwicklung unternehmensübergreifender technischer Produktänderungen

Die Bearbeitung von technischen Produktänderungen kann unter Umständen auch technische Änderungsprozesse erfordern, in welche mehr als ein Unternehmen involviert sind. Besonders in der Automobilindustrie hat in den vergangenen Jahren die Fertigungstiefe eklatant abgenommen. Moderne Autos sind in Module zerlegt, für die Zulieferer verantwortlich sind; die Automobilhersteller setzen diese Module schließlich zu Fahrzeugen zusammen. In diesem Kontext ergeben sich insbesondere Probleme durch die indirekte Abstimmung (z.B. Modullie-

feranten kommunizieren via Automobilhersteller miteinander). Dadurch kommt es unter anderem zu verlängerten Durchlaufzeiten und einer Einschränkung des kreativen Gestaltungsspielraums, was wiederum zu suboptimalen Lösungen führt. [EvWS97]

Ende der 1990er Jahre hat eine Gruppe um Eversheim das technische Änderungsmanagement in Entwicklungskooperationen untersucht und dabei einen Ansatz abgeleitet, welcher ein unternehmensübergreifendes technisches Änderungsmanagement für funktionale und geometrische Zusammenhänge ermöglicht. Wesentliches Element des Ansatzes ist die Synchronisation der Abläufe für die identifizierten Änderungstypen in den einzelnen Unternehmen und nicht die Reorganisation der Änderungsabläufe als solche. Die Typisierung auf Basis der Häufigkeit erfolgt mit dem in Abbildung 3.18 dargestellten Merkmalschema. [EvWS97]

Merkmale		Merkmalsausprägungen					
A	Änderungsgrund	Produktmangel	Stückzahlproblem	Kundenwunsch/-forderung	Verbesserung		Beschreibung
B	Gegenstand	Spezifikation	Produktkonstruktion (Zeichnung)	Material	Betriebsmittel	Produktionsablauf	
C	Schnittstelle	Komponente/ Teilsystem 1	Komponente/ Teilsystem 2	...	Komponente/ Teilsystem n		
D	Mitwirkende	Kunde	Kooperationspartner 1	Kooperationspartner 2	...	Kooperationspartner n	Abwicklung
E	Auslösung	Anfrage			Auftrag		
F	Zeitpunkt	Konzeptphase	Entwicklungsphase	Serienvorbereitung/-anlauf		Serie	
G	Durchführung	planmäßig	außerplanmäßig	Notmaßnahme			

Abbildung 3.18: Änderungstypologie (in Anlehnung an [EvWS97])

Das beschriebene Vorgehen wurde in einem vom Land Nordrhein-Westfalen geförderten Verbundprojekt getestet und führte unter anderem zu weniger Iterationsschleifen in den späten Phasen der Änderungsdurchführung (z.B. aufgrund produktionstechnischer Schwierigkeiten) sowie zu einer durchschnittlichen Reduzierung der Durchlaufzeit der technischen Produktänderungen um 20 %. [EvWS97]

Einen aktuellen Ansatz zur Unterstützung der Prozesse des technischen Änderungsmanagements im Bereich der Kommunikation von Änderungsinformationen zwischen Kunden und Lieferanten auf Basis der Nutzung bestehender Standards im Bereich des Product Lifecycle Managements stellt die VDA-Empfehlung 4965 [VDA4965, VDA4965-T1] dar. Ziele der VDA 4965 sind eine Reduzierung der Kommunikationsvielfalt in den Partnernetzwerken,

eine Reduzierung der Durchlaufzeit eines Änderungsvorhabens, eine Verbesserung der Prozessqualität und -sicherheit, eine Verbesserung der Transparenz von Änderungen für alle Beteiligten sowie die Wiederverwendbarkeit von Prozessvereinbarungen, Schnittstellen und Tools. Die VDA-Empfehlung 4965 wurde auf Basis der Anforderungen und Erfahrungen namhafter Projektpartner aus der Automobil- sowie IT-Industrie (u.a. BMW, DaimlerChrysler, SAP, T-Systems, Volkswagen und ZF) in der Engineering Change Management Projektgruppe des ProSTEP iViP Vereins und des VDA erarbeitet und durch Pilotprojekte in den beteiligten Firmen validiert und abgesichert. Die Empfehlung richtet sich an produzierende Firmen, Zulieferer sowie Entwicklungsdienstleister der Automobilindustrie, deren technische Änderungsprozesse in die der Auftraggeber eingebunden sind. Begrenzt ist die Empfehlung auf die Dokumentation der Produkt- und Dokumentationsänderungen in den Phasen Produktentwicklung, Serienanlauf und Serienfertigung.

Die Empfehlung ist in drei Teile aufgeteilt, wobei im ersten Teil die Kommunikation der Informationen zur Unterstützung der Spezifikation und Entscheidung über ein Änderungsantrag, im zweiten Teil die Kommunikation der Informationen zur entwicklungsseitigen Umsetzung des Änderungsauftrags und im dritten Teil die Kommunikation der Informationen der fertigungstechnischen Umsetzung behandelt werden. Weitere Teile zur Unterstützung der frühen Phasen des technischen Änderungsmanagements, wie beispielsweise die Identifikation von Risiken oder die Entwicklung von alternativen Lösungen befinden sich zum Zeitpunkt der vorliegenden Arbeit in Vorbereitung. [VDA4965-T1, VDA4965]

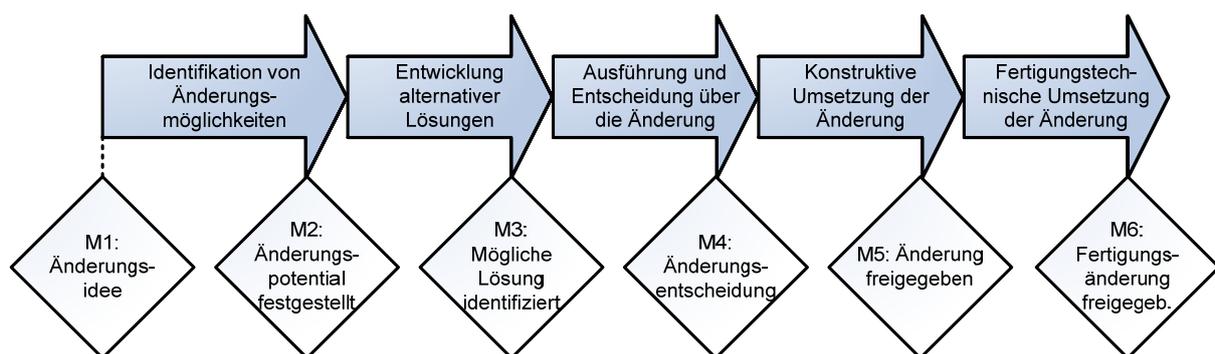


Abbildung 3.19: Überblick über den ECM-Referenzprozess nach [VDA4965]

Die VDA-Empfehlung 4965 gibt ebenfalls einen Änderungsreferenzprozess vor, der in Abbildung 3.19 dargestellt ist. Für diese Arbeit sind insbesondere die zweite und dritte Phase

dieses Prozesses von Interesse. Die dritte Phase wird in [VDA4965-T1] genauer spezifiziert. Darin ist insbesondere die Phase der technischen Analyse maßgeblich³⁰. Diese beinhaltet jedoch nur die Analyse der Auswirkungen auf die von der Änderung betroffenen Teile und Dokumente. Die Beurteilung der Auswirkungen erfolgt auf Basis der Expertise der Bearbeiter hinsichtlich Machbarkeit, Umsetzung und Konsequenzen der technischen Änderung. Hilfsmittel zur Analyse der Auswirkungen der technischen Änderungen sind nicht angegeben.

Die VDA-Empfehlung 4965 stellt somit einen Rahmen zur tiefen IT-Integration der Änderungsmanagement-Systeme zwischen Lieferant und Kunde dar und gibt einen Rahmen für einen standardisierten, unternehmensübergreifenden Änderungsreferenzprozess vor.

3.2.6 Integriertes Änderungsmanagement

Das nun beschriebene integrierte Änderungsmanagement hat eine ambivalente Rolle. Einerseits stellt es ein Beispiel für einen umfassenden Managementansatz im Umgang mit technischen Produktänderungen dar, welcher wesentliche zuvor beschriebene Elemente integriert. Andererseits ist das integrierte Änderungsmanagement ablaufforientiert aufgebaut, weshalb es strukturell auch der organisierten Abwicklung zugeordnet werden kann. Das integrierte Änderungsmanagement wird in diesem Abschnitt beschrieben, weil es letztendlich ein interessantes Beispiel für den Spagat zwischen der Integration von präventiver Änderungsvermeidung und der organisierten Abwicklung von technischen Produktänderungen darstellt.

Als Reaktion auf veränderte betriebswirtschaftliche und organisationstheoretische Sichtweisen durch Weiterentwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie den geänderten Anforderungen an die Produktentwicklung, wie z.B. kürzere Lebenszyklen, höhere Anforderungen und die Globalisierung, befassten sich der Sonderforschungsbereich (SFB) 336 und der daran anschließende Transferbereich (TFB) 2 an der TU München in der Zeit von 1995 – 2000 mit der „Montageautomatisierung durch die Integration von Konstruktion und Planung“ [SFB336]. Insbesondere in den Teilprojekten I3 des SFB 336 (Standortintegration: Management von integrierten Entwicklungs- und Änderungsprozessen bei verteilten Standorten) und U3 des TFB 2 (Änderungsmanagement: Einführung in die Praxis) wurden das integrierte Änderungsmanagement maßgeblich entwickelt. Die Ergebnisse des SFB

³⁰ Wie bereits erwähnt, befindet sich eine Empfehlung zu dieser Phase noch in Vorbereitung.

336/TFB2 und weitere durch den Bayerischen Forschungsverbund Systemtechnik (BayFOR-SYS) sowie die Industrie geförderten Forschungsergebnisse sind in [LiRe98] dargestellt.

Im Verständnis von Lindemann und Reichwald schließt das integrierte Änderungsmanagement neben technischen Aspekten auch teamorientierte Prozesse und organisatorische Maßnahmen mit ein, um dadurch die Effizienz und Effektivität von technischen Änderungen im Unternehmen zu verbessern. Durch Anwendung des integrierten Änderungsmanagements können auch die Grundgedanken des Simultaneous Engineering in technischen Änderungsprozessen zur Anwendung kommen [LiRe98]. Die erzielten Verbesserungen durch den integrierten Ansatz stützen sich auf das ganzheitliche Prozessverständnis, der Betrachtung einer Änderung als Teil des Entwicklungsprozesses, der Unterscheidung zwischen Änderungsauslöser und Änderungsursache, der Partizipation aller von einer Änderung Betroffenen, die vorausschauende Planung und Auswirkungserfassung und das Erzielen eines Erfahrungsgewinns aus Änderungen [ReLZ98].

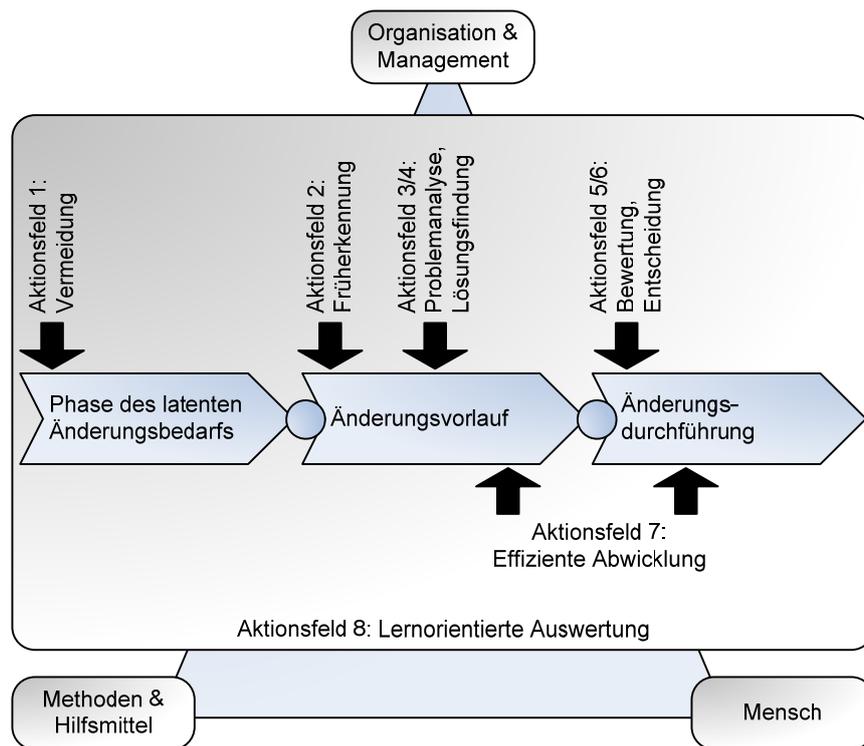


Abbildung 3.20: Schematischer Zusammenhang zwischen den Bausteinen und Aktionsfeldern des integrierten Änderungsmanagements (nach [ReLZ98])

Ablauforganisatorisch orientiert sich das integrierte Änderungsmanagement an einem erweiterten Ablaufschema auf Basis der DIN 199 – Teil 4. Es zielt auf die schnelle und zuverlässige Abwicklung notwendiger Änderungen, die Vermeidung unwirtschaftlicher Änderungen

sowie die Vermeidung fehlerbedingter Änderungen ab. Der Aufbau des integrierten Änderungsmanagements besteht aus den in Abbildung 3.20 dargestellten acht Aktionsfeldern, welche jeweils in die drei Bausteine Organisation und Management, Methoden und Hilfsmittel sowie Mensch unterteilt sind. Die Bausteine und Aktionsfelder können im Sinne des integrierten Änderungsmanagements nicht voneinander getrennt betrachtet werden und beeinflussen sich gegenseitig [AßCo98]. Die Aktionsfelder stellen die prozessuale Sichtweise auf einen durchgängigen Änderungsprozess dar, Bausteine sind die Ansatzpunkte innerhalb eines Prozessschritts [Jani04].

Das integrierte Änderungsmanagement stellt das Ergebnis langjähriger Forschungsarbeit in Kooperation mit der industriellen Praxis dar. Aus diesem Grund beinhaltet es einige wesentliche Verbesserungen gegenüber den vorab beschriebenen Ansätzen und erfüllt weitgehend die identifizierten Anforderungen. Potentiale besitzt in diesem Ansatz jedoch ebenfalls die Erfassung der Auswirkungen und die Planung technischer Produktänderungen, da hier nur kostenrechnerische und organisatorische Aspekte wirklich Berücksichtigung finden. Auswirkungen auf Produkte oder Prozesse werden nur am Rande angeschnitten: *„Ferner muss eine Sichtung und Überprüfung der bereits verwirklichten Produkteigenschaften und der dazu notwendigen, bereits innerhalb des Gesamtsystems zwischen den Komponenten geknüpften Beziehungen stattfinden“* [Allm98]. Die Frage nach dem „Wie“ wird jedoch nicht beantwortet. Hahn et al. [HSMH06] beschreiben in diesem Zusammenhang die Notwendigkeit einer Netzstruktur, wie sie beispielsweise auch von Gerst und Stetter [GeSt98] für die Identifikation der Änderungsursachen gefordert wird.

3.2.7 Informationstechnische Unterstützung

Eine informationstechnische Unterstützung erfordert eine gewisse Standardisierung der technischen Änderungsprozesse, was insbesondere in Industrien mit starker Kundenintegration, wie beispielsweise der Automobilzulieferindustrie, aufgrund des hohen Grads der Berücksichtigung von Kundenanforderungen (auch auf Prozessseite) schwierig zu realisieren ist. Dies macht eine effektive Rechnerunterstützung nur schwer möglich. Hingegen müssen Unternehmen, welche den Endverbraucher direkt beliefern (z.B. der Automobilhersteller) nicht auf solche Forderungen des Kunden eingehen und können ihre Änderungsprozesse unabhängig von Produkten und Projekten standardisieren und diese somit leicht durch IT-Werkzeuge unterstützen. Viele Systemzulieferer haben damit begonnen, ihre Änderungsprozesse auf Basis

der VDA-Empfehlung 4965 zu überarbeiten, um dadurch eine tiefere IT-Integration ihrer Änderungsmanagement-Systeme mit denen der OEM-Kunden zu erzielen. [AbVB06]

Die IT-Unterstützung zielt auf eine geschlossene digitale Prozesskette zur Unterstützung von technischen Änderungen. Heute ist die Praxis allerdings noch durch Medienbrüche zwischen Daten und Papier gekennzeichnet, was sich negativ auf die erreichbare Qualität und Geschwindigkeit des Prozesses auswirkt. [RoKr06]

Im Wesentlichen werden technische Änderungen durch Produktdatenmanagement-Systeme (PDM-Systeme), Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP-Systeme) sowie darauf aufsetzenden Systemen unterstützt. Es existieren ebenfalls ein paar Sonderlösungen, wie z.B. der Digitale Stift, welcher im EU-Projekt X-Change der Forschungsgruppe Prozess- und Datenmanagement im Engineering des Forschungszentrums für Informatik in Karlsruhe eingesetzt wird. Dieser zeichnet auf Papier durchgeführte Änderungen auf und legt diese im angebunden IT-System ab [RoKr06]. Dies hat den Vorteil, dass die bestehenden Arbeitsweisen im Wesentlichen beibehalten werden können, was die Akzeptanz des Systems potentiell erhöht [RoKr06].

Produktdatenmanagementsysteme unterstützen die Ausführung technischer Änderungen mittels definierter Workflows und Freigabemechanismen [HSHM06], insbesondere im Bereich der rechnerunterstützten Dokumentenänderung [Klee99]. In der Regel sind PDM-Systeme nicht dazu in der Lage, organisatorische oder wirtschaftliche Auswirkungen im begleitenden Projektmanagement zu bestimmen [HSHM06]. PDM-Systeme können im Kontext des technischen Änderungsmanagements als Werkzeuge zur Verwaltung konstruktiv bedingter Änderungen und der Sicherstellung der Reproduzierbarkeit historischer Entwicklungsstände sowie zur Steuerung des Änderungsprozesses verstanden werden [SeGB06]. Sie unterstützen insbesondere bei der Dokumentation von Problemstellungen, der Erstellung und Verwaltung von Änderungsanträgen, deren Prüfung und Genehmigung, der Umsetzung der Änderungen sowie bei der anschließenden Organisation der Kommunikation und Verwaltung der Änderungsinformationen [SeGB06, Star05, Wild06].

Die Möglichkeiten der Unterstützung der Handhabung technischer Änderungen durch ERP-Systeme ist am Beispiel SAP/R3 in Abbildung 3.21 dargestellt.

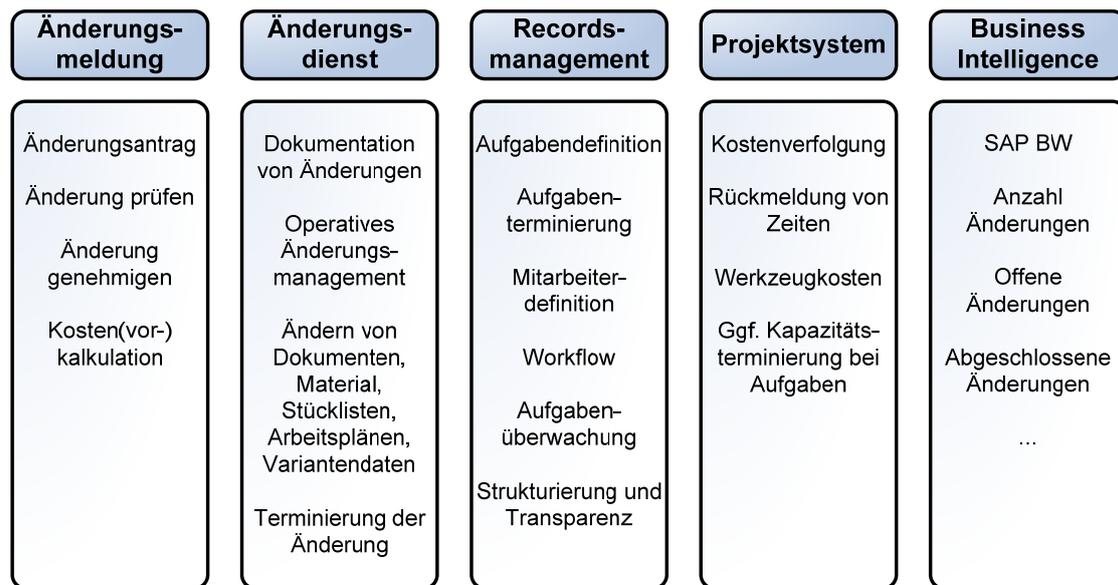


Abbildung 3.21: Unterstützung des technischen Änderungsmanagements durch SAP-Komponenten [Remm06]

Beispielhaft für eine IT-Lösung, die auf einem ERP-System aufsetzt, sei ⁴ECM von ILC-Prostep genannt. ⁴ECM hat das auf SAP NetWeaver³¹ basierende SAP Recordsmanagement als technologische Basis und bietet dadurch die Möglichkeit der Einbindung von SAP- und Non-SAP-Systemen. So ist es beispielsweise möglich, Funktionen, wie die Kostenkalkulation oder Terminplanung, von spezialisierten Systemen durchführen und über SAP Recordsmanagement vor dem Hintergrund des technischen Änderungsprozesses integrieren zu lassen. ⁴ECM ermöglicht außerdem diverse Basisfunktionen im Umgang mit technischen Änderungen, wie z.B. die kontextbezogene Abbildung von Änderungsinhalten, ein Dokumenten- und Formularmanagement, flexible Laufwege zur Steuerung von Änderungsprozessen oder die Eingabe von Reportings. [4ECM]

Eine Verbindung von Produktdaten- und Prozessmanagement ermöglicht die lückenlose Rekonfiguration beliebiger Konstruktions- und Fertigungsstände über den gesamten Produktlebenszyklus. Die PDM-seitige Umsetzung scheitert jedoch häufig an unternehmensinternen Restriktionen. So werden beispielsweise produktrelevante Informationen auftragsbezogen in PDM-Systemen abgelegt, was eine Wiederverwendung unmöglich macht. Auftragsbezogene Daten sollten in nachgelagerten (ERP-)Systemen abgelegt werden. An der Schnittstelle der Systeme gibt es jedoch ein Interessensproblem. So arbeiten PDM-Systeme mit veränderlichen

³¹ SAP NetWeaver ist eine Plattform auf der verschiedene Programme und Anwendungen untereinander kommunizieren können [MuKi08].

Produktstrukturen und zielen auf eine spätmöglichste Produktionsfreigabe, wohingegen ERP-Systeme frühzeitig auf fertigungsorientierte sowie unveränderbare Metadaten und Produktstrukturen zur Erstellung der betriebswirtschaftlich-planerischen Prozesskette angewiesen sind [SeGB06].

Die, durch das Simultaneous Engineering notwendig gewordene, methodische Integration von Produktentwicklungs- und Produktionsplanungsprozessen ist nur schwerlich in der IT-Landschaft abzubilden, da die vorhandenen IT-Systeme sich auf bestimmte Prozessabschnitte konzentrieren [Jani04].

Zusammenfassend lässt sich hinsichtlich der IT-Unterstützung technischer Änderungsprozesse sagen, dass IT-Systeme das Problem der Aktualität der Dokumente hinsichtlich Freigabe und Versionierung von Dokumenten lösen. Außerdem eignen sie sich zur allgemeinen Unterstützung des Änderungsprozesses und zur Dokumentation und Archivierung von technischen Änderungen sowie der Information der angeschlossenen Bereiche. Im Bereich der Auswirkungsanalyse sind die Systeme weitgehend auf die Identifikation der betroffenen Teile und Dokumente begrenzt [VDA4965-T1], was unter anderem daran liegt, dass sich die Auswirkungsanalyse nicht an feste Regeln knüpfen lässt und somit auch nicht sinnvoll in einem Workflow abgebildet werden kann [NeFD06].

3.2.8 Zwischenfazit

Es lässt sich feststellen, dass mehrere Ansätze zur Unterstützung der organisierten Abwicklung technischer Produktänderungen existieren, von denen jedoch keiner alle identifizierten Anforderungen erfüllt. Dies liegt sicherlich auch daran, dass sich der technische Änderungsprozess nur schwer normieren lässt, da stets viele Besonderheiten technischer und organisatorischer Natur berücksichtigt werden müssen. Zur Unterstützung der Abwicklung technischer Produktänderungen existieren IT-basierte Werkzeuge, welche eine effektive Prozesssteuerung, Dokumenten- und Informationsmanagement, Rückverfolgung sowie, je nach Implementierung, eine Kostenanalyse ermöglichen. Allen vorgestellten Ansätzen ist gemein, dass sie noch Potentiale im Bereich des präventiven Umgangs mit technischen Produktänderungen und der Analyse von technischen Produktänderungen, insbesondere von deren Auswirkungen und Risiken, bieten. Für den Fall, dass die Ansätze die Analyse der Auswirkungen und Risiken vorsehen, lassen sie jedoch die Frage nach dem „Wie?“ weitgehend offen. Aus diesem

Grund werden im folgenden Abschnitt bestehende Ansätze zur Analyse von technischen Produktänderungen gesondert betrachtet.

3.3 Hilfsmittel zur Analyse technischer Produktänderungen

Eine technische Änderung muss die Verkaufsfähigkeit eines Erzeugnisses erhöhen oder durch Erhöhung des Verkaufserlöses zur Kompensation der Gesamtaufwendungen für diese technische Änderung beitragen [DIN6789-3]. Somit knüpft die DIN 6789 Teil 3 die Entscheidung über die Durchführung einer technischen Änderung maßgeblich an Kosten oder Verkaufserlöse. Dies erscheint im Gesamtkontext technischer Produkte als eingeschränkte Entscheidungsgrundlage. Die Entscheidung, ob eine technische Änderung durchzuführen ist, hängt davon ab, ob der Nutzen der technischen Änderung den erforderlichen Aufwand übersteigt [Gemm95, Wild06]. Unter Nutzen versteht Wildemann [Wild06] die Chance zur Verbesserung, welche durch Lernprozesse, kontinuierliche Innovation und die Leistungssteigerung von Produkt- und/oder Prozesseigenschaften ausgedrückt wird. Der Aufwand einer technischen Änderung besteht dagegen in der Gefahr der Verschwendung, welche sich aus dem Störungsprozess, den Kosten der Durchführung und der Beeinträchtigung anderer Geschäftsprozesse ergibt [Wild06].

3.3.1 Hilfsmittel zur Ursachenanalyse

In der dem Autor verfügbaren Literatur konnte keine einschlägige methodische Unterstützung zur Analyse der Ursachen technischer Produktänderungen ausgemacht werden. Stattdessen sind immer wieder die bekannten Methoden zur allgemeinen Analyse von Ursachen zu finden: Fehlerbaumanalyse, „5 Warum?“, das Ishikawa-Diagramm und die sogenannten Kepner-Tregoe Analysen. Die prinzipielle Aufgabe der Ursachenanalyse ist zu klären, was geschah und warum es geschah.

Die *Fehlerbaumanalyse* (im Englischen fault tree analysis) dient dazu, eine abgesicherte Aussage über das Verhalten eines Systems bezüglich bestimmter Ereignisse zu treffen, woraus sich auf Ausfallursachen schließen lässt [ReLH96]. Diese Art der Ursachenanalyse ist

jedoch auf einfache, gut zu durchschauende Systeme begrenzt [Aßma98]. Bei unbekanntem Ursachen ist die systematische Fragetechnik der „5 Warum?“³² besser geeignet. Diese nähert sich mit jeder „Warum?“-Frage der eigentlichen Ursache des Problems [Aßma98]. Die Zuordnung der identifizierten Ursachen kann dann in einem *Ishikawa-Diagramm*³³ erfolgen, indem systematisch die Haupt- von den Nebenursachen, welche für ein Problem verantwortlich sind, getrennt werden [Schu99]. Als Hauptursache werden dabei die Kategorien Mensch, Maschine, Material, Methode und Mitwelt unterschieden [Schu99].

In der Regel liefern diese Methoden der Ursachenanalyse mehrere potentielle Ursachen. Um zu entscheiden, welche Ursache am wahrscheinlichsten ist, kann beispielsweise der Ist-/Ist-nicht-Vergleich der Problemanalyse nach Kepner und Tregoe [KeTr92] angewendet werden. Die sich daraus ergebenden wahrscheinlichsten Ursachen sollten anschließend durch Versuche abgesichert werden [Aßma98].

3.3.2 Hilfsmittel zur Risikoanalyse und -bewertung

Zweck einer Risikoanalyse ist es, Aussagen über die Sicherheit einer Struktur zu treffen, diese mit den Sicherheitszielen zu vergleichen und aus den Abweichungen Konsequenzen zu ziehen [Hube99]. Dabei stellt die Risikoanalyse ein Werkzeug zur Ermittlung und Bewertung der Restgefahren für Anwender und Produkthersteller dar [FrLo97]. Ebenso wie für die Ursachenanalyse wurden im Rahmen der Recherche für diese Arbeit keine speziellen Ansätze für die Analyse von Änderungsrisiken gefunden. Deshalb sei an dieser Stelle auf allgemeine Ansätze für die Risikoanalyse verwiesen. Nach Huber [Hube99] gehören hierzu beispielsweise die Szenariotechnik, Simulationen oder statistische Methoden. Da Änderungsentscheidungen in der Regel zeitnah getroffen werden sollen und somit wenig Zeit für ausgiebige Szenarien und Simulationen bleibt, erscheinen insbesondere die statistischen Methoden, welche lediglich die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Schadenshöhen abschätzen [Hube99, Fric06], für die Analyse von Änderungsrisiken interessant zu sein. Eine Abschätzung nach diesen statistischen Methoden findet beispielsweise auch in der FMEA Einsatz. Weitere verbreitete Methoden zur Risikoanalyse technischer Systeme sind die bereits erwähnte FMEA und die Fehler-

³² Häufig auch als „5 why“ oder „Warumtreppe“ bezeichnet

³³ Häufig auch als Fischgrät- oder Ursache-Wirkungs-Diagramm beziehungsweise 5M-Methode bezeichnet

baumanalyse. Für umfassendere Risikoanalysen, wie sie bei technischen Produktänderungen vorkommen können, erscheint zudem die Risiko-Matrix geeignet, welche gemäß [FrLo97] organisatorische, technische, terminliche, kapazitive, kosten-/nutzerorientierte sowie psychologische Risiken erfasst.

3.3.3 Hilfsmittel zur Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen

Im Kapitel 2.4 wurden die Auswirkungen von technischen Produktänderungen wie folgt kategorisiert: Produkte, Prozesse und Ressourcen, Kosten und Zeit. Diese Kategorisierung strukturiert auch dieses Unterkapitel, in dem näher auf Ansätze zur Ermittlung der Auswirkungen technischer Produktänderungen, welche losgelöst von Prozessabläufen oder sonstigen Methoden sind, eingegangen wird.

Auswirkungen auf Produkte

Wie in Kapitel 3.2.1 festgestellt wurde, stellen die einschlägigen Normen hohe Anforderungen an die Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf das betrachtete Produkt sowie auf andere Produkte. Eine Disziplin, welche sich damit befasst ist die sogenannte *Änderungsfortpflanzung* oder *Änderungspropagation*. Diese betrachtet diejenigen Änderungen an technischen Systemen, welche durch andere Änderungen verursacht werden und ist somit grundlegend für die Bewertung eines Änderungsvorhabens [Fric06]. Prinzipiell sollte die Änderungsfortpflanzung so gering wie möglich gehalten werden, da es sonst zu fraktalen Auswirkungen kommen kann [ClSE01]. Ein primitives Beispiel zur Änderungsfortpflanzung kann die Änderung des Durchmessers eines Lagerabsatzes einer Welle sein. Diese führt zwingend zur Änderung des Lageraußendurchmessers, welche wiederum zwingend zur Änderung des Gehäuseinnendurchmessers führt etc. Es ist offensichtlich, dass die Änderungsfortpflanzung mit zunehmender Produktkomplexität ansteigt [ClSE01]. Eine recht ausführliche Beschreibung des Phänomens Änderungsfortpflanzung kann [EcCZ04] entnommen werden.

Bereits vorgestellte Mittel, um die Änderungsfortpflanzung gering zu halten, sind sicherlich das Axiomatic Design (vgl. Kapitel 3.1.1) und die erweiterten Ansätze des Design for X (vgl.

Kapitel 3.1.7). Daneben gibt es Ansätze wie beispielsweise die *Cambridge Change Prediction Method (CCPM)* von Clarkson und Eckert, die helfen, die Änderungfortpflanzung sichtbar zu machen.

Die grundlegende Beschreibung der CCPM stammt von 2001 [ClSE01]. Das Modell wurde in vergangenen Jahren beispielsweise um eine verbesserte Visualisierung [KEEC05], funktionale, verhaltensbasierende und strukturelle Fortpflanzungssignale [ArEC06], einer Anbindung an den jeweiligen Entwicklungsstand [EgEC07] sowie der Integration des Contact & Channel Model³⁴ [KAPE07] erweitert. Die folgende kurze Vorstellung des CCPM basiert auf dem ursprünglichen Modell.

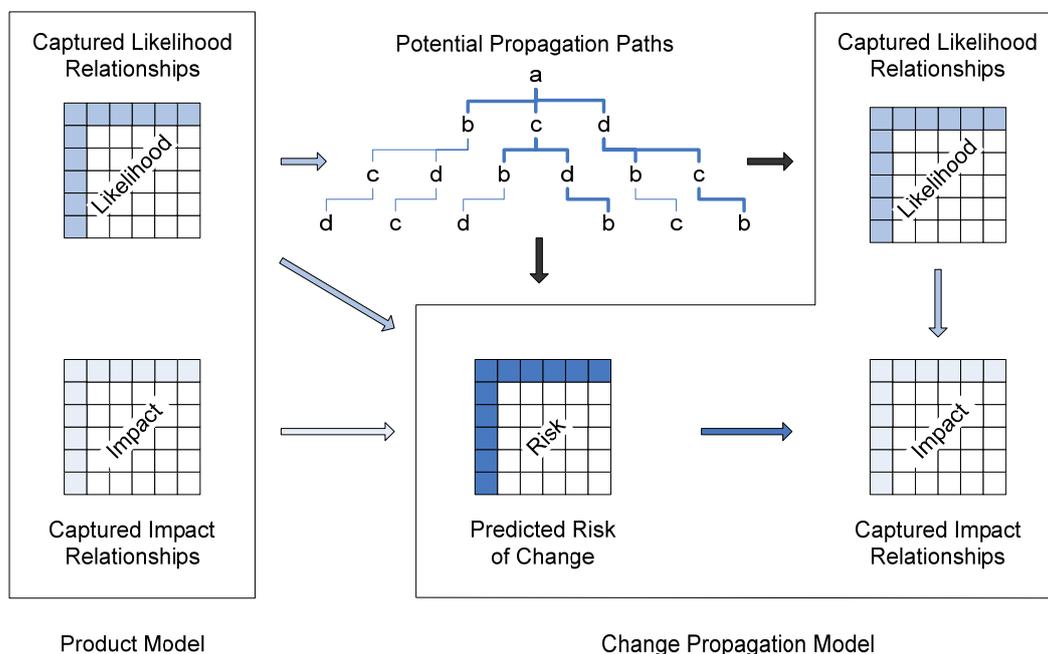


Abbildung 3.22: Cambridge Change Propagation Model [ClSE01]

CCPM basiert auf einem, in einer Design Structure Matrix (DSM)³⁵ dargestellten Modell der Zusammenhänge innerhalb eines Produktes. Damit wird vorausgesetzt, dass ein Produkt als eine Menge an Objekten mit kausalen Beziehungen beschrieben werden kann [ArEC06]. Um Änderungsentscheidungen zu unterstützen, zielt es auf die Identifizierung des Risikos emergenter technischer Produktänderungen ab, welche sich als Dominoeffekt vorangegangener technischer Produktänderungen ergeben, bevor diese umgesetzt worden sind. Das zugrunde-

³⁴ vgl. [Matt06]

³⁵ vgl. [Stew81]

liegende Modell der Produktzusammenhänge kann als eine Art Graph, welcher Informationen über Produktkomponenten und deren Abhängigkeiten darstellt, angesehen werden. Entsprechend der Abbildung 3.22 baut CCPM auf einem mathematischen Modell auf, welches die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen für jede Produktkomponentenbeziehung in das Risiko der Fortpflanzung technischer Produktänderungen umrechnet. Dadurch können entweder in einer Matrixdarstellung oder einer Graphendarstellung die Produktkomponenten mit hohem Risiko der Änderungsfortpflanzung identifiziert werden. [CISE01, KEEC05, KAPE07]

CCPM wurde unter anderem erfolgreich bei GKN Westland Helicopters in der Praxis getestet. Einschränkend muss jedoch angemerkt werden, dass die grundlegende zahlenmäßige Bewertung der Wahrscheinlichkeit des Änderungsauftretens und der Stärke der Auswirkungen von Konstrukteuren vorgenommen wurde, welche sich mehr als 10 Jahre mit dem Helikoptermodell befasst haben und somit ein starker Einfluss von Erfahrung wahrscheinlich ist. Es ist fraglich, ob auch weniger erfahrene Konstrukteure ähnlich gute Ergebnisse mit dem Modell erzielt hätten. Nachteilig erscheint ebenfalls, dass die zahlenmäßige Bewertung des Risikos eine nichtgesicherte Genauigkeit der Analyse suggeriert und die Fortpflanzungsanalyse auf Komponentenebene vereinfacht wird, was sich ebenfalls wieder auf die Genauigkeit der Vorhersage auswirkt.

Neben der Gruppe um Clarkson und Eckert haben sich unter anderem auch Cohen, Navathe und Fulton [CoNF00] sowie Ollinger und Stahovich [OlSt01] mit der Änderungsfortpflanzung beschäftigt und entsprechende Werkzeuge entwickelt. Cohen et al. haben mit **C-FAR (Change FAVORable Representation)** eine Methode entwickelt, welche die Fortpflanzung möglicher technischer Produktänderungen auf Basis eines Produktinformationsmodells, welches alle relevanten Aspekte eines Produktes darzustellen versucht, ermöglicht. Die Komplexität dieses Produktinformationsmodells beschränkt die Anwendung von C-FAR auf kleine und einfache Produkte. **RedesignIT** von Ollinger und Stahovich basiert auf Schlüsselkomponenten und Schlüsselattributen eines Produktes. Die zugehörige Software stellt alle möglichen Lösungen zu einem Änderungsproblem dar und analysiert deren Nebeneffekte, um dem Konstrukteur eine qualitative Entscheidungshilfe zu geben.

Allen beschriebenen Ansätzen ist gemein, dass sie lediglich die Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf das betrachtete Produkt und nicht auch auf weitere Produkte oder deren Herstellbarkeit ermöglichen.

Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen

Zur Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf Prozesse und Ressourcen konnten im Rahmen der Literaturrecherche für diese Arbeit keine speziellen, methodischen Ansätze gefunden werden. Die Analyse und die Bewertung der Auswirkungen von technischen Produktänderungen auf Prozesse und Ressourcen erscheinen gemäß Allmannsberger weitgehend durch die Zusammenarbeit in interdisziplinären Simultaneous Engineering Teams und somit durch die Einschätzung von Fachleuten für die entsprechenden Prozesse gekennzeichnet [Allm98]. Um diese Einschätzung zu bestätigen oder zu widerlegen, hielt der Autor Rücksprache mit mehreren Produktionsplanern, welche ihm aus Industriekooperationen und Industriepraktika bekannt sind³⁶. Vereinfacht lässt sich aus diesen Gesprächen das im nächsten Absatz beschriebene Vorgehen zur Untersuchung der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf Prozesse und Ressourcen ableiten. In einigen Branchen variiert das Vorgehen ein wenig, wenn die Kunden über Prozessänderungen informiert werden müssen. Hierauf wird jedoch nicht weiter eingegangen.

Die befragten Unternehmen haben allesamt technische Änderungsprozesse definiert, über die Änderungsinformationen an die Fertigungswerke verteilt werden. In diesen Fertigungswerken gibt es zur Sichtung der technischen Produktänderungen in der Regel ein Änderungsgremium, welches sich aus den Änderungsbeauftragten der einzelnen Fachabteilungen zusammensetzt. Die von einer technischen Produktänderung betroffenen Bereiche werden über dieses Gremium aufgefordert, zu technischen Produktänderungen Stellung zu nehmen. Innerhalb der Fachabteilungen beurteilen zuständige Fachleute die Folgen der technischen Produktänderungen für ihre Prozesse und Ressourcen. Ein Großteil der Beurteilung erfolgt dabei auf Basis der Erfahrung der Fachleute. Bei komplexeren Problemen werden auch Versuche durchgeführt. Zur methodischen Absicherung kommt in einigen Fällen auch die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse oder die Analyse potentieller Probleme nach Kepner und Tregoe zum Einsatz. Die letztendliche Beurteilung der Auswirkungen technischer Produktänderungen endet in der Bestimmung der erwarteten Kosten.

³⁶ Es handelt sich bei den Gesprächen um keine repräsentative Studie. Ziel der Befragung war es lediglich, eine Vorstellung von dem praktischen Umgang mit der erwähnten Fragestellung zu bekommen. Da alle Befragten bei international agierenden Unternehmen mit mehr als 5000 Beschäftigten tätig sind, können die Aussagen auch nur für Unternehmen dieser Kategorie gelten.

In Abhängigkeit des Grades der IT-Unterstützung in den einzelnen Unternehmen, werden zudem bei der Bearbeitung ERP-Systeme oder spezielle Systeme der Digitalen Fabrik eingesetzt. Die ERP-Systeme helfen dabei, die betroffenen Prozesse oder Produkte zu identifizieren. Die Digitale Fabrik unterstützt die Analyse der Auswirkungen durch Simulationen, wie z.B. Montage- oder Zerspanungssimulationen (vgl. [Boss07]).

Insgesamt scheint der Prozess der Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf Prozesse und Ressourcen sehr stark von der Erfahrung und den Kenntnissen der involvierten Mitarbeiter abzuhängen. Maßgeblich erscheinen ebenfalls Kostenargumente zu sein.

Kostenauswirkungen

In Kapitel 2.4.3 ist die Problematik der unzureichenden und ungleichen Ermittlung der Kosten technischer Produktänderungen in Anlehnung an Wildemann [Wild06] dargestellt. Viele der in diesem Kontext diskutierten Ansätze gleichen der von Pflüch [Pflü89] vorgeschlagenen Formel zur Bestimmung der Änderungskosten:

$$K_{AE} = K_D + K_G + K_S$$

Die Änderungskosten K_{AE} ergeben sich gemäß dieser Formel aus der Summe der Kosten der Änderungsdurchführung K_D , den Änderungsgemeinkosten K_G und den Sondereinzelkosten der Fertigung K_S . Die Kosten der Änderungsdurchführung berücksichtigen dabei im Wesentlichen die im Rahmen der Nacharbeit, Verschrottung oder dem Umbau von Teilen und Erzeugnissen anfallenden Kosten. Die Änderungsgemeinkosten berücksichtigen die Einführungs- oder Verwaltungskosten. Die Sondereinzelkosten der Fertigung schließlich berücksichtigen die Kosten für die Neuanfertigung und technische Änderung spezieller Betriebsmittel, wie z.B. Werkzeuge, Vorrichtungen oder NC-Programme. [Pflü89]

Conrat Niemerg [Conr97] hat in seiner Dissertation aufbauend auf den bereits erwähnten Industriestudien einen sehr breit aufgestellten Ansatz der Einflussgrößenanalyse der Änderungskosten hergeleitet. Neben den oben genannten unmittelbar quantifizierbaren Kostenauswirkungen von technischen Produktänderungen erfasst der Ansatz von Conrat Niemerg zusätzlich qualitativ kostenrelevante Effekte, wie die durch den änderungsbedingten Zeitverzehr entstehenden Opportunitätskosten am Markt, die kostenrelevanten Folgen von Qualitätsmängeln sowie die Kosten durch änderungsbedingte Imageverluste am Markt und Motivationsver-

luste in der Belegschaft. Diesen werden anhand der Einflussbereiche Änderungsursachen, Erkennungszeitpunkt der technischen Produktänderungen, Qualität der Änderungsentscheidung und der Effizienz der Änderungsabwicklung in dem in Abbildung 3.23 dargestellten Prozessmodell analysiert.

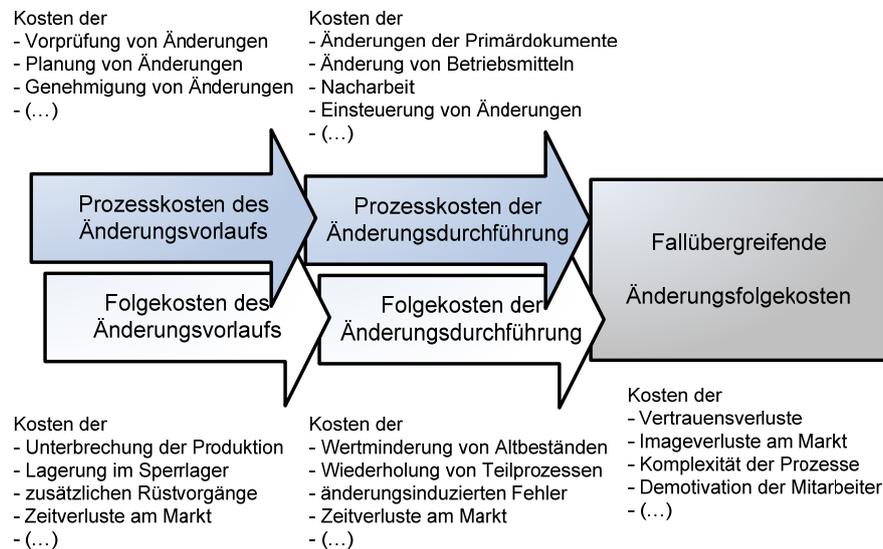


Abbildung 3.23: Prozessorientierte Systematisierung der Änderungskosten (nach [Conr97, LiRe98])

Den Kosten einer technischen Produktänderung steht in der Regel auch ein monetärer Nutzen gegenüber. Dessen Erfassung fehlt in den bisherigen Ansätzen. In dem in Kapitel 6 vorgestellten Beurteilungskonzept wird versucht, diesen mit in die Entscheidungsfindung zu integrieren, weshalb dort von Wirtschaftlichkeit gesprochen wird.

Zeitauswirkungen

In Kapitel 2.4.4 wurde bereits auf die Ambivalenz technischer Produktänderungen hingewiesen. Diese ergibt sich aus dem gewonnenen Nutzen aus einer technischen Produktänderung und den mit der Durchführung verbundenen Störungen sowie Verlusten materieller und zeitlicher Natur. Zeitliche Verluste können, wie beschrieben, zu Informationsasymmetrien und somit zu Folgefehlern führen. Deshalb ist die Analyse und Bewertung des Zeitparameters einer technischen Produktänderung ebenfalls von Bedeutung. Gemmerich [Gemm95] hat aus diesem Grund auf Basis des zeitorientierten Ansatzes JIT³⁷ in F&E und Konstruktion einen

³⁷ Just-in-time

Ansatz zum zeitorientierten Controlling³⁸ technischer Produktänderungen vorgestellt, welcher nach Meinung des Autors auch Elemente enthält, welche für die Analyse des Zeitparameters einer technischen Produktänderung bedeutsam sein können. Entscheidungskriterien im Ansatz nach Gemmerich sind die Zeitgrößen Bearbeitungs- und Durchlaufzeit sowie die Anzahl technischer Produktänderungen je Zeitpunkt im Produktlebenszyklus. Die Bearbeitungszeit kann dabei durch die Erfassung der anfallenden Zeiteinheiten erfolgen. Der Zeitparameter ist in der Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen ein zentraler Entscheidungsparameter, da hier sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Faktoren, insbesondere an der Schnittstelle zwischen Konstruktion und Fertigung betrachtet werden müssen. Durch die Berücksichtigung der Zeitparameter technischer Produktänderungen können Aussagen hinsichtlich Termintreue, Markteinführung etc. berücksichtigt werden.

3.3.4 Informationstechnische Unterstützung

Zur informationstechnischen Unterstützung der Analyse und Bewertung von technischen Produktänderungen sind insbesondere CAx-Systeme interessant. Aufgrund des hohen Spezialisierungsgrades im Bereich der CAx-Systeme können unterschiedliche Systeme bei unterschiedlichen Analysen unterstützen. Da die informationstechnische Unterstützung der Analyse und Bewertung von technischen Produktänderungen kein zentrales Thema dieser Arbeit ist, wird hier nur kurz auf die Möglichkeiten von CAD-, FEM- und PDM-Systemen zur Analyse der Auswirkungen auf Produkte, auf ERP-Systeme zur Analyse der Auswirkungen auf Prozesse und der Kosten sowie auf Projektmanagementsoftware zur Analyse der Zeitauswirkungen technischer Produktänderungen eingegangen.

- Moderne 3D-CAD-Systeme unterstützen den Konstrukteur bei der Analyse technischer Produktänderungen im Bereich der geometrischen Abhängigkeiten. Dazu prüfen CAD-Systeme die Konsistenz der Geometrie. Weiterhin können infolge einer technischen Produktänderung beispielsweise Kollisionsprüfungen oder Montageanalysen durchgeführt werden [CISE01, EcCZ04, Boss07]. Bestehende Systeme können jedoch lediglich die unmittelbaren Auswirkungen einer geometrischen Änderung im geladenen Modell nicht

³⁸ Controlling ist hier als Planung und Kontrolle zu verstehen [Gemm95]. Der Ansatz von Gemmerich zielt maßgeblich auf die zeitorientierte Gestaltung des Änderungsprozesses, gibt aber gleichzeitig auch Hinweise auf die Analyse des Zeitparameters technischer Produktänderungen.

aber die modellübergreifende Fortpflanzung einer technischen Produktänderung [CISE01, EcCZ04] und keine Kombination mehrerer geometrischer Änderungen [ArEC06] darstellen. Die Analyse betroffener Produkte/Baugruppen/Komponenten im Falle der Änderung eines Teils, einer Komponente, einer Baugruppe oder eines Produktes kann in begrenztem Umfang mit PDM-Systemen auf Basis des Teileverwendungsnachweises erfolgen. Dies ist aber, wie in Kapitel 3.2.6 beschrieben, lediglich auf die Identifikation des Produktes, der Baugruppe beziehungsweise der Komponente beschränkt. Zur Analyse von Teilaspekten funktionaler Auswirkungen auf ein Produkt, eine Baugruppe, eine Komponente oder ein Bauteil können beispielsweise Finite-Elemente Systeme verwendet werden; für kinematische Auswirkungen beispielsweise Mehrkörpersimulationssysteme.

- Zur Analyse der prozesseitigen Auswirkungen und zur Bestimmung der Kosten technischer Produktänderungen können in begrenztem Umfang ERP-Systeme eingesetzt werden (vgl. Kapitel 3.2.6).
- Zur Analyse der Zeitauswirkungen technischer Produktänderungen können beispielsweise Projektmanagementsysteme eingesetzt werden. Diese Systeme erlauben eine zeitbezogene Gliederung der Tätigkeiten und somit eine schnelle Analyse der Auswirkungen einer technischen Produktänderung auf einzuhaltende Termine, Meilensteine etc.

Dieser, wenn auch sehr knappe, Überblick der informationstechnischen Unterstützung der Analyse und Bewertung von technischen Produktänderungen zeigt bereits, dass die Systemlandschaft im betrachteten Kontext sehr heterogen und wenig integriert ist. Aufgrund des komplexen Charakters der Auswirkungen technischer Produktänderungen erscheint eine durchgängige, informationstechnische Unterstützung der Analyse und Bewertung technischer Produktänderungen mit bestehenden Systemen zurzeit nur schwer möglich.

3.3.5 Zwischenfazit

In diesem Unterkapitel wurden vorhandene Möglichkeiten zur Analyse technischer Produktänderungen hinsichtlich ihrer Ursachen, Risiken und Auswirkungen beschrieben. Dabei ist ersichtlich, dass im Bereich der Analyse und Bewertung von Ursachen und Risiken weitgehend auf bewährte Werkzeuge verwandter Disziplinen zurückgegriffen wird. Im Bereich der Auswirkungsanalyse auf Produkte existieren insbesondere zur Detektion der Änderungsfort-

pflanzung spezielle Methoden, welche jedoch weitgehend auf Komponentenebene oder einfache Produkte beschränkt sind. Außerdem kann stets nur ein Produkt isoliert untersucht werden. Informationstechnisch kann die Analyse und Bewertung technischer Produktänderungen nur spezialisiert in Teilbereichen durch existierende CAx-Werkzeuge unterstützt werden. Ein integriertes Rahmenwerk zur Analyse und Bewertung der Auswirkungen technischer Produktänderungen fehlt bislang.

3.4 Zusammenfassung

Aus der Definition des technischen Änderungsmanagements sind die drei maßgeblichen Elemente Strategien, Organisation und Hilfsmittel abgeleitet worden. Diese drei Elemente bedingen einander gegenseitig und bilden die Grundlage der Strukturierung des gesamten Kapitels.

- Die Vermeidung und Vorverlagerung von technischen Produktänderungen ist durch die systematische Vermeidung von Entwicklungsfehlern und die gezielte Antizipation von möglichen, zukünftigen Änderungen (z.B. Marktänderungen) gekennzeichnet. Im Zuge der Beschreibung der Strategie der Vermeidung und Vorverlagerung von technischen Produktänderungen sind die Hilfsmittel Produktentwicklungsmethodik, Quality Function Deployment, Simultaneous Engineering, Wissensmanagement, präventive Qualitätssicherung, Design Review based on Failure Modes und spezielle Ansätze des Design for X identifiziert worden. Dabei ist festgestellt worden, dass die Vermeidung und Vorverlagerung von technischen Produktänderungen dazu beiträgt, den Änderungsaufwand in Form von Zeit und Kosten zu reduzieren. Insgesamt beträgt der Anteil vermeidbarer, technischer Produktänderungen jedoch nur 20%, weshalb die Strategie der effizienten Abwicklung technischer Produktänderungen bedeutsamer zu sein scheint.
- Im zweiten Teil des Kapitels ist die organisierte Abwicklung technischer Produktänderungen als Strategie des technischen Änderungsmanagements und gleichzeitig als Mittel der Organisation beschrieben. Als Möglichkeiten der organisierten Abwicklung technischer Produktänderungen sind der technische Änderungsprozess gemäß DIN 199 – Teil 4, der Generic Engineering Change Process nach Jarratt et al., die Konfigurationsüberwachung des Konfigurationsmanagements gemäß ISO 10007 und als umfassendes Beispiel das integrierte Änderungsmanagement nach Lindemann und Reichwald beschrieben. Diese

technischen Änderungsprozesse wurden mit zuvor identifizierten Anforderungen an die organisierte Abwicklung technischer Änderungsprozesse verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass keiner der beschriebenen Prozesse alle identifizierten Anforderungen erfüllt. Alle Ansätze haben Potentiale im Bereich der Integration der Analyse von Auswirkungen und Risiken technischer Produktänderungen.

Zusätzlich ist beispielhaft die Handhabung unternehmensübergreifender, technischer Produktänderungen nach Eversheim et al. und VDA 4965 betrachtet worden.

Die organisierte Abwicklung technischer Produktänderungen kann informationstechnisch in den Belangen Workflowsteuerung, Bereitstellung aktueller Dokumente, Freigabe, Versionierung, Information betroffener Bereiche, Dokumentation des technischen Änderungsprozesses und Archivierung unterstützt werden.

- Ein Teil der Hilfsmittel des technischen Änderungsmanagements ist bereits im Zuge der Vermeidung und Vorverlagerung von technischen Produktänderungen beschrieben worden. Hinzu kommen Hilfsmittel zur Ursachenanalyse, Risikoanalyse und der Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen. In den Bereichen der Ursachen- und Risikoanalyse wird auf bewährte, universell einsetzbare Qualitätstechniken, wie z.B. die Fehlerbaumanalyse, die Warumtreppe oder statistische Methoden der Risikoermittlung zurückgegriffen. Die Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen ist in die Bereiche Auswirkungen auf Produkte, Prozesse und Ressourcen, Kosten und Zeit aufgeschlüsselt. Hinsichtlich der Analyse der Auswirkungen auf Produkte existieren Möglichkeiten zur Untersuchung der Änderungsfortpflanzung (wie z.B. die Cambridge Change Prediction Method), womit jedoch lediglich Fortpflanzungen zwischen Produktkomponenten innerhalb eines Produktes betrachtet werden können. Die Analyse der Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen erfolgt durch den Austausch von Fachexperten in Änderungsgremien und ist somit sehr stark von der Erfahrung der involvierten Mitarbeiter abhängig. Zur Ermittlung der Änderungskosten wurde der Ansatz nach Conrat Niemerg vorgestellt. Zur Bestimmung der Zeitauswirkungen wurde auf das zeitorientierte Controlling technischer Produktänderungen nach Gemmerich verwiesen. Ein durchgängiges Rahmenwerk zur Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen sowie zum Vergleich verschiedener Lösungsmöglichkeiten zu angestrebten technischen Produktänderungen konnte nicht identifiziert werden.

Informationstechnische Hilfsmittel existieren, sind jedoch stets nur für spezielle Teilbereiche und nicht durchgängig anwendbar.

3.5 Diskussion der bestehenden Ansätze und Ableitung eines Handlungsbedarfs

Nachdem die wesentlichen Elemente des technischen Änderungsmanagements vorgestellt sind, werden sie nun abschließend diskutiert und ein Handlungsbedarf abgeleitet.

3.5.1 Strategien des technischen Änderungsmanagements

Die Strategien des technischen Änderungsmanagements bedürfen einer getrennten Diskussion, da sie neben den unterschiedlichen Zielen auch eine unterschiedliche Organisation und unterschiedliche Hilfsmittel benötigen.

Die Strategie der Vermeidung und Vorverlagerung von technischen Produktänderungen wird durch eine Vielzahl von Hilfsmitteln unterstützt. Dabei muss zwischen Hilfsmitteln zur Vermeidung von Entwicklungsfehlern und zur Früherkennung beziehungsweise Antizipation von Änderungsbedarfen unterschieden werden. Im Bereich der Vermeidung von Entwicklungsfehlern sind einige bewährte und in ihrer Wirkung anerkannte Hilfsmittel vorgestellt worden. Das Thema „Vermeidung von Entwicklungsfehlern“ gewinnt im Zuge der stetig komplexer werdenden Produkte sicherlich zunehmend an Bedeutung. Für die vorliegende Arbeit besteht darin jedoch kein Handlungsbedarf, da nach Ansicht des Autors viele der auftretenden Entwicklungsfehler durch die konsequente Anwendung der verfügbaren Hilfsmittel vermieden werden können. Bei den vorgestellten Ansätzen zur Vorverlagerung von technischen Produktänderungen besteht aus Sicht des Autors das Problem, dass diese Ansätze nur so gut sind, wie das Wissen, welches über das Produkt zum Analysezeitpunkt vorhanden ist. Gleiches gilt für die zu antizipierenden Auslöser der technischen Produktänderungen. Die Anwendung dieser Verfahren wird durch das bereits früher beschriebene „Paradoxon der Konstruktion“ (siehe Abbildung 3.2) eingeschränkt. Insgesamt werden die beschriebenen Hilfsmittel als sinnvoll eingestuft, ihre Anwendbarkeit wird aber stets durch die oben genannten Faktoren eingeschränkt. Für die vorliegende Arbeit besteht diesbezüglich kein Handlungsbedarf.

Die effiziente Abwicklung aufgetretener, technischer Produktänderungen hängt von zwei Faktoren ab. Einerseits von einer effizienten Organisation der technischen Änderungsprozesse und andererseits von geeigneten Hilfsmitteln, auf welche zur effizienten Abwicklung zurückgegriffen werden kann. Die effiziente Organisation von technischen Änderungsprozessen

wird im folgenden Unterkapitel diskutiert. Hinsichtlich geeigneter Hilfsmittel besteht aus Sicht des Autors jedoch Handlungsbedarf. Wie durch den Änderungsmanagementreport 2005 der Technischen Universität München [DKJR05] festgestellt wurde, ist insbesondere die Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen nicht prozesssicher. Somit tragen bisherige Ansätze zur Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen nicht zur effizienten Abwicklung von technischen Produktänderungen bei.

3.5.2 Organisation des technischen Änderungsmanagements

Im Vorfeld der Beschreibung der organisierten Abwicklung von technischen Produktänderungen wurden aus bestehenden Normen und entsprechender Fachliteratur Anforderungen an die organisierte Abwicklung von technischen Produktänderungen abgeleitet. Es wurde festgestellt, dass keiner der beschriebenen technischen Änderungsprozesse alle identifizierten Anforderungen erfüllt. Die Schwachstellen liegen dabei insbesondere im Bereich der unzureichenden Betrachtung möglicher Änderungslösungsalternativen, der schwachen Integration der Analyse der Ursachen, Risiken und Auswirkungen technischer Produktänderungen sowie dem nur selten vorgesehen Wissensrückfluss. Es besteht somit Bedarf hinsichtlich eines Referenzprozesses, der die identifizierten Schwächen behebt.

3.5.3 Hilfsmittel des technischen Änderungsmanagements

Im Bereich der Hilfsmittel des technischen Änderungsmanagements wird zum Teil auf bewährte Hilfsmittel aus dem Qualitäts- oder Projektmanagement und zum Teil auf spezielle Hilfsmittel für die Untersuchung technischer Produktänderungen zurückgegriffen. Für die Ursachen- und Risikoanalyse erfüllen die beschriebenen, universell einsetzbaren Qualitätswerkzeuge ihren Zweck, sofern sie konsequent und richtig angewendet werden. Somit besteht diesbezüglich kein Handlungsbedarf.

Die Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen ist in die Bereiche Produkte, Prozesse und Ressourcen, Kosten und Zeit aufgeteilt worden. Die genaue Ermittlung der Zeitauswirkungen einer technischen Produktänderung ist generell schwierig, da sie von vielen, teilweise emergenten Faktoren abhängt und mehr oder weniger einen Schätzwert darstellt.

Somit sind beispielsweise bestehende Projektmanagementwerkzeuge dazu in der Lage, mit ausreichender Genauigkeit Zeitauswirkungen abzuschätzen.

Die systematische Ermittlung der Änderungskosten stellt ein sehr komplexes Thema dar. Um diesbezüglich einen Handlungsbedarf abzuschätzen, ist ein tieferer Einstieg in die Thematik nötig, als er in dieser – ingenieurwissenschaftlichen – Arbeit erfolgt ist. Der beispielhaft beschriebene Ansatz von Conrat Niemerg erscheint aber als sehr umfassend und ebenfalls ausreichend genau. Aus technischer Sicht interessanter sind die Ermittlung der Auswirkungen auf Produkte, Prozesse und Ressourcen. Die Ermittlung der Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen erfolgt, wie beschrieben, sehr stark auf Basis der Einschätzung von Fachleuten, welche über die Änderungsgremien informiert werden. Der Erfolg dieses Vorgehens ist damit sehr stark an die Organisation der Abwicklung der technischen Produktänderungen, den Informationsfluss innerhalb dieser Organisation und an das Wissen und die Erfahrung der beteiligten Mitarbeiter geknüpft. Hier besteht sicherlich Handlungsbedarf hinsichtlich einer bestmöglichen Unterstützung, so dass die Mitarbeiter effizient und richtig entscheiden können. Auf diesen Handlungsbedarf kann jedoch im Rahmen dieser Arbeit nur bedingt eingegangen werden.

Die Fortpflanzung von technischen Produktänderungen in und zwischen Produkten stellt für die Produktentwicklung sicherlich das bedeutendste Themenfeld dar. In diesem Bereich wurden die drei Ansätze CCPM, C-FAR und RedesignIT vorgestellt. Den drei Ansätzen ist gemein, dass sie einerseits nur die Fortpflanzung innerhalb eines Produktes und auch nur die Fortpflanzung zwischen Komponenten dieses Produktes analysieren können. Zudem sind sie teilweise auf einige wenige Komponenten beschränkt, was im Zuge stetig komplexer werdender Produkte sicherlich die Anwendbarkeit einschränkt. Zusätzlich zur Kenntnis der von einer Änderungsfortpflanzung betroffenen Teile wäre es zudem für einen Produktentwickler interessant zu wissen, wie sich eine technische Produktänderung auf das Verhalten eines Produktes und somit auf dessen Akzeptanz beim Kunden sowie auf dessen Herstellbarkeit auswirkt. Da dies die beschriebenen Ansätze nicht abbilden können, besteht hier ein Handlungsbedarf. Dies steht ferner im Zusammenhang mit der bereits früher identifizierten „prozesssicheren Ermittlung der Änderungsauswirkungen“ und deckt, in Ansätzen, die Ermittlung der Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen ab.

Um fundiert über einen Änderungsantrag entscheiden zu können, ist es erforderlich die identifizierten Auswirkungen miteinander in Verbindung bringen zu können. Hierzu konnte kein

durchgängiges Konzept identifiziert werden, so dass auch auf diesem Gebiet Handlungsbedarf besteht.

3.5.4 Fazit

Insgesamt konnte folgender Handlungsbedarf hergeleitet werden:

Es besteht Handlungsbedarf im Bereich der Analyse der Änderungsauswirkungen auf Produkte inklusive deren Herstellbarkeit, der Änderungsauswirkungen auf andere Produkte und der Einbettung dieser Analyse in einem Entscheidungsprozess, welcher die Auswirkungen technischer Produktänderungen auf Produkte, deren Herstellbarkeit, die Wirtschaftlichkeit einer technischen Produktänderung und deren Zeitauswirkungen zueinander in Relation setzt. Dies soll zudem in einen Referenzprozess eingebettet sein, welcher die in Kapitel 3.2.1 identifizierten Anforderungen erfüllt.

4 Characteristics-Properties Modelling / Property-Driven Development

In diesem Kapitel wird zunächst begründet, warum der Ansatz des Characteristics-Properties Modelling/Property-Driven Development ausgewählt wurde. Anschließend daran wird dieser beschrieben und auf sein Potential zur Unterstützung der Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen untersucht. Zum Abschluss des Kapitels wird eine Hypothese formuliert.

4.1 Begründung der Auswahl des Produktmodells

Allmannsberger [Allm98] hat am Beispiel der Ursachenanalyse festgestellt, dass eine Analyse komplexer werdender Produkte nur noch mit Ansätzen, die auf dem Ursache-Wirkungs-Prinzip beruhen, sinnvoll möglich ist. Diese Feststellung lässt sich sicherlich auch auf den umgekehrten Fall, die Auswirkungsanalyse, übertragen. Da die zuvor geforderte Form der Auswirkungsanalyse technischer Produktänderungen im Idealfall auf einem die Analyse unterstützenden Produktmodell³⁹ beruht, schränkt die Feststellung von Allmannsberger die Auswahl an Produktmodellen ein. Im Wesentlichen bleiben die Ansätze des Axiomatic Design nach Suh und der am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD entwickelte Ansatz des Characteristics-Properties Modelling / Property-Driven Developments (CPM/PDD) übrig. Prinzipiell ähneln sich beide Modelle darin, dass sie zwei wesentliche Elementklassen unterscheiden: Elemente, die dem Produktentwickler vorgegeben sind und Elemente, die der Produktentwickler festlegen kann. Der Unterschied zwischen den Ansätzen liegt darin, wie die beiden Elemente miteinander in Relation stehen. Das Axiomatic Design versucht mittels „mapping“ den Kundenwünschen im Idealfall genau eine physische Repräsentation gegenüberzustellen. Als Folge daraus müssten sich dann komplett modular aufgebaute Produkte ergeben, bei denen die Änderung eines Moduls keine Auswirkungen auf die anderen Module haben dürfte. Der CPM/PDD-Ansatz geht hingegen davon aus, dass eine Anforderung durch mehrere Ele-

³⁹ Unter einem Produktmodell wird hier ein allgemeines Konzept verstanden, welches erlaubt, ein Produkt in seinen Elementen, deren Abhängigkeiten und zugehörigen Informationen darzustellen. Es ist nicht unbedingt die Verwendung des Begriffs im Kontext des Produktdatenmanagements bzw. von CAD-Systemen gemeint.

mente realisiert werden kann, welche zudem in verschiedenen Bauteilen vorkommen und somit einen unterschiedlichen Einfluss auf die einzelnen Anforderungen haben können. Zudem können diese Elemente gegenseitig voneinander abhängen und sich sowohl positiv als auch negativ beeinflussen. Somit erscheint der CPM/PDD-Ansatz eher in der Lage, die Auswirkungen technischer Produktänderungen möglichst vollständig zu bestimmen. Hingegen weist das Axiomatic Design Vorteile im Bereich der Optimierung von Produkten auf, so dass die Fortpflanzung technischer Produktänderungen möglichst gering ausfällt. Dies macht das Axiomatic Design, wie von Fricke und Schulz [FrSc05] gezeigt (siehe Kapitel 3.1.7), für die Vermeidung und Vorverlagerung technischer Produktänderungen interessant. Somit wird der CPM/PDD-Ansatz im Folgenden detailliert betrachtet und hinsichtlich seines Potentials der Unterstützung der Analyse technischer Produktänderungen untersucht.

Der Ansatz des Characteristics-Properties Modelling / Property-Driven Development (CPM/PDD) wurde seit Ende der 1990er Jahre am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD der Universität des Saarlandes unter Federführung von Prof. Dr.-Ing. Christian Weber entwickelt. CPM/PDD stellt einen neuartigen Ansatz zur Modellierung von Produkten und – darauf aufbauend – des Produktentwicklungsprozesses dar. Motivation für die Entwicklung des CPM/PDD-Ansatzes war unter anderem die Stagnation in der Weiterentwicklung der Konstruktionsmethodik am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts, die zurückhaltende praktische Anwendung der Konstruktionsmethodiken im industriellen Umfeld, die fehlenden Querbezüge zwischen der Konstruktionsmethodik und den verfügbaren CAx-Systemen sowie die mangelhafte Diskussion und Berücksichtigung der Belange der Konstruktionsmethodik in der Entwicklung von CAx-Systemen [WeWe00].

Dieses Kapitel fasst den für diese Arbeit relevanten Teil des Ansatzes auf Basis der bisherigen Veröffentlichungen zusammen: [WeWe00, WeWe01, WeDe02, WeDe02a, WeWD02, WeDe03, WeWD03, Webe05, DZBW06, Webe07, Webe07a, Webe08, VWBZ09].

4.2 Merkmale und Eigenschaften

Grundlage des CPM/PDD-Ansatzes ist die strikte Unterscheidung zwischen Merkmalen und Eigenschaften eines Produktes. Die von Weber und Werner [WeWe00] festgelegte Abgren-

zung von Merkmalen und Eigenschaften orientiert sich an den Unterscheidungen von Hubka und Eder [Hubk73, HuEd92] sowie Andreassen [Andr99, HaAn03]:

- **Merkmale (Characteristics C_j)** beschreiben Struktur, Gestalt und Beschaffenheit eines Produktes und können direkt vom Entwickler unmittelbar beeinflusst oder festgelegt werden. Beispiele hierfür sind Geometrien und Materialien.
- **Eigenschaften (Properties P_j)** beschreiben das Verhalten eines Produktes und können vom Entwickler nicht direkt beeinflusst werden. Sie können vom Entwickler nur mittelbar über die Merkmale festgelegt werden. Beispiele für Eigenschaften sind Gewicht, Sicherheit, Ästhetik, Fertigungs- und Montagegerechtheit sowie die Kosten eines Produktes.

Die Merkmale im Sinne des CPM/PDD-Ansatzes ähneln neben den Internen Eigenschaften (Internal Properties) der Theorie technischer Systeme (Theory of Technical Systems TTS) nach Hubka und Eder [HuEd92] auch den, in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Design Parameters des Axiomatic Design nach Suh [Suh90, Suh01, Suh05]. Analog ähneln die Eigenschaften im Sinne des CPM/PDD-Ansatzes den Externen Eigenschaften (External Properties) der TTS und den Functional Requirements des Axiomatic Design.

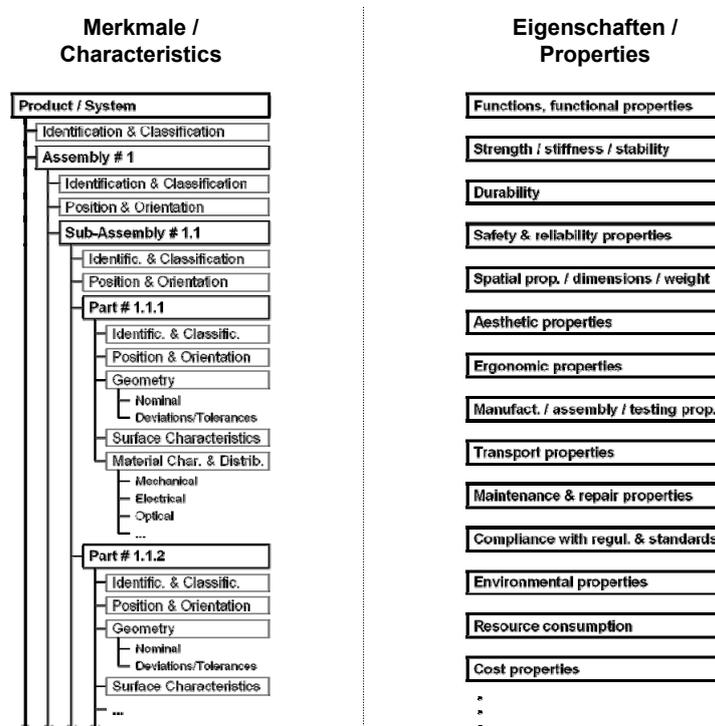


Abbildung 4.1: Mögliche Strukturierung von Merkmalen und Eigenschaften [WeWe01, Webe07a]

Um den Überblick über die tausenden von Merkmalen und Eigenschaften eines Produktes zu behalten, bietet sich eine Reihe möglicher Strukturierungen an. Auf der Merkmalsseite bietet sich, da die Merkmale die physisch vorhandenen Ausprägungen und Bestandteile eines Produktes darstellen, eine Strukturierung gemäß der Erzeugnisstruktur, wie sie in Stücklisten oder Teilebäumen von CAD- oder PDM-Systemen dargestellt ist (siehe Abbildung 4.1), an. In der frühen Phase könnte jedoch auch eine Gliederung nach Organen/Funktionsträgern sinnvoller sein. Die Eigenschaftsseite lässt sich nur schwerlich einer festen Strukturierung unterwerfen, da sie prinzipiell sehr stark branchen-, produkt-, firmen- oder lebenszyklusabhängig sein kann. Aus diesem Grund werden die möglichen Haupteigenschaften in Form einer losen Liste dargestellt (siehe Abbildung 4.1). Ebenso wie die Strukturierung ist auch die Gewichtung oder die Bedeutung der jeweiligen Eigenschaften stark von Branche oder Unternehmen abhängig.

4.3 Produktmodell: Characteristics-Properties Modelling (CPM)

Das Produktmodell auf Basis des Characteristics-Properties Modelling (CPM) Ansatzes besteht neben den bereits beschriebenen Merkmalen und Eigenschaften aus weiteren Elementen, welche im Folgenden kurz vorgestellt werden.

4.3.1 Relationen (R_j , R_j^{-1})

Um Produkte formal modellieren zu können, benötigt jede Eigenschaft eine Relation, welche sie mit den zugehörigen Merkmalen verbindet. In CPM existieren zwei Richtungen der **Relationen (Relations R_j , R_j^{-1})** zwischen Merkmalen und Eigenschaften (vgl. Abbildung 4.2):

- Die **Analyse** (R_j) bestimmt auf Grundlage bereits bekannter oder festgelegter Merkmale die Eigenschaften eines Produktes beziehungsweise sagt diese für ein noch nicht existierendes Produkt voraus. Beispielsweise kann die Analyse anhand von Abschätzungen, Erfahrung, Berechnungen, Tabellen/Diagrammen, Simulationen oder Experimenten erfolgen.
- Bei der **Synthese** (R_j^{-1}) werden ausgehend von den geforderten Eigenschaften die Merkmale eines Produktes bestimmt bzw. festgelegt. Als Hauptaufgabe der Produktentwicklung zielt die Synthese auf das Finden einer möglichst optimalen Merkmalskombination.

Dazu bedient sich die Synthese beispielsweise des menschlichen Genius, Assoziationen, der Erfahrung, Katalog- und Standardlösungen, Regelwerken, methodischen bzw. systematischen Ansätzen, Kreativitätstechniken, inversen (Überschlags-)Rechnungen oder speziellen Computerwerkzeugen.

Im Gegensatz zur Analyse ist die Synthese in der Regel nicht eindeutig, weshalb es hier zu den klassischen Zielkonflikten der Produktentwicklung kommen kann (Abbildung 4.2). Der Grund dafür ist, dass verschiedene Soll-Eigenschaften die gleichen Merkmale in unterschiedlichen Ausprägungen verlangen. Dies kann unter anderem auch eine Quelle für die Fortpflanzung von technischen Produktänderungen darstellen.

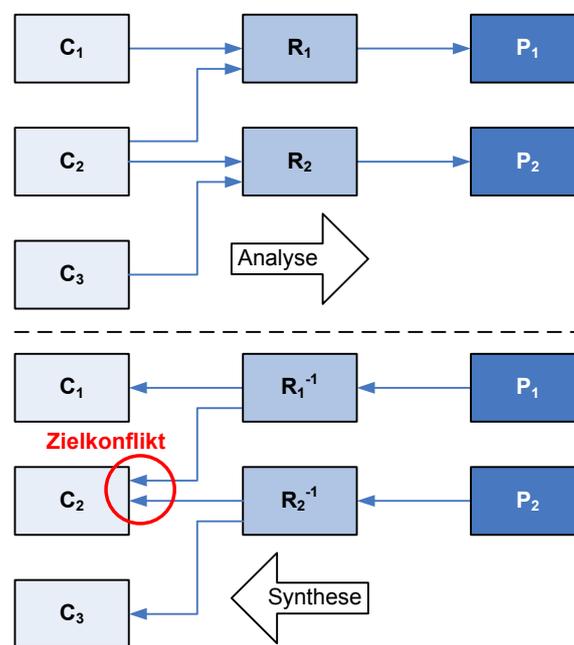


Abbildung 4.2: Analyse und Synthese sowie Zielkonflikte im CPM-Ansatz

4.3.2 Externe Bedingungen der Entwicklung (EC_j)

Da eine Produktentwicklung in der Regel unter bestimmten Randbedingungen abläuft, sind die erwarteten/realisierten Eigenschaften auch nur unter diesen gültig. Dies wird im CPM/PDD-Ansatz durch die sogenannten *externen Bedingungen der Entwicklung (External Conditions EC_j)* abgebildet, welche direkt mit den Relationen verbunden sind (vgl. Abbildung 4.3). Beispiele für externe Bedingungen können festgelegte Fertigungssysteme, verwendete Normen oder eingeschränkte Einsatzbedingungen sein.

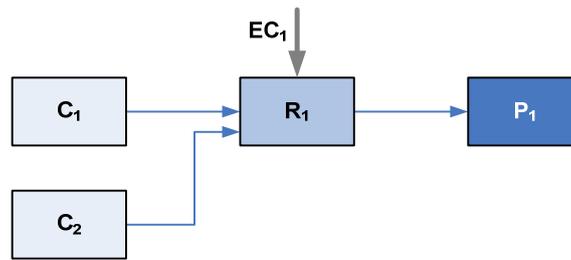


Abbildung 4.3: Externe Bedingungen im CPM-Ansatz

4.3.3 Innere Abhängigkeiten (D_x)

Die einzelnen Merkmale können nicht nur mit den Eigenschaften sondern auch untereinander in Beziehung stehen. Diese Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen werden durch die sogenannten *inneren Abhängigkeiten (Dependencies D_x)* berücksichtigt (Abbildung 4.4). Innere Abhängigkeiten können „harte“ geometrische Abhängigkeiten (z.B. Durchmesser des Wellenabsatzes muss gleich dem Innendurchmesser der Nabe sein), „weiche“ geometrische Abhängigkeiten (z.B. Zahnraddurchmesser in Relation zum Gehäusedurchmesser) oder nicht-geometrische Abhängigkeiten (z.B. Werkstoffpaarungen) darstellen. „Harte“ geometrische Abhängigkeiten können in der Regel von parametrischen CAD-Systemen abgebildet und dokumentiert werden, „weiche“ und nicht-geometrische Abhängigkeiten werden in der Regel nicht durch bestehende Systeme dokumentiert. Innere Abhängigkeiten stellen in Bezug auf technische Produktänderungen eine weitere Quelle der Änderungfortpflanzung dar.

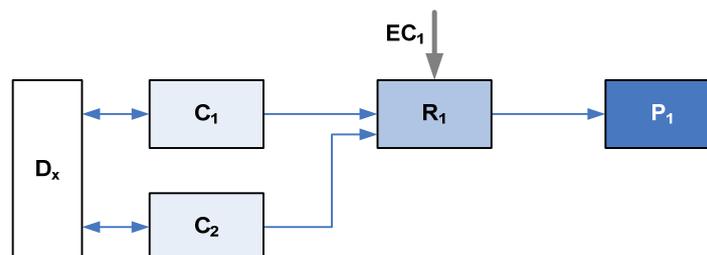


Abbildung 4.4: Innere Abhängigkeiten im CPM-Ansatz

4.3.4 Zusätzliche Eigenschaften (P_{+1})

Ein Produkt besitzt nahezu unendlich viele Eigenschaften, es wird aber nur ein Teil davon für die Produktdarstellung als relevant angenommen. Häufig werden im Laufe eines Produktlebenszyklus zusätzliche Eigenschaften bedeutsam (z.B. neue Anforderungen, Reaktion auf

Konkurrenzprodukte etc.). Diese können sich positiv oder negativ auf das Verhalten des Produktes auswirken beziehungsweise irrelevant sein. Sollten zusätzliche Eigenschaften relevant werden, so können sie als **Additional Properties (P_{+1})** zusammen mit ihren Relationen (R_{+1}) und externen Bedingungen (EC_{+1}) wie jede andere Eigenschaft in das Modell integriert werden (Abbildung 4.5).

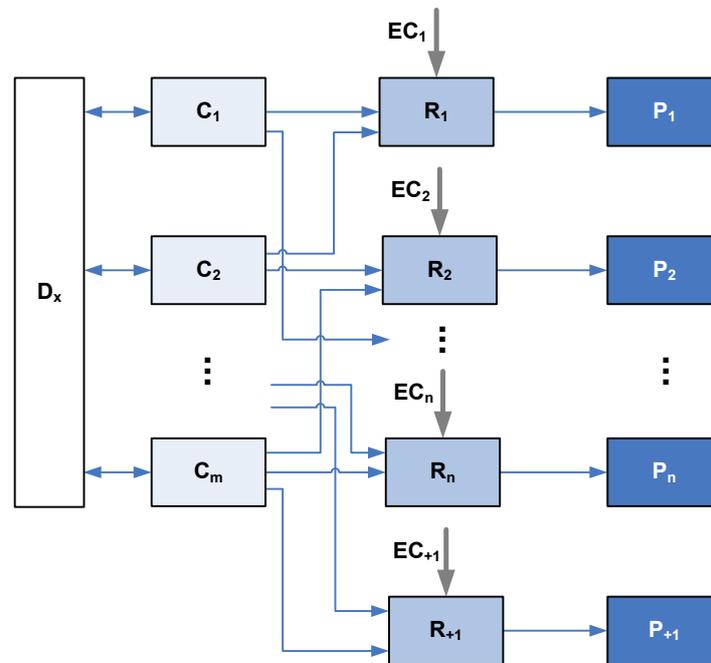


Abbildung 4.5: Zusätzliche Eigenschaften im CPM-Ansatz

4.3.5 Lösungsmuster

In Produkten tauchen wiederkehrende Lösungselemente auf. Diese werden innerhalb des CPM/PDD-Ansatzes als **Lösungsmuster (Solution Patterns)** bezeichnet und können als bestimmte Kombinationen aus Merkmalen und Eigenschaften dargestellt werden. Aus praktischer Sicht, spielen die Lösungsmuster eine wichtige Rolle, da sie unter anderem zur Minimierung des Risikos (Einsatz bekannter/bewährter Lösungsmuster)⁴⁰, zur Vereinfachung und Beschleunigung der Produktentwicklung, zur Standardisierung und Wiederverwendung von Wissen sowie zur Ermöglichung der Produktmodularisierung beitragen. Bereits bekannte Lösungsmuster können sowohl für die Analyse als auch die Synthese benutzt werden und kön-

⁴⁰ Vergleiche hierzu den DRBFM-Ansatz auf Seite 42

nen in Form von Variantenprogrammen oder Feature-Bibliotheken in CAD-Systemen abgebildet werden. Schematisch ist ein Lösungsmuster in Abbildung 4.6 dargestellt.

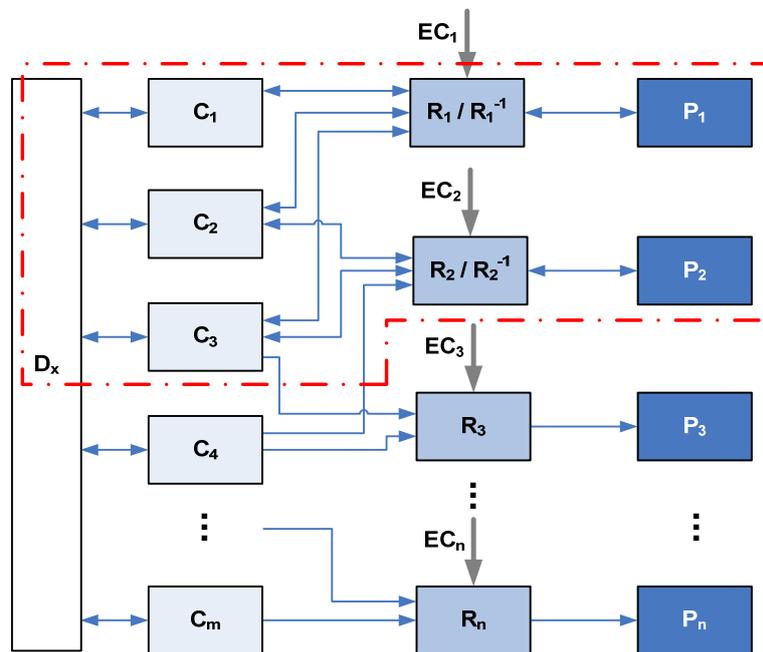


Abbildung 4.6: Schematische Darstellung eines Lösungsmusters im CPM/PDD-Ansatz

4.3.6 X-Systeme

Eine exaktere Betrachtung der externen Bedingungen der Entwicklung, welche direkt in die Relationen eingehen und somit den Zusammenhang zwischen Merkmalen und Eigenschaften wesentlich beeinflussen, wird durch die sogenannten **X-Systeme** ermöglicht. Die X-Systeme stellen Partnersysteme dar, mit welchen das sich in der Entwicklung befindliche technische System interagieren können muss. Das klassische Beispiel für ein solches Partnersystem ist das Fertigungssystem. Anhand der X-Systeme können beispielsweise die Werkzeuge des Design for X in den Ansatz integriert werden. Alternativ können die X-Systeme im Sinne des Simultaneous Engineering dazu genutzt werden, um simultan zur Produktentwicklung das Partnersystem zu entwickeln (Design of X).

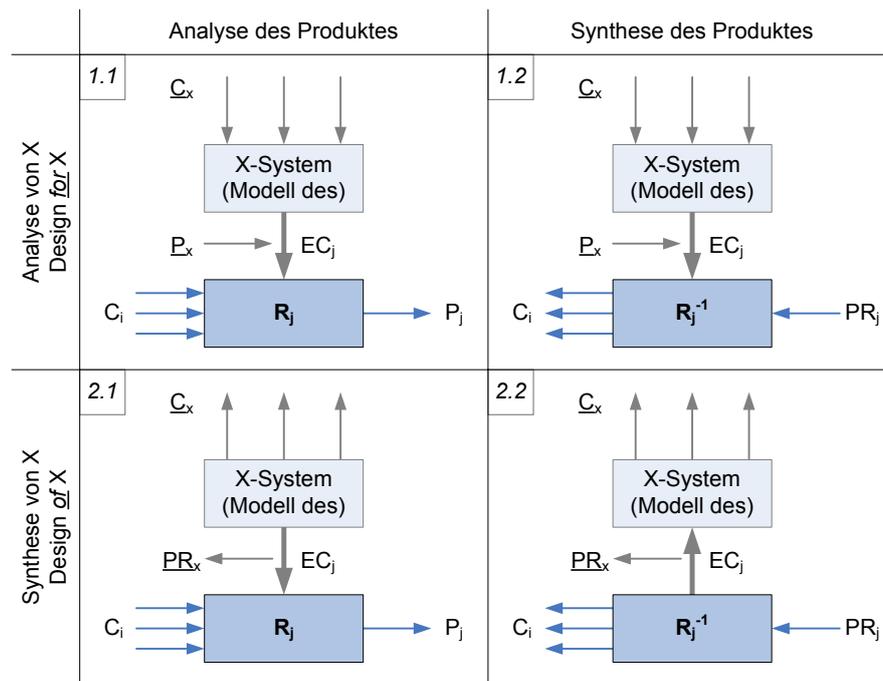


Abbildung 4.7: Darstellung der X-Systeme zusammen mit Design for X (obere Reihe) sowie Design of X (untere Reihe) und Produktanalyse (linke Spalte) sowie Produktsynthese (rechte Spalte) (nach [Webe07])

Wie in Abbildung 4.7 dargestellt ist, sind die im Produktmodell der Analyse und Synthese wichtigen externen Bedingungen (EC_j) ein Ergebnis der Eigenschaften des X-Systems (\underline{P}_x), mit denen das Produkt in seinem Lebenszyklus zu Rande kommen muss. X-Systeme können prinzipiell auch anhand des CPM/PDD-Ansatzes entwickelt werden. Dabei ist sowohl die bislang genutzte Analyse des X-Systems (Ermittlung der externen Bedingungen anhand dessen Eigenschaften) als auch die Synthese des X-Systems auf Basis der geforderten Eigenschaften des Produktes möglich. Somit ergeben sich die folgenden vier, in Abbildung 4.7 dargestellten, Fälle:

- *Fall 1.1 – Analytisches Design for X:*

Ausgehend von den vorhandenen Merkmalen des Produktes (C_i) werden unter Beachtung der externen Bedingungen (EC_j), welche sich aus den gegebenen Eigenschaften des X-Systems (\underline{P}_x) ergeben, die Eigenschaften des Produktes (P_j) bestimmt.

- *Fall 1.2 – Synthetisches Design for X:*

Ausgehend von den Soll-Eigenschaften des Produktes (PR_j) werden unter Beachtung der externen Bedingungen (EC_j), welche sich aus den gegebenen Eigenschaften des X-Systems (\underline{P}_x) ergeben, die Merkmale des Produktes (C_i) festgelegt oder verändert.

- *Fall 2.1 – Design of X (Produkt: analytisch; X-System: synthetisch):*
Ausgehend von den vorhandenen Merkmalen des Produktes (C_i) werden simultan die Eigenschaften des Produktes (P_j) und die externen Bedingungen (EC_j) bestimmt. Die externen Bedingungen bestimmen dann die Soll-Eigenschaften des X-Systems (\underline{PR}_x), welche durch die Festlegung oder Veränderung von dessen Merkmalen (\underline{C}_x) realisiert werden müssen.
- *Fall 2.2 – Synthetisches Design of X:*
Ausgehend von den Soll-Eigenschaften des Produktes (PR_j) werden die Merkmale des Produktes (C_i) und simultan passende externe Bedingungen (EC_j) festgelegt oder verändert. Die externen Bedingungen bestimmen dann die Soll-Eigenschaften des X-Systems (\underline{PR}_x), welche durch die Festlegung oder Veränderung von dessen Merkmalen (\underline{C}_x) realisiert werden müssen.

4.4 Prozessmodell: Property-Driven Development (PDD)

Die Käufer eines Produktes interessieren sich nahezu ausschließlich für die Eigenschaften eines Produktes, weil diese den Wert eines Produktes widerspiegeln, und sind auch nur bereit dafür zu zahlen [Deub07]. Die Herausforderung für den Konstrukteur ist somit, auf Basis der vom Kunden erwarteten Soll-Eigenschaften, die Merkmale des Produktes so zu gestalten, dass die erzielten Ist-Eigenschaften den Kundenanforderungen möglichst nahe kommen.

Aufbauend auf dem beschriebenen CPM-Produktmodell lässt sich das Property-Driven Development (PDD), ein Ansatz zur Modellierung des Produktentwicklungsprozesses, ableiten. Der PDD-Ansatz stellt dabei diesen Prozess als eine Sequenz aus Synthese-, Analyse- und Evaluierungs-Schritten dar, welche das Ziel hat, die **geforderten Soll-Eigenschaften (Properties Required PR_j)** so gut wie möglich zu erfüllen, d.h. die **Differenz zwischen den Soll- und Ist-Eigenschaften (ΔP_j)** zu minimieren. Mit jedem Synthese-Schritt werden mehr Merkmale und Merkmalswerte bestimmt und mit jedem Analyse-Schritt werden die Informationen über das Verhalten des Produktes präziser⁴¹. Die Produktentwicklung im Verständnis des PDD-Ansatzes lässt sich, wie in Abbildung 4.8 gezeigt, als Regelkreis visualisieren.

⁴¹ In Anlehnung an Hatchuel und Weil [HaWe03] lässt sich auch sagen, dass Konzepte zu Wissen werden.

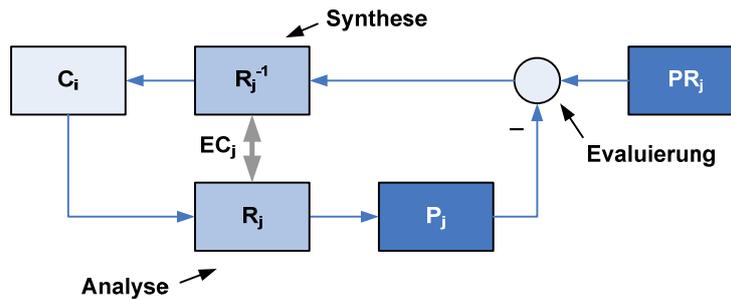


Abbildung 4.8: Regelkreis der Produktentwicklung im PDD-Ansatz (angelehnt an [Deub07, Webe07a])

Bei der Entwicklung eines Produktes mit Hilfe des PDD-Ansatzes werden die folgenden vier Schritte immer wieder durchlaufen:

- **Synthese**
Ausgehend von den geforderten Soll-Eigenschaften (PR_j) legt der Produktentwickler Merkmale (C_i) fest, die geeignet erscheinen, das gewünschte Produktverhalten zu erzeugen (Abbildung 4.9, I).
- **Analyse**
Ausgehend von den zuvor festgelegten Merkmalen werden die tatsächlichen Ist-Eigenschaften (P_j) bestimmt (Abbildung 4.9, II).
- **Bewertung**
Jede geforderte Soll-Eigenschaft wird mit den tatsächlichen Ist-Eigenschaften verglichen und die verschiedenen (Einzel-)Abweichungen werden bestimmt (ΔP_j) (Abbildung 4.9, III).
- **Schlussfolgerung**
Anhand der Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Eigenschaften wird im Schlussfolgerungsschritt entschieden, welche Eigenschaften als nächstes betrachtet oder optimiert werden müssen. Aufbauend auf dem Ergebnis der Schlussfolgerungen werden somit im folgenden Syntheseschritt weitere Merkmale festgelegt oder bestehende verändert. Das Ergebnis der Schlussfolgerung treibt den Produktentwicklungsprozess an (Abbildung 4.9, IV).

Der Produktentwicklungsprozess endet, wenn die drei folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Alle zur Fertigung und Montage benötigten Merkmale sind festgelegt.

- Alle maßgeblichen Eigenschaften können mit ausreichender Sicherheit und Genauigkeit bestimmt oder vorausgesagt werden.
- Alle bestimmten oder vorausgesagten Ist-Eigenschaften stimmen mit den erwarteten Soll-Eigenschaften hinreichend gut überein ($\Delta P_j = |PR_j - P_j| \rightarrow 0$).

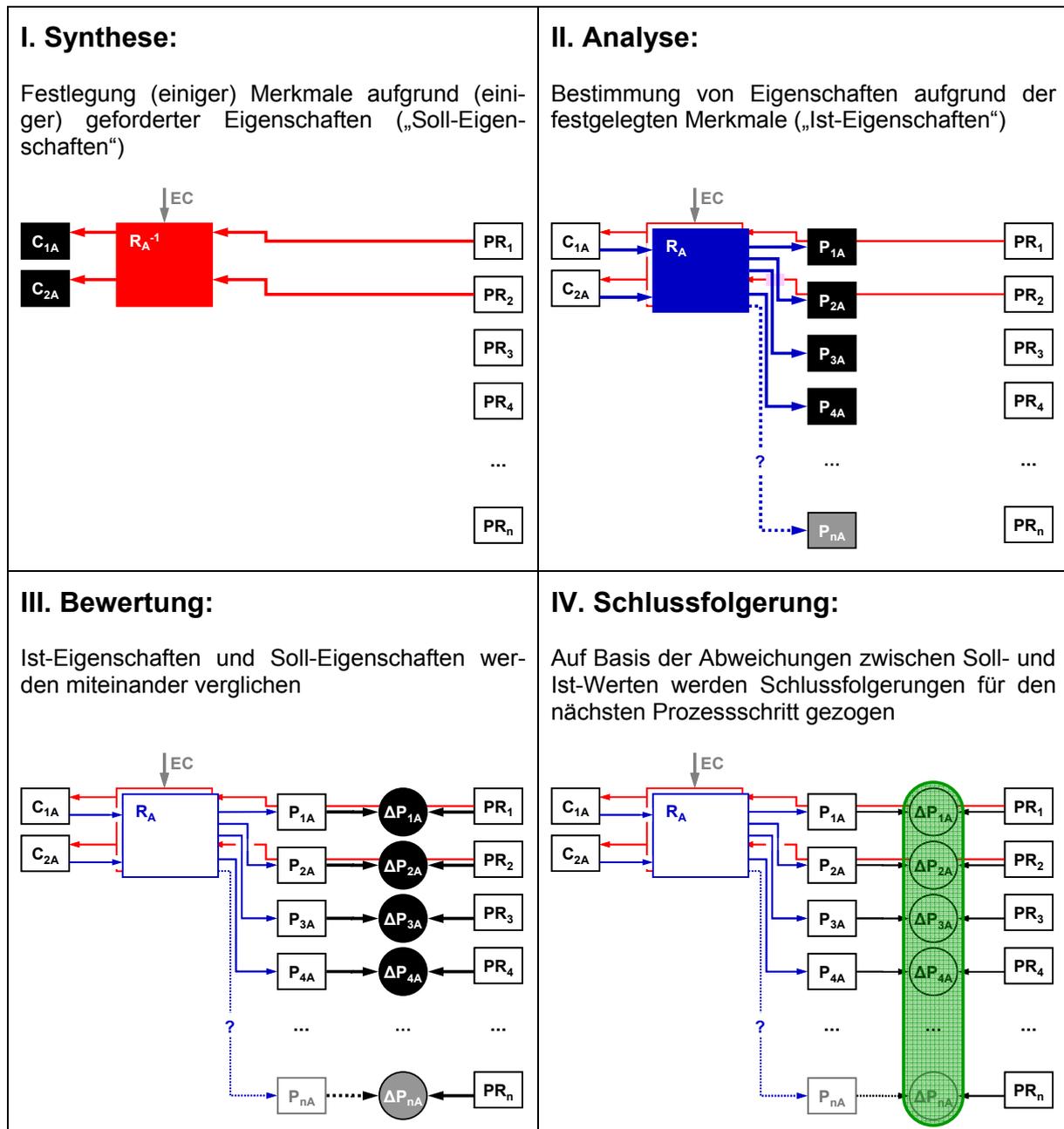


Abbildung 4.9: Ablauf des Property-Driven Developments (Zyklus A) [WeDe02, Deub07]

Die Angabe eines strikten Kriteriums für das Ende des Produktentwicklungsprozesses ist nicht möglich, da es hier einige Eigenschaften gibt, welche auf jeden Fall und zu 100% erfüllt sein müssen (z.B. Sicherheit, Gesetzeskonformität), wohingegen für andere Eigenschaften ein

gewisser Spielraum besteht (z.B. sportliches Fahrverhalten). Dies zeigt auch, dass einige Eigenschaften nicht objektiv messbar sind, was die Beurteilung ebenfalls erschwert.

4.5 Bisherige Anwendungsgebiete

Der noch relative junge Ansatz des Characteristics-Properties Modelling / Property-Driven Development wurde in den vergangenen Jahren zur Verifizierung und Verbesserung auf eine Reihe von Fragestellungen angewandt. Dazu gehören die Charakterisierung und Klassifizierung von informationstechnischen Werkzeugen im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess ([WeWe00, WeDe02, WeDe03, WeWD03, Webe05]), die formalisierte Darstellung des Design for X ([WeWe01, Webe07]), die Entwicklung von Product-Service Systems (PSS) ([WSBD04, WeSB04, Stei05]), die Steuerung des Produktentwicklungsprozesses ([DeSW05, Webe05, Deub07]), die exemplarische Anwendung zur anforderungsgetriebenen Planung von Fertigungssystemen ([DZBW06]) und die Bestimmung der Produktreife während der Produktentwicklung ([Webe07, Müll08]). Ein parallel zu dieser Arbeit laufendes Forschungsprojekt befasst sich mit dem Aufbau verhaltensbeschreibender Produktkataloge auf Basis des CPM/PDD-Ansatzes ([WaCK07]).

4.6 Potentialabschätzung bezogen auf technische Produktänderungen

Die Ausführungen in diesem Kapitel deuten darauf hin, dass der CPM/PDD-Ansatz eine vielversprechende Basis für die detaillierte Analyse der (produktseitigen) Auswirkungen technischer Produktänderungen bietet. Dies zeigt sich insbesondere darin, dass es mit dem Ansatz möglich erscheint, diverse Änderungsauslöser in einem Netzwerk, welches prinzipiell die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zeigt, darzustellen. Außerdem werden direkt die Auswirkungen auf den Kunden ersichtlich. Ferner scheint der Ansatz die Möglichkeit zu bieten, dass hinsichtlich der Änderungsfortpflanzung neben den Abhängigkeiten zwischen Bauteilen (hier i.e.S. innere Abhängigkeiten) auch bauteilinterne Abhängigkeiten (hier i.e.S. Relationen) berücksichtigt und analysiert werden können. Grundlegende Untersuchungen haben bereits gezeigt, dass anhand des CPM/PDD-Ansatzes nicht nur Produkte entwickelt, sondern auch bestehende Produkte nachmodelliert werden können. Daraus lässt sich schließen, dass ein auf

CPM/PDD basierendes Verfahren zur Analyse und Bewertung technischer Produktänderungen auch bei Produkten angewandt werden kann, welche nicht originär mit CPM/PDD entwickelt wurden. Allerdings steigt hierfür natürlich der Aufwand durch die Nachmodellierung.

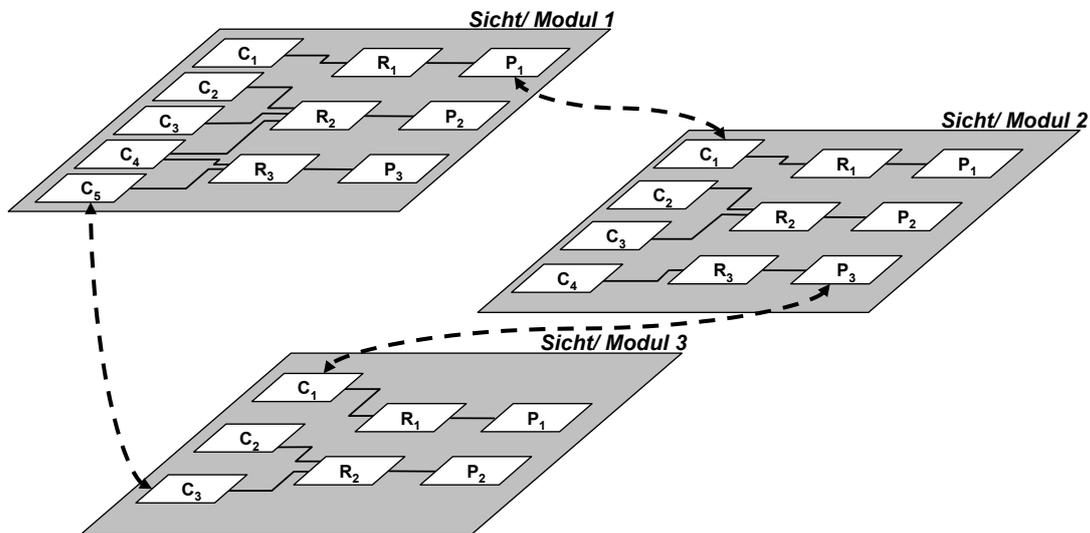


Abbildung 4.10: Sichtenmodell [Deub07]

Problematisch erscheint jedoch die empfundene Komplexität bei der Betrachtung eines in CPM dargestellten Produktmodells. Bereits einfache Produkte, wie z.B. ein Kugellager, weisen so viele Merkmale, Eigenschaften und Verbindungen zwischen Eigenschaften auf, dass diese im Falle einer Änderungsauswirkungsanalyse nur noch schwierig nachzuvollziehen sind. Außerdem kann es in Abhängigkeit vom Blickwinkel auf ein Produkt dazu kommen, dass Eigenschaften zu Merkmalen und Merkmale zu Eigenschaften werden. Beispielsweise zeigt sich dies an der Eigenschaft „Gewicht der Welle“, welches unter anderem durch die Merkmale „Wellendurchmesser“, „Wellenlänge“ und „Wellenwerkstoff“ bestimmt wird. Andererseits wird die Eigenschaft „Gesamtgewicht des Produktes“ durch das Merkmal „Gewicht der Welle“ mit beeinflusst. Dieses Problem wurde bereits von Deubel [Deub07] erkannt und durch ein Sichtenmodell abgebildet. In diesem Modell unterscheidet Deubel, wie in Abbildung 4.10 dargestellt, abteilungs- oder aufgabenspezifische Sichten oder Module. Innerhalb solcher Sichten können jedoch die CPM/PDD-Netzwerke auch weiterhin aufgrund ihrer Komplexität unübersichtlich werden, weshalb hier weiterer Optimierungsbedarf hinsichtlich der praktischen Anwendbarkeit des Ansatzes besteht. Außerdem gibt es innerhalb der Produktentstehung weitere Sichtweisen auf ein Produkt, wie z.B. die Gesamtsystemsicht, die Konstruktionssichten (mechanisch, elektrisch etc.) und die Prozesssichten (Fertigung, Montage, Logistik, Einkauf etc.). Auch dies spielt für das Gesamtverhalten eines Produktes im All-

gemeinen und für die Analyse und Bewertung technischer Produktänderungen im Speziellen eine bedeutsame Rolle. Ferner ist der Ansatz der heutigen Form auf die Darstellung eines Produktes beschränkt, so dass produktübergreifende Fortpflanzungen von technischen Produktänderungen nicht berücksichtigt werden können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der CPM/PDD-Ansatz großes Potential im Bereich der Analyse und Bewertung technischer Produktänderungen besitzt. Um den Ansatz anwenden zu können, muss er jedoch erweitert und hinsichtlich der empfundenen Komplexität optimiert werden.

4.7 Hypothese

Zum Abschluss dieses Kapitels wird eine Hypothese formuliert, welche in den folgenden Kapiteln bestätigt oder widerlegt werden soll.

Der CPM/PDD-Ansatz kann mit entsprechenden konzeptionellen und methodischen Erweiterungen eine geeignete Grundlage für die Analyse der Änderungsauswirkungen auf Produkte, inklusive deren Herstellbarkeit und der Änderungsauswirkungen auf andere Produkte darstellen. Darauf aufbauend kann ein Ansatz entwickelt werden, welcher in der Lage ist, Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen, hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Produkte, Prozesse und Ressourcen, Wirtschaftlichkeit und die Zeit, in Relation zu setzen und den Entscheidungsprozess zu unterstützen.

5 Konzeptionelle Vorüberlegungen

Ziel dieses Kapitels ist es die konzeptionellen Vorüberlegungen für die in Kapitel 6 vorgestellte Methodik zur Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten für technische Produktänderungen zu beschreiben. Dazu werden zunächst die Ziele und Anforderungen an die Methodik definiert und anschließend der CPM/PDD-Ansatz auf Basis dieser Anforderungen erweitert sowie ein Referenzprozess für technische Produktänderungen erstellt.

5.1 Ziele und Anforderungen an die Methodik

Ziel der Entwicklung ist die Bereitstellung einer Methodik, welche in der Lage ist, den Prozess der Analyse, Bewertung und letztendlichen Auswahl von Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen zu unterstützen. Als Basis soll dazu das Produktmodell des CPM/PDD-Ansatzes dienen, wie in Kapitel 4 erläutert und begründet. Aufgrund der strikten Trennung zwischen dem Verhalten eines Produktes (Eigenschaften) und den „Stellhebeln“ für dieses Verhalten (Merkmale) erscheint es möglich, eine Analysemethodik anhand eines auf dem Ursache-Wirkungs-Prinzip beruhenden Produktmodells aufzubauen, indem sich Änderungen nicht nur über die offensichtlichen Abhängigkeiten zwischen Bauteilen fortpflanzen. Vielmehr soll es anhand dieser Methodik möglich sein, die Folgen einer technischen Produktänderung für das Verhalten des Produktes und somit hinsichtlich der Akzeptanz durch den Kunden zu bestimmen.

In Kapitel 3.3.3 ist bereits beschrieben worden, dass sich im Falle einer technischen Produktänderung prinzipiell Auswirkungen auf das Produkt selbst, andere Produkte, die Herstellbarkeit des Produktes, auf dessen Wirtschaftlichkeit und den Terminplan ergeben. Die zu entwickelnde Methodik soll dabei im Bereich der Analyse die technischen Auswirkungen (d.h. auf das Produkt, auf andere Produkte und auf die Herstellbarkeit) bestimmen können und im Bereich der Bewertung und Lösungsauswahl zusätzlich Wirtschaftlichkeits- und Terminauswirkungen berücksichtigen. Für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeits- und Terminauswirkungen soll auf bestehende Ansätze zurückgegriffen werden. Im Bereich der Beurteilung der technischen Auswirkungen soll eine Aussage hinsichtlich der Auswirkungen der möglichen technischen Produktänderung und der Wahrscheinlichkeit deren Eintretens gemacht werden.

Prinzipiell soll also das Risiko einer technischen Produktänderung bestimmt werden (siehe Kapitel 3.3.2). Dabei soll jedoch die Tatsache berücksichtigt werden, dass sich die mögliche technische Produktänderung sowohl positiv als auch negativ auswirken kann. Im Falle positiver Auswirkungen wird an Stelle von Risiko im Rahmen dieser Arbeit von Nutzen gesprochen.

Als weitere Anforderungen soll die Methodik, sofern möglich, bestehende Erweiterungen des CPM/PDD-Ansatzes ebenso wie bewährte Lösungen zur Analyse von Risiken beziehungsweise Auswirkungen technischer Produktänderungen mit einbeziehen. Die Methodik soll auf einem Referenzprozess zur Handhabung technischer Produktänderungen aufsetzen, welcher konform zu den in Kapitel 3.2.1 identifizierten Anforderungen an einen technischen Änderungsprozess ist. Um eine möglichst uneingeschränkte Anwendbarkeit der Methodik zu erreichen, soll die Rechnerunterstützung ohne zusätzliche Spezialsoftware auskommen sondern auf Standardsoftware (z.B. Office-Paket) zurückgreifen.

5.2 Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes

Im Folgenden wird der CPM/PDD-Ansatz dahingehend erweitert, dass er in der Lage ist, die Auswirkungen technischer Produktänderungen nicht nur innerhalb des Produktes, wie bereits vom Autor in [CDKW07a] gezeigt, sondern auch auf andere Produkte und die zur Herstellung des Produktes benötigten Prozesse zu untersuchen. Außerdem werden Vorüberlegungen für die Bewertung des Risikos technischer Produktänderungen durchgeführt.

5.2.1 Vorüberlegungen zur Ermittlung des Risikos und der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit

Damit es möglich wird, die Auswirkungen möglicher technischer Produktänderungen auf die Herstellbarkeit des Produktes zu untersuchen und das Risiko technischer Produktänderungen zu bewerten, wird das Sichtenmodell von Deubel erweitert. Dieses Sichtenmodell wird im Folgenden als *Designsicht* bezeichnet und stellt die Sicht dar, in welcher die eigentliche Entwicklung des Produktes stattfindet. Zusätzlich zur Designsicht werden zur Integrierbarkeit der Risiko-/Nutzenbewertung von technischen Produktänderungen die *Vertriebsicht* und zur

späteren Analyse der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit des Produktes die **Produktions-sicht** eingeführt (vgl. Abbildung 5.1).

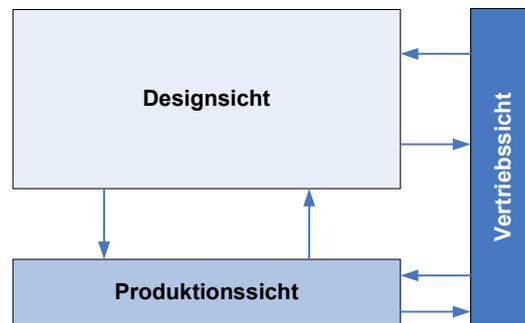


Abbildung 5.1: Erweitertes Sichtenmodell – Überblick

Vertriebssicht

Aufgabe der Vertriebssicht ist es, die Bedeutung einer Soll-Eigenschaft und den Spielraum für deren Erfüllung in der zu entwickelnden Methodik abzubilden. Mit ähnlicher Absicht sind von Deubel [Deub07] zur Steuerung des Produktentwicklungsprozesses Eigenschaftsausprägungs-Geldwert-Kurven eingeführt worden. Diese stellen die Ausprägung einer Eigenschaft in einem direkten Zusammenhang zu einem Geldwert dar. Diese Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes um die strikte Gleichsetzung von Kundenwert mit Geldwert ist für die kostengetriebene Steuerung des Produktentwicklungsprozesses geeignet, erscheint dem Autor jedoch für die Bewertung von technischen Produktänderungen als zu radikal. Hierfür erscheinen zwei Elemente der im Rahmen des Controllings verwendeten Methodiken des Target Costings [Seid93] beziehungsweise der Wertanalyse [VDI95] hilfreicher zu sein. Einerseits weisen, wie in Abbildung 5.2 dargestellt, sowohl das Target Costing also auch die Wertanalyse jeder Funktion eines Produktes einen Bedeutungsgrad zu. Andererseits hat das Target Costing mit einem ähnlichen Problem zu kämpfen wie ein Produktentwickler, der mit dem CPM/PDD-Ansatz arbeitet: Aus Sicht des Target Costing werden dieser, entsprechend der bedingten Bedeutung einer Komponente, Zielkosten zugewiesen. Jedoch stimmen nur in Ausnahmefällen die Ist-Kosten einer Komponente mit deren Zielkosten überein. In der Regel werden einige Komponenten hinsichtlich ihrer Kosten unter den Zielkosten, dafür aber andere über den Zielkosten liegen. Der Ansatz des Target Costing führt deshalb eine Art Zielkorridor für die Kosten einer Komponente ein (Abbildung 5.3). Aus technischer Sicht könnte auch von einem Toleranzband gesprochen werden.

Bezeichnung der Funktion j	Bedeutungsgrad
Qualität / Zuverlässigkeit	0,195
Fahreigenschaften	0,113
Komfort	0,09
Raumangebot	0,045
Styling/Prestige	0,075
Bedienung	0,06
Preiswürdigkeit	0,045
Agilität	0,068
Alltagstauglichkeit	0,06
Dauer-/Reisegeschwindigkeit	0,032
Wiederverkaufswert	0,035
Insassensicherheit	0,039
Lebensdauer Motor	0,039
umweltfreundliche Technik	0,036
fortschrittliche Technik	0,033
Reparatur-/Wartungskosten	0,035
<i>Kontrollsumme:</i>	<i>1</i>

Abbildung 5.2: Bedeutungsgrade von Funktionen am Beispiel der Audi AG (gefunden in [Glas06])

In Analogie zur Vorgehensweise im Controlling wird der CPM/PDD-Ansatz in der Vertriebs-sicht um die im Marketing ermittelten sowie die durch das Unternehmen festgelegten Bedeutungsgrade der Soll-Eigenschaften und die jeweilige Toleranz dieser Soll-Eigenschaften ergänzt. Die Toleranz der Soll-Eigenschaften kann von verschiedenen Faktoren abhängen, wie z.B. der Genauigkeit der Marketinganalyse, dem Preis-Leistungsverhältnis (siehe [Deub07]) oder einer Angabe der Toleranz durch den Kunden.

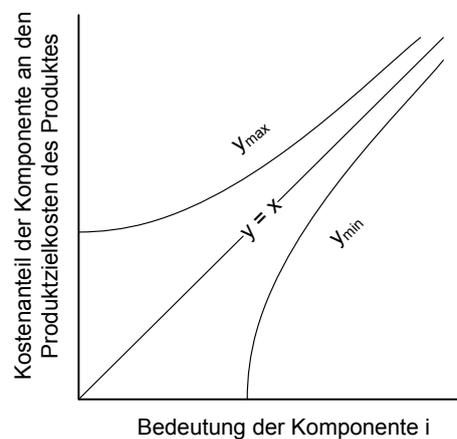


Abbildung 5.3: Value-Control-Chart (angelehnt an [Glas06])

Die Toleranz erfüllt zwei wesentliche Aufgaben. Erstens toleriert sie die Differenz zwischen Soll- und Ist-Eigenschaften und gibt dadurch dem Entwicklungsziel „ $\Delta P_j \rightarrow 0$ “ die neue Bedeutung „ $\Delta P_j \in [\min; \max]$ “. Dadurch wird der Treiber des Produktentwicklungsprozesses einerseits genauer spezifiziert und andererseits die Analysierbarkeit der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf das Produktverhalten ermöglicht. In ihrer zweiten Aufgabe prio-

risiert die Toleranz zusammen mit dem Bedeutungsgrad die Soll-Eigenschaften eines Produktes. Wie in Abbildung 5.4 dargestellt, können bei gemeinsamer Auftragung von Toleranz und Bedeutungsgrad die Soll-Eigenschaften in die drei Prioritätenklassen A, B und C eingeteilt werden, wobei A die höchste und C die niedrigste Priorität besitzt.

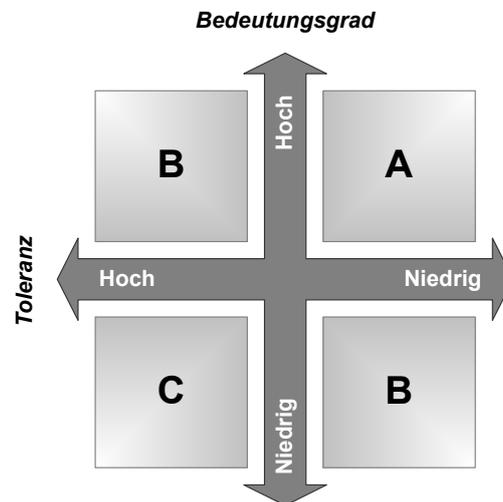


Abbildung 5.4: Ermittlung der Priorität von Soll-Eigenschaften

Hinsichtlich der Toleranz soll noch folgende Anmerkung gemacht werden: Es gibt Soll-Eigenschaften eines Produktes, wie beispielsweise Abgasgrenzwerte bei Kraftfahrzeugen, die hinsichtlich ihrer Bedeutung sehr hoch einzustufen sind (Zulassung des Produktes). Die Toleranz dieser Werte könnte vom Intervall her als hoch eingestuft werden, da diese in der Regel einseitig beschränkt sind (z.B. maximal zulässiger Ausstoß an CO₂). Bei solchen Werten ist die Toleranz aus der Sicht der Entwicklung jedoch als niedrig einzustufen, da diese Grenzwerte in der Regel an der Grenze des technisch Machbaren liegen und somit entwicklungs-technisch und aus Kostengründen kaum ein Spielraum besteht. Generell lässt sich hinsichtlich der Toleranz sagen, dass diese einerseits durch den Kunden und andererseits durch das Unternehmen beschränkt sein kann. Der Kunde wird seinerseits eine Art Minimalforderung an das Produkt stellen und das Unternehmen andererseits darauf achten, dass das Produkt nicht wesentlich mehr können wird als das, wofür der Kunde bereit ist zu zahlen.

Abschließend ist die Vertriebsicht in Abbildung 5.5 dargestellt.

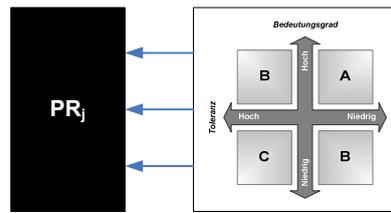


Abbildung 5.5 Vertriebsicht

Designsicht

In der Designsicht findet die eigentliche Produktentwicklung entsprechend des PDD-Ansatzes statt (Abbildung 5.6). Innerhalb dieser Sicht finden sich, wie bereits erwähnt, die von Deubel [Deub07] definierten Sichten wieder. Die Designsicht kann folglich entsprechend der Aufbauorganisation (z.B. mechanische Konstruktion, hydraulische Konstruktion, elektrische Konstruktion etc.), den Funktionseinheiten (z.B. beim Automobil: Karosserie, Interieur, Motor, Steuerung etc.) oder auf Projektbasis untergliedert werden. Je nach Komplexität des Produktes können die Untersichten der Designsicht wiederum zergliedert werden (z.B. nach Baugruppen oder Bauteilen). Wichtig ist hierbei jedoch, dass die vorhandenen Relationen und Abhängigkeiten zwischen den Untersichten sowohl top-down als auch bottom-up übernommen werden.

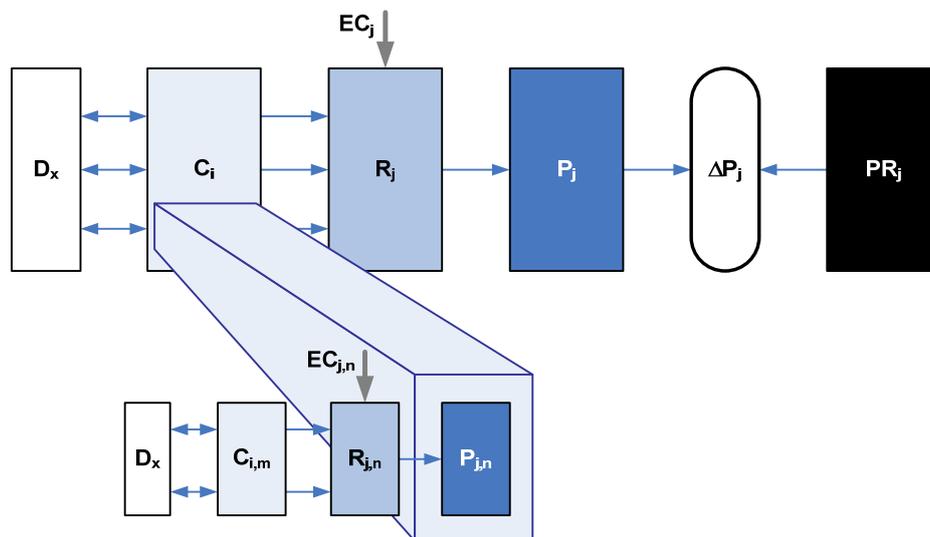


Abbildung 5.6: Designsicht mit Untersicht

Produktionssicht

Zur besseren Strukturierung der Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen hinsichtlich der Herstellbarkeit, separiert die Produktionssicht die Eigenschaften der Produktentwicklung von denen, welche lediglich für die Herstellung des Produktes von Interesse sind. Die Produktionssicht fasst ganz allgemein alle Sichten, welche zur Beschreibung der Herstellbarkeit des in der Designsicht entwickelten Produktes benötigt werden und einen Einfluss auf das zu entwickelnde Produkt haben, zusammen. Somit gehören zur Produktionssicht neben der Fertigungs- und Montagesicht beispielsweise auch die Sichten der Materialwirtschaft, des Einkaufs, der Qualitätsprüfung etc.

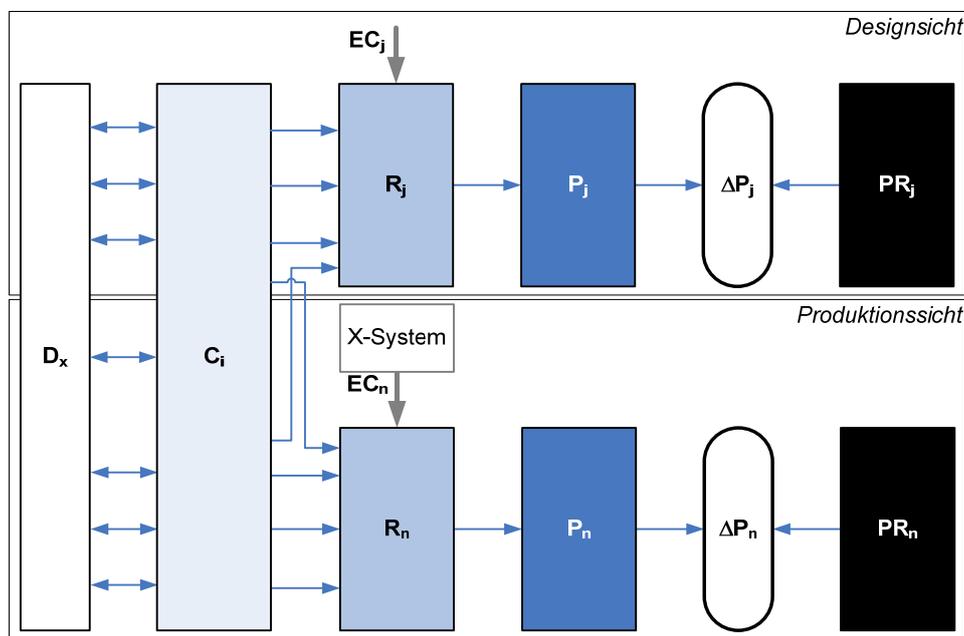


Abbildung 5.7: Produktionssicht

Die Möglichkeit der Planung eines Produktionssystems anhand des CPM/PDD-Ansatzes ist bereits in [DZBW06] dargestellt, jedoch erfolgt hierin keine Anbindung an die Konstruktion. Die Produktionssicht kann prinzipiell mit Teilen der Designsicht überlappen, da sie, wie erwähnt, insbesondere die Bereiche der Fertigbarkeit und Montierbarkeit abdeckt (Abbildung 5.7). So haben neben Fasen oder Montagehilfsflächen auch beispielsweise die Abmessungen eines Produktes einen Einfluss auf die Herstellbarkeit. Zur Abbildung des Herstellungssystem bedient sich die Produktionssicht der in Kapitel 4.3.6 vorgestellten X-Systeme. Wie beschrieben, können Modelle der X-Systeme auch anhand des CPM/PDD-Ansatzes aufgebaut werden (vgl. [DZBW06, Webe07]), allerdings gibt es hierfür sicherlich mächtigere Ansätze aus dem

Bereich der Produktionsplanung, weshalb hierauf im Zuge dieser Arbeit nicht weiter eingegangen werden soll⁴². Die Produktionssicht beschränkt sich in dieser Arbeit und für den Kontext der Beurteilung der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf die, die Herstellbarkeit beeinflussenden, Eigenschaften der X-Systeme des CPM/PDD-Ansatzes.

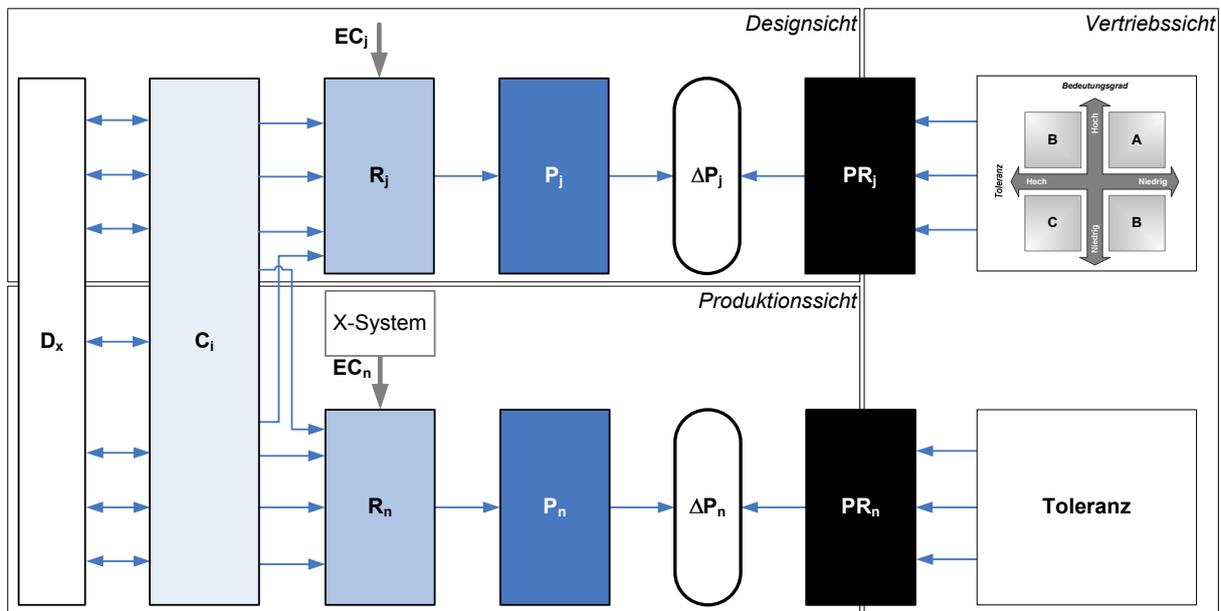


Abbildung 5.8: Gesamtdarstellung des erweiterten Sichtenmodells

Zusammenfassend sind die drei Sichten in Abbildung 5.8 dargestellt. Die drei vorgestellten Sichten dienen der Ermöglichung der Durchführung einer auf dem CPM/PDD-Ansatz basierenden Analyse und Bewertung technischer Produktänderungen über das eigentliche Produkt hinaus.

5.2.2 Produktübergreifende Querverbindungen

Wie beschrieben, ist es bislang mit dem CPM/PDD-Ansatz lediglich möglich, einzelne, isolierte Produkte zu betrachten. Produkte, Baugruppen oder Bauteile können jedoch durchaus in mehreren Produkten verbaut sein oder als Varianten vorliegen. Um die Auswirkungen technischer Produktänderungen über ein Produkt hinaus mit dem CPM/PDD-Ansatz analysieren

⁴² Zu Testzwecken wurde das System „Fertigung einer Welle“ auf Basis des CPM/PDD-Ansatzes modelliert. Hierbei wurde jedoch davon ausgegangen, dass die Soll-Eigenschaften der Fertigung weitgehend den Merkmalen des Produktes Welle entsprechen. Dies stimmt nicht gänzlich mit der Idee der X-Systeme überein. Nichtsdestotrotz zeigt der Test, dass es prinzipiell möglich ist, einen Fertigungsprozess anhand des CPM/PDD-Ansatzes zu modellieren, jedoch erweist sich dieser Ansatz als sehr unübersichtlich.

und bewerten zu können, muss der CPM/PDD-Ansatz folglich um produktübergreifende Querverbindungen, also eine Art Teileverwendungsnachweis, erweitert werden. Diese produktübergreifenden Querverbindungen zwischen den Produkten X und Y werden im Folgenden als *Crosslinks* ($XL_{XY,k}$) bezeichnet. Crosslinks können in allen drei zuvor beschriebenen Sichten vorkommen.

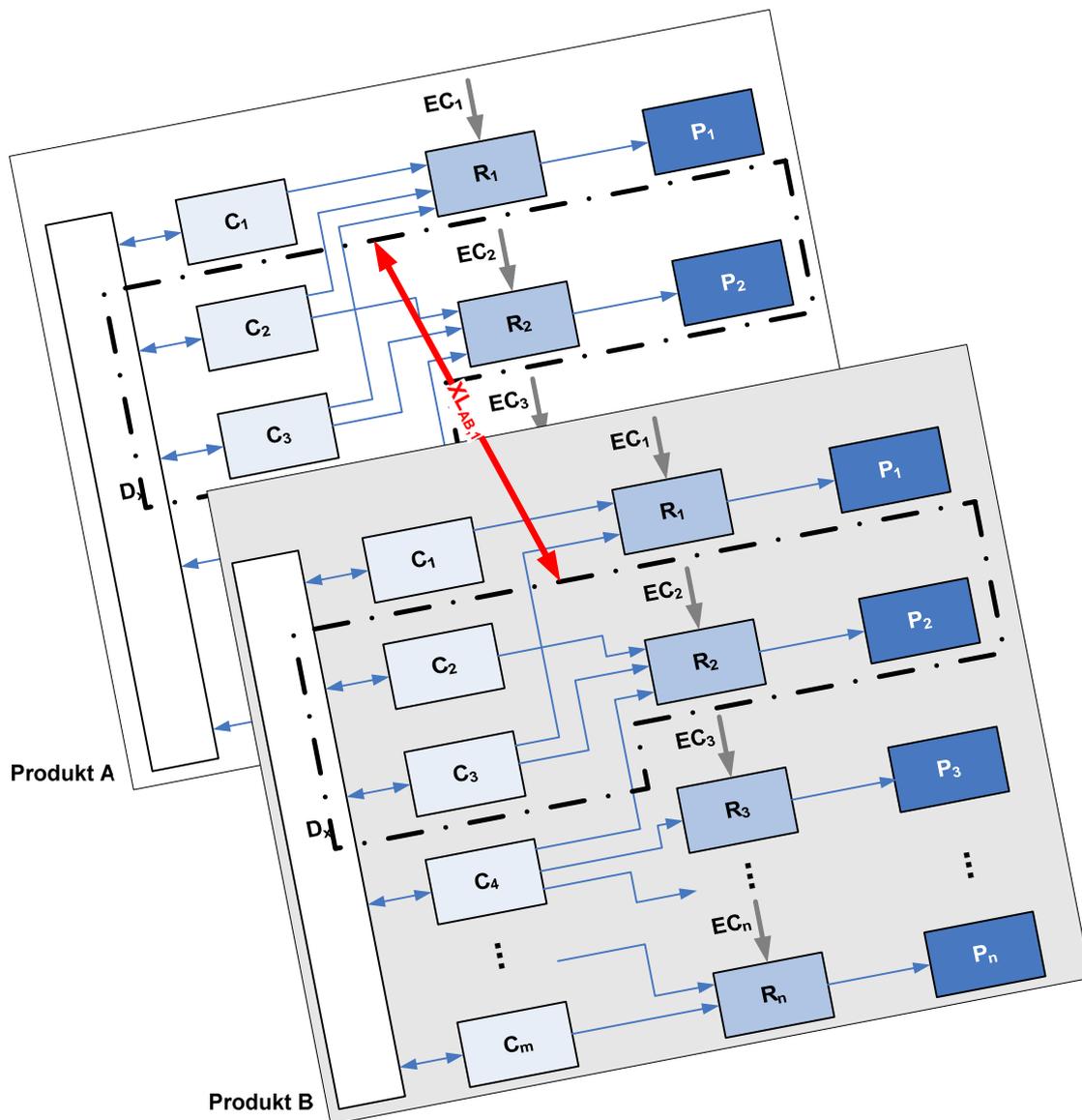


Abbildung 5.9: Crosslinks – Querverbindungen zwischen Produkten

Die Analyse, welche Teile wo verbaut sind, erfolgt in der Praxis, unterstützt durch die bestehende IT-Systemlandschaft, in der Regel durch die in ERP- oder PDM-Systemen hinterlegten Stücklisten oder Teileverwendungsnachweise. Diese sind somit bauteilbezogen. Crosslinks im Sinne des CPM/PDD-Ansatzes können jedoch allgemein zwischen den Merkmalen, Relationen und Eigenschaften, d.h. Soll- und Ist-Eigenschaften, verschiedener Produkte oder Bau-

gruppen bestehen. Somit können die Crosslinks beliebig komplexe Verbindungsnetze aufspannen, welche nur noch schwerlich durch den hierarchischen Aufbau von ERP- oder PDM-Systemen verwaltet werden können. Um diese Art vernetzter Informationen wieder verwendbar darstellen zu können, eignen sich, wie von Conrad et al. [CDKW07b] beschrieben, zum Beispiel semantische Netze. Die Frage nach der korrekten Darstellung der Crosslinks an sich kann wiederum ein eigenes Forschungsgebiet darstellen, so dass für den Umfang dieser Arbeit die Crosslinks, wie in Abbildung 5.9 dargestellt, auf Verweise zwischen bekannten Solution Patterns beschränkt werden.

Innerhalb der vorgestellten Sichten ergibt sich eine Vielzahl von Anwendungsgebieten für die Crosslinks. In der Vertriebssicht können Crosslinks dazu verwendet werden, bewährte Lösungen zu bestimmten Produktanforderungen zu identifizieren und somit die Gesamtentwicklung und die Zuverlässigkeit des Ergebnisses zu optimieren. Alternativ können sie in dieser Sicht genutzt werden, um weitere Einsatzgebiete, einer in der Designsicht entwickelten, innovativen Lösung aufzudecken. Innerhalb der Designsicht zeigt sich sicherlich das größte Anwendungsgebiet der Crosslinks. Hier können, wie beschrieben, die einzelnen Elemente des CPM-Netzwerks über verschiedene Produkte, Entwicklungsprojekte oder Konfigurationen miteinander verbunden werden. Außerdem können bewährte Lösungsmuster ausgehend von den Ist-Eigenschaften schneller identifiziert und eingesetzt werden. Indem auf bekannte Analogien zurückgegriffen werden kann, können die Crosslinks in den frühen Phasen der Produktentwicklung dazu beitragen, die Vorhersagbarkeit des Produktverhaltens zu verbessern. In der Produktionssicht können die Crosslinks einerseits die Zuordnung der Produkte zu den X-Systemen (Teileverwendung), andererseits aber auch die Zuordnung der X-Systeme zu den Produkten darstellen, weshalb sie sich auch für die Analyse der Fortpflanzungen von technischen Produktänderungen zwischen X-Systemen einsetzen lassen. Darüber hinaus können die Crosslinks bei der simultanen Entwicklung von Produkt und X-System unterstützen.

5.3 Matrix-Darstellung des CPM/PDD-Ansatzes

Im Rahmen einer mit CPM/PDD durchgeführten Produktentwicklung entsteht ein ausführliches Netzwerk aus Merkmalen und Eigenschaften des Produktes. Mit zunehmendem Entwicklungsstand und somit zunehmendem Detaillierungsgrad nimmt auch die Größe des Netzwerks zu. Bereits bei einfachen Bauteilen, wie z.B. einer Welle, zeigt sich jedoch, dass

die anhand der beschriebenen Kästchendarstellung aufgebauten Netzwerke sehr komplex erscheinen können und nur noch schwer zu durchschauen sind. Somit ist es leicht vorstellbar, dass größere Produkte noch unübersichtlicher werden. Dies lässt darauf schließen, dass eine auf dem bisherigen Darstellungsansatz beruhende Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen fast nur noch mit einer entsprechenden Spezialsoftware fehlerfrei erfolgen kann. Da die Beurteilungsmethodik jedoch allgemein angewendet werden können und nicht abhängig von einer Spezialsoftware sein soll, muss die empfundene Analysekomplexität des Darstellungsansatzes gesenkt werden. Aus diesem Grund wurde vom Autor in [KCWW08] eine allgemeine Matrix-Darstellung des CPM/PDD-Ansatzes vorgestellt und damit eine bislang nicht weiter beachtete Idee aus der Anfangszeit des Ansatzes (vgl. [WeWe00]) wieder aufgegriffen und umgesetzt.

Die Matrix-Darstellung des CPM/PDD-Ansatzes (Matrix-CPM/PDD) ist durch die Design Structure Matrix (DSM) von Steward [Stew81] und den Ansatz der Matrix-FMEA nach Kersten [Kers99] beziehungsweise Johne und Ziegelowski [JoZi00] inspiriert. Um komplizierte Strukturen lesbar zu halten, ist die Design Structure Matrix als probates Mittel anerkannt [UIEp04]. Durch die Verwendung einer Matrix-Darstellung für FMEAs ergeben sich gemäß Johne und Ziegelowski [JoZi00] eine Reihe von Vorteilen. Dazu gehören, dass aufgrund der Matrix-Darstellung die Analyse effizienter und weniger zeitraubend durchgeführt werden kann und sich das Ergebnis der Analyse qualitativ verbessert. Außerdem gelingt es durch die Matrix-Darstellung eher den Überblick über komplexe Zusammenhänge zu behalten, wodurch die Gesamtanalyse besser nachzuvollziehen ist. Darüber hinaus hat sich die Matrix-Darstellung im Kontext der FMEA-Anwendung als ausgezeichnetes Mittel zur Ableitung möglicher Lösungen und zum Aufdecken von Nebeneffekten bewährt. Somit lässt sich vermuten, dass eine Überführung der Visualisierung des CPM/PDD-Ansatzes in eine Matrix-Darstellung für die Analyse und Bewertung von Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen zu ähnlich positiven Ergebnissen führen kann.

Im weiteren Verlauf dieses Abschnitts wird zunächst das Produktmodell in eine Matrix-Darstellung überführt. Daran anschließend wird gezeigt, dass auch das Prozessmodell in Matrix-Darstellung visualisiert werden kann. Somit liegt es nahe, dass der Darstellungsansatz dazu genutzt werden kann, übersichtlich und ohne Spezialsoftware auf CPM/PDD Produkte zu analysieren.

5.3.1 Produktmodell – Matrix-CPM

Wie in Kapitel 4 beschrieben, dient das CPM-Produktmodell, dazu Produkte zu beschreiben und verwendet dafür die Elemente Merkmale (C_i), Eigenschaften (P_j), Relationen (R_j/R_j^{-1}) und innere Abhängigkeiten (D_x) sowie die (externen) Randbedingungen der Entwicklung (EC_j). Bei der Überführung einer Kästchendarstellung in eine Matrix-Darstellung dienen die Einträge in den Matrizen als Ersatz für die Kanten zwischen den Kästchen. Kanten kommen im CPM-Produktmodell an den folgenden Stellen vor:

- Zwischen den Relationen und Eigenschaften im Verhältnis 1:1.
- Zwischen den Merkmalen und Relationen im Verhältnis n:m.
- Zwischen den Merkmalen als innere Abhängigkeiten im Verhältnis n:m.

Dies bedeutet für eine Matrix-Darstellung des CPM-Produktmodells, dass zwei Matrizen benötigt werden. Eine Matrix ersetzt die Verbindungen zwischen den Relationen und Merkmalen und wird im Folgenden **C/R-Matrix** genannt. Die andere Matrix stellt die inneren Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen dar und wird mit **D-Matrix** bezeichnet. Für die Kanten zwischen den Eigenschaften und Relationen wird keine Matrix benötigt, da eine Relation immer mit genau einer Eigenschaft verbunden ist.

Die Darstellung der Merkmale, Eigenschaften und Relationen erfolgt in Vektoren, welche die Spalten und Zeilen der Matrizen bestimmen. Als Bezugspunkt für den Aufbau von Matrix-CPM wird die C/R-Matrix gewählt, weil diese die zentrale Verbindung zwischen den Merkmalen und Eigenschaften repräsentiert. Wie in Abbildung 5.10 dargestellt, wird die C/R-Matrix auf der linken Seite vom Merkmalsvektor und nach oben vom transponierten Vektor der Relationen sowie der Eigenschaften umschlossen. Da die inneren Abhängigkeiten die Beziehungen zwischen den Merkmalen darstellen, wird die D-Matrix links neben dem Merkmalsvektor platziert. Um das CPM-Produktmodell vollständig abzubilden, werden abschließend die externen Bedingungen der Entwicklung zwischen den Eigenschaften und den Relationen positioniert.

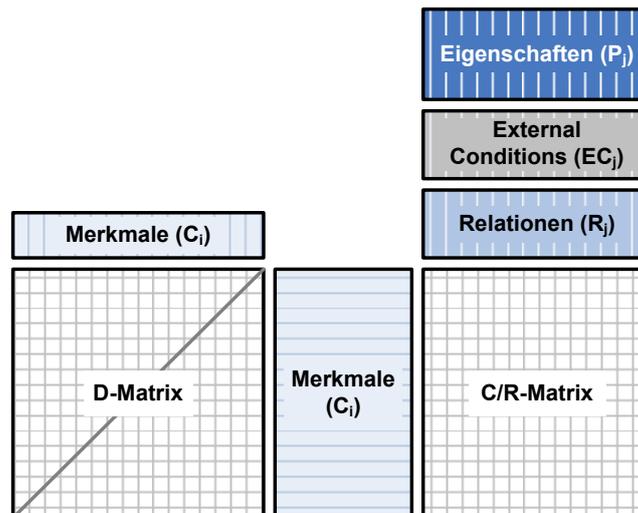


Abbildung 5.10: Matrix-Darstellung des CPM-Produktmodells

Besteht zwischen einem Merkmal und einer Relation eine Verbindung, so wird dies im entsprechenden Feld der C/R-Matrix mit einem „X“ gekennzeichnet. Die D-Matrix ist etwas aufwändiger zu befüllen. Bei den inneren Abhängigkeiten werden die folgenden Typen unterschieden⁴³:

- Einfache Abhängigkeit → „X“

Die einfache Abhängigkeit liegt vor, wenn Merkmale direkt voneinander abhängen und sich über diese Abhängigkeit Änderungen an Merkmalen fortpflanzen können. Dies ist beispielsweise bei der Gleichheit von Wellen- und Nabendurchmesser gegeben.

- Restriktion → „!“

Eine Restriktion liegt vor, wenn ein Merkmal das andere Merkmal vorgibt. Soll ein Merkmal geändert werden, welches restriktiv von einem anderen Merkmal abhängt, so kann dies nur geändert werden, wenn die Restriktion weiterhin bestehen bleibt. Ein Beispiel hierfür ist ein für die spätere Funktionserfüllung erforderliches Mindestmaß.

- Bedingte Restriktion → „(!)“

Die bedingte Restriktion ist eine Sonderform der Restriktion. Bei ihr gibt ein Merkmal einem anderen einen Merkmalsbereich vor. In diesem Merkmalsbereich kann der Merk-

⁴³ Es kann an dieser Stelle nicht ausgeschlossen werden, dass es noch weitere Typen gibt, jedoch spielen in dieser Arbeit nur die genannten eine Rolle.

malswert variiert werden, ohne dass dies Auswirkungen auf die Gewährleistung der späteren Funktion hat.

- Abhängigkeit ohne Einfluss → „0“

Eine Abhängigkeit ohne Einfluss liegt vor, wenn zwar bekannt ist, dass prinzipiell zwischen Merkmalen eine Abhängigkeit besteht, jedoch über diese im betrachteten Produkt keine Änderungen übertragen werden. Als Beispiel hierfür kann die Materialpaarung dienen.

Bei der Befüllung der D-Matrix empfiehlt es sich, zeilenweise vorzugehen. In einer Zeile werden die inneren Abhängigkeiten stets so eingetragen, dass zu erkennen ist, wie sich eine Änderung des Merkmals in dieser Zeile fortpflanzen kann und wie nicht. Zudem ist zu beachten, dass bei der Änderung eines Merkmalswertes dieser prinzipiell größer oder kleiner werden kann. Die Fortpflanzung der Änderung kann für beide Ausprägungen unterschiedlich sein, weshalb diese unterschieden werden müssen. Die inneren Abhängigkeiten bei Vergrößerung des Merkmalswertes werden mit einem „+“, die inneren Abhängigkeiten bei Verkleinerung des Merkmals werden entsprechend mit einem „-“ gekennzeichnet. Gibt es keinen Unterschied in der Fortpflanzung, kann die Kennzeichnung entfallen.

Merkmal i	...	Merkmal 5	Merkmal 4	Merkmal 3	Merkmal 2	Merkmal 1	Relation 1	Relation 2	...	Relation j
0	...		X		X		Merkmal 1	X	...	X
	...		X			(!)	Merkmal 2	X	X	...
	...						Merkmal 3	X		...
	...				X	!	Merkmal 4		X	...
	...						Merkmal 5	X		...

(!)						0	Merkmal i		X	...

Abbildung 5.11: Matrix-Darstellung eines Lösungsmusters

Im Vergleich zu Kapitel 4 wurden im Rahmen der Beschreibung von Matrix-CPM bislang nicht die Integration zusätzlicher Eigenschaften (Additional Properties P₊₁), Lösungsmuster

(Solution Patterns) und die X-Systeme erwähnt. Die Integration zusätzlicher Eigenschaften erfolgt über die Ergänzung einer zusätzlichen Eigenschaftsspalte und somit einer Erweiterung der C/R-Matrix. Lösungsmuster können in Matrix-CPM/PDD ebenfalls dargestellt werden, wie Abbildung 5.11 zeigt. Auf die Darstellung der X-Systeme wird aus Gründen der Übersichtlichkeit der folgenden Ausführungen an dieser Stelle verzichtet und auf die Beschreibung der Produktionssicht in Abschnitt 5.3.3 verwiesen.

5.3.2 Prozessmodell – Matrix-PDD

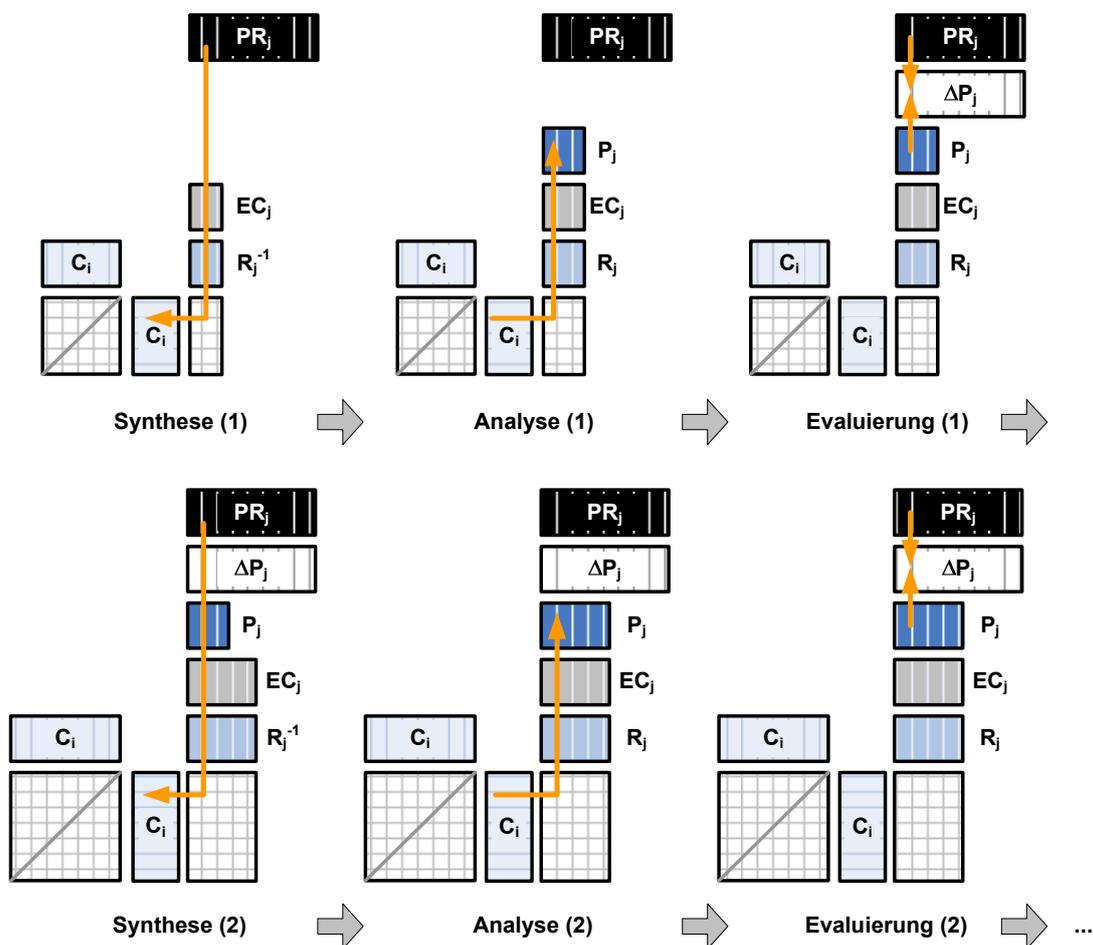


Abbildung 5.12: Matrix-Darstellung des PDD-Prozessmodells – Zyklen 1 und 2

Das Prozessmodell des PDD beschreibt den Produktentwicklungsprozess als zyklische Abfolge der Schritte Synthese, Analyse, Bewertung und Schlussfolgerung (vgl. Kapitel 4.4). Dieser Prozess lässt sich, wie Abbildung 5.12 zeigt, ebenfalls mit Hilfe der zuvor beschriebenen Matrix-Darstellung abbilden. Dies ist ohne Weiteres möglich, weil sich die Matrizen einfach erweitern lassen, ohne dass sie die zuvor beschriebenen Vorteile einbüßen. Der Übersicht-

lichkeit halber sind in Abbildung 5.12 die beiden Schritte „Bewertung“ und „Schlussfolgerung“ des PDD-Prozesses im Schritt „Evaluierung“ zusammengefasst.

5.3.3 Integration des Sichtenmodells

In den beiden vorangegangenen Abschnitten wurde, mit Ausnahme der X-Systeme, der in Kapitel 4 beschriebene CPM/PDD-Basisansatz in eine Matrixdarstellung überführt. Dieser Abschnitt beschreibt nun die Integration der in Abschnitt 5.2.1 eingeführten Sichten.

Vertriebssicht

Um die Vertriebssicht in Matrix-CPM/PDD zu integrieren, müssen lediglich der Darstellung der Soll-Eigenschaften drei Vektoren mit den Bedeutungsgraden, der Toleranz und der daraus resultierenden Priorität der Soll-Eigenschaften hinzugefügt werden (Abbildung 5.13).

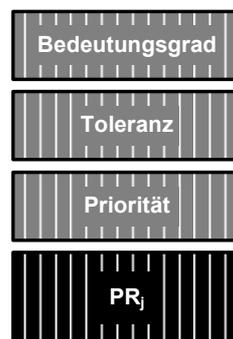


Abbildung 5.13: Matrix-Darstellung der Vertriebssicht

Designsicht

Analog zur einführenden Beschreibung der Designsicht in Abschnitt 5.2.1 wird die Designsicht durch das in den beiden vorangegangenen Abschnitten eingeführte Matrix-CPM/PDD dargestellt. Die zur Steigerung der Übersichtlichkeit dienenden Untersichten lassen sich, wie Abbildung 5.14 zeigt, integrieren.

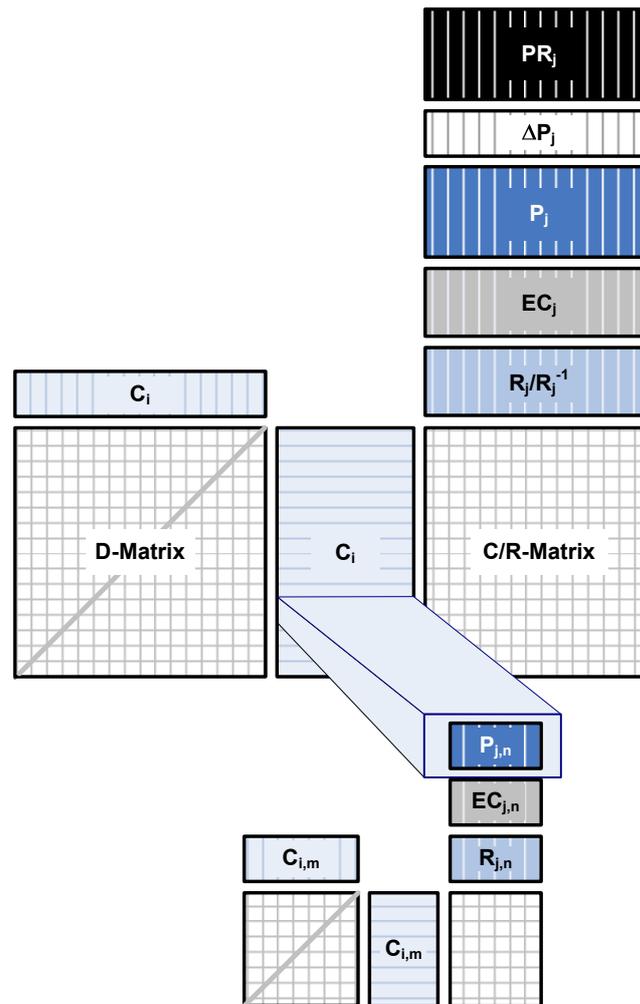


Abbildung 5.14: Matrix-Darstellung der Designansicht mit Untersicht

Produktionssicht

Die Produktionssicht basiert auf den beschriebenen X-Systemen, welche eine Detaillierung der externen Bedingungen der Entwicklung ermöglichen. Im Rahmen von Matrix-CPM/PDD werden die X-Systeme als zusätzlicher Vektor innerhalb des Vektors der externen Bedingungen der Entwicklung integriert. In diesem Vektor können entweder die benötigten Eigenschaften des X-Systems beschrieben werden oder, sollte dies zu unübersichtlich sein bzw. ein in CPM/PDD dargestelltes X-System vorliegen, so kann auf ein X-System im Sinne einer Untersicht der Produktionssicht verwiesen werden. Die Produktionssicht ist zusammen mit den X-Systemen und den beiden anderen Sichten in Abbildung 5.15 in Matrix-Darstellung gezeigt.

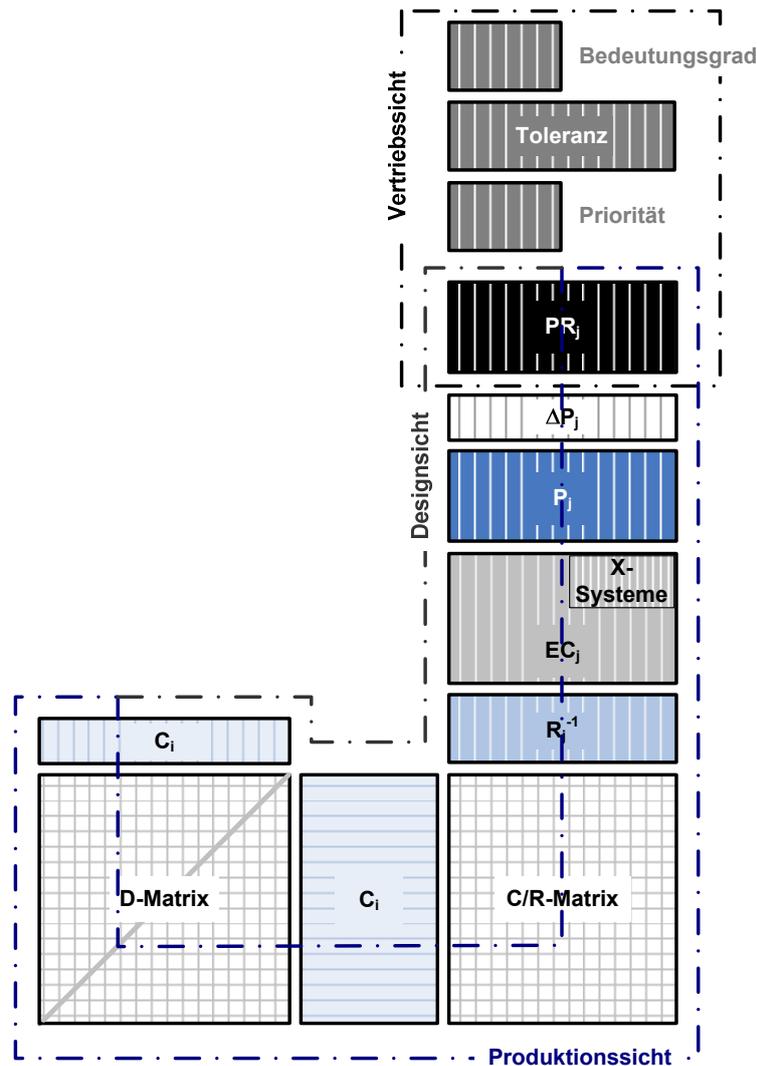


Abbildung 5.15: Matrix-Darstellung des gesamten Sichtenmodells

5.3.4 Integration der Crosslinks

Crosslinks stellen, wie beschrieben, Querverbindungen zwischen zwei CPM-Netzwerken dar. Analog zur Darstellung in einem Kästchenmodell, können diese in die Matrix-Darstellung übernommen werden (Abbildung 5.16). Wie in der einführenden Darstellung erwähnt, können Crosslinks prinzipiell alle Elemente zwischen CPM-Netzwerken verbinden. Für diese Arbeit wird jedoch eine Beschränkung auf die Verbindungen zwischen Lösungsmustern vorgenommen. Mathematisch gesehen entspricht ein Crosslink einem Vektor, der anzeigt, in welchen anderen Produkten dieses Lösungsmuster vorkommt. Da ein Produkt mehrere Lösungsmuster besitzen kann, welche zudem in beliebig vielen Produkten vorkommen können, ergibt sich eine Matrix. Der Übersichtlichkeit halber wird diese Matrix jedoch nicht in jedem Produkt-

modell hinterlegt. Die **Crosslink-Matrix (XL-Matrix)** stellt eine separate Matrix des jeweiligen Produktes dar, auf welche alle Produkte zugreifen.

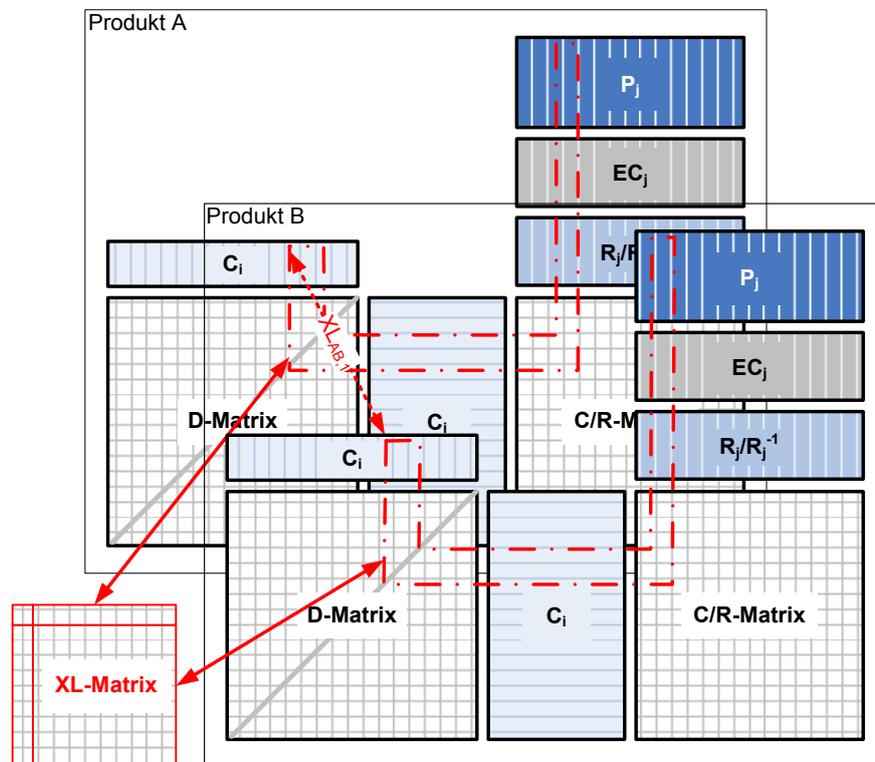


Abbildung 5.16: Matrix-Darstellung der Crosslinks

5.3.5 Darstellung und Dokumentation von Matrix CPM/PDD

Prinzipiell lässt sich Matrix-CPM/PDD, ebenso wie CPM/PDD, mit Bleistift und Papier anwenden. Hinsichtlich der Unterstützung der Erstellung und der Dokumentation der Entwicklung ist jedoch eine Computerunterstützung wünschenswert. Matrix-CPM/PDD lässt sich aufgrund seiner generischen Darstellungsweise mittels Vektoren und Matrizen mit handelsüblicher Tabellenkalkulationssoftware, wie z.B. Microsoft Excel oder Open Office Calc, darstellen und dokumentieren. Die Funktionalität der handelsüblichen Software genügt, wie im Folgenden beschrieben, ebenfalls den Ansprüchen der im Rahmen dieser Arbeit eingeführten Ergänzungen des CPM/PDD-Ansatzes.

Handelsübliche Tabellenkalkulationssoftware ist prinzipiell aus folgenden Elementen aufgebaut:

- Mappe

- Blatt
- Zelle

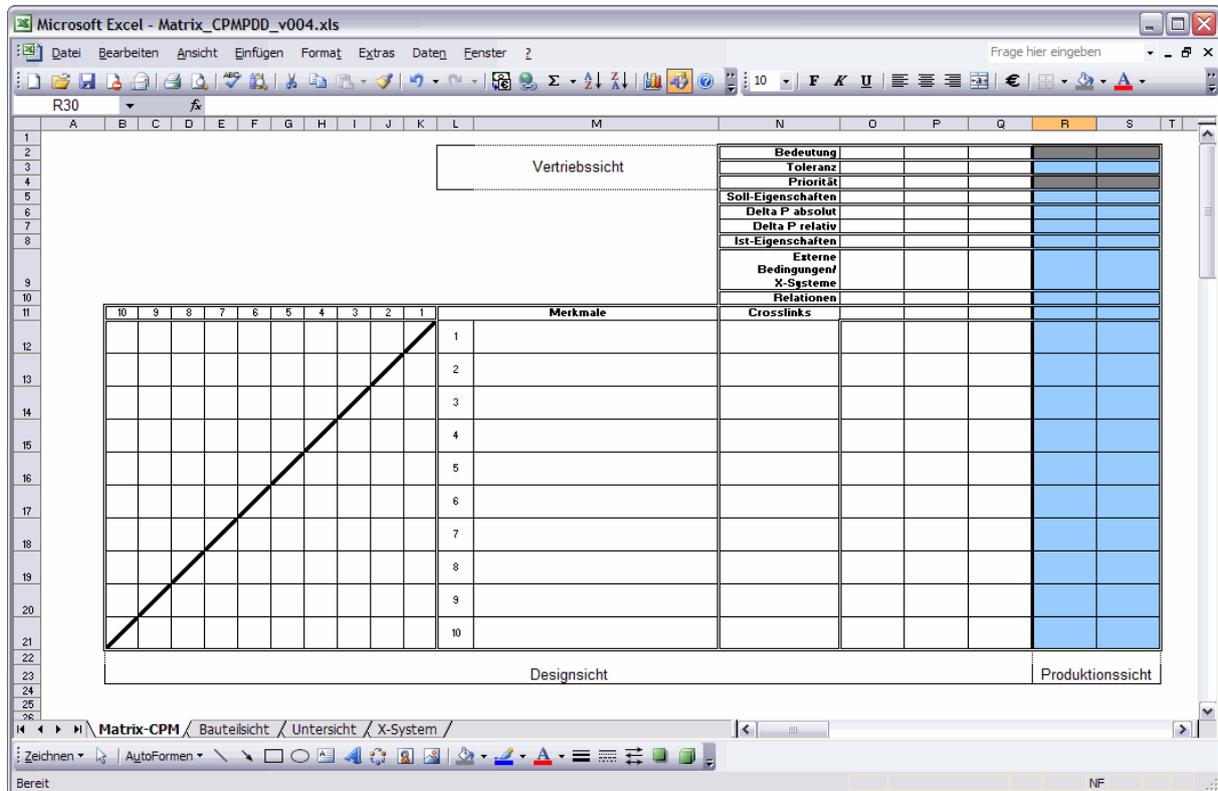


Abbildung 5.17: Matrix-CPM/PDD dargestellt in Microsoft Excel

Eine Mappe entspricht dabei der eigentlichen Datei. Sie kann aus mehreren Blättern bestehen, welche wiederum aus mehreren Zellen zusammengesetzt sind. Um handelsübliche Tabellenkalkulationssoftware zur Darstellung und Dokumentation von Matrix-CPM/PDD nutzen zu können, werden folgende Annahmen getroffen:

- Eine Mappe entspricht einem Produkt.
- Die verschiedenen Sichten eines Produktes werden durch verschiedene Blätter dargestellt.
- Die Elemente von Matrix-CPM/PDD werden durch Zellen repräsentiert.

Um zwischen den Sichten zu wechseln, wird ausgenutzt, dass sich alle in einer Mappe befindlichen Zellen miteinander verlinken lassen. Somit ist prinzipiell ein Wechsel zwischen den Sichten per Mausklick möglich. Zur Darstellung der Crosslinks wird zudem ausgenutzt, dass sich Zellen in verschiedenen Mappen miteinander verlinken lassen, so dass eine separate

Mappe mit mehreren Blättern zur Darstellung der Crosslinks angelegt werden kann. Eine beispielhafte Darstellung von Matrix-CPM/PDD in Microsoft Excel kann Abbildung 5.17 entnommen werden.

Zusätzlich bietet die Excel-Lösung den Vorteil, dass die inneren Abhängigkeiten in Form von Kommentaren genauer beschrieben werden können und somit die spätere Analyse erleichtert wird. Zur optischen Ordnung der Elemente können die Zellen und die Schrift eingefärbt werden.

5.4 Referenzprozess für die Abwicklung technischer Produktänderungen

Als Reaktion auf den in Kapitel 3.5 festgestellten Handlungsbedarf im Bereich der prozessualen Organisation des Umgangs mit technischen Produktänderungen, wird in diesem Kapitel ausgehend von den benötigten Informationen zur Entscheidung über technische Produktänderungen ein Referenzprozess definiert, welcher diesen Handlungsbedarf aufgreift.

5.4.1 Informationen zur Entscheidung über technischer Produktänderungen

Bis über die Lösungsmöglichkeiten zu einer technischen Produktänderung entschieden wird, müssen zwei Phasen durchlaufen werden. In der ersten Phase wird entschieden, ob infolge einer Änderungsanregung eine technische Produktänderung überhaupt durchgeführt wird. Darauf aufbauend wird in der zweiten Phase über die Lösungsmöglichkeiten für die technische Produktänderung entschieden.

Zur Entscheidung über die Durchführung müssen insbesondere das konkret vorhandene Risiko, die Änderungsnotwendigkeit (siehe Kann-/Muss-Änderung in Kapitel 2.3) und die Vermeidbarkeit der technischen Produktänderung betrachtet werden. Hierzu können Informationen über das Problem und dessen Ursache analysiert, die Folgen der Nichtdurchführung der technischen Produktänderung abgeschätzt und darauf aufbauend die Kosten der Nichtdurchführung der technischen Produktänderung kalkuliert werden.

Um über die Umsetzung einer technischen Produktänderung zu entscheiden, sind mögliche Lösungsvorschläge hinsichtlich ihrer Auswirkungen zu bewerten. Dazu müssen die Änderungsfortpflanzung, die Änderungskosten, die Änderungsdurchlaufzeit sowie das Risiko und die technische Machbarkeit der Änderungslösung an sich analysiert werden.

Die Beschaffung und Analyse dieser Informationen wird im folgenden Abschnitt in einen Referenzprozess für technische Produktänderungen integriert, welcher auf den vorgestellten technischen Änderungsprozessen aufbaut und als Grundlage der anschließend vorgestellten Methodik zur Bewertung von Lösungsmöglichkeiten für technische Produktänderungen dient.

5.4.2 Referenzprozess für technische Produktänderungen

Der in Abbildung 5.18 dargestellte Referenzprozess baut auf der DIN 199 – Teil 4 , dem Konfigurationsmanagement, dem Prozess nach Jarratt et al., Elementen des integrierten Änderungsmanagement sowie der VDA-Empfehlung 4965 auf und erfüllt die in Kapitel 3.2.1 aufgestellten maßgeblichen Forderungen an den Umgang mit technischen Produktänderungen. Darüber hinaus integriert der Referenzprozess die zuvor beschriebene Suche und Analyse der benötigten Informationen zur Entscheidung über technische Produktänderungen. Auch wenn die Prozessphasen hier sequentiell dargestellt sind, lassen sich diese teilweise parallelisieren, womit der geforderten Reduzierung der Durchlaufzeiten Rechnung getragen wird. Die Dokumentation der technischen Produktänderungen und damit auch die Sicherstellung der Rückverfolgbarkeit sind in dem Ablauf nicht explizit erwähnt; sie werden vielmehr als ständige Aufgabe vorausgesetzt und laufen parallel zu den einzelnen Schritten ab. Der Gedanke der Prävention wird durch die Lessons-learned repräsentiert, welche dazu beitragen sollen, in zukünftigen Produktentwicklungen technische Produktänderungen antizipieren zu können (vgl. Kapitel 3.1.7).

Im Folgenden fokussiert diese Arbeit die Unterstützung der Phase 2 des Referenzprozesses.

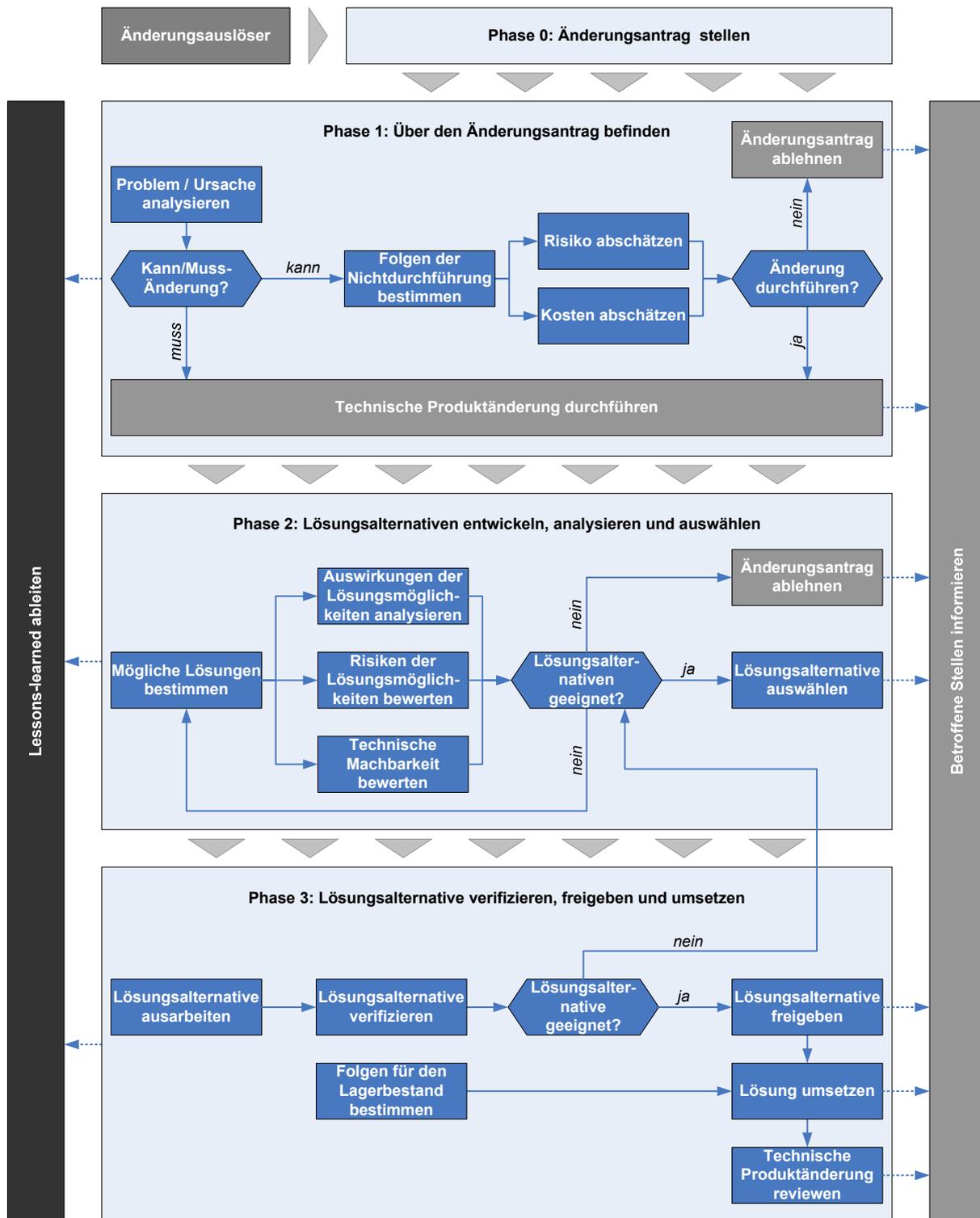


Abbildung 5.18: Referenzprozess für technische Produktänderungen

6 Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen

In diesem Kapitel wird eine, auf dem CPM/PDD-Ansatz beruhende, Methodik zur Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen, die sogenannte *Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)* vorgestellt.

6.1 Grundidee

Auf der ICED'07 Konferenz in Paris wurde in [CDKW07a] vom Autor unter dem Namen „Change Impact and Risk Analysis (CIRA)“ die Idee vorgestellt, durch eine Kombination des CPM/PDD-Ansatzes und der Struktur der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA, siehe Kapitel 3.1.5) beziehungsweise der Analyse potentieller Probleme nach Kepner und Tregoe [KeTr92] die Entscheidungsfindung über Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen besser zu unterstützen. Diese Idee ist aus der Beobachtung entstanden, dass sich mittels CPM Änderungen in Produktmodellen sehr elegant darstellen bzw. verfolgen lassen und PDD diesen Prozess nachvollziehbar beschreiben kann. Daneben sind die beiden o.g. Analysemethoden bewährt im Bereich der präventiven Erfassung und Bewertung von Problemen beziehungsweise Risiken und funktionieren nach dem einfachen Schema des „Was passiert wenn...?“ und „Wie verhindere ich ...?“. Im Kontext der Idee können diese Fragen übersetzt werden zu: „Was passiert, wenn dieses Element des CPM-Netzwerks geändert wird?“, „Welche Nebeneffekte stellen sich ein?“ und „Wie stelle ich das gewünschte Produktverhalten wieder sicher?“. Durch Beantwortung dieser Fragen bei gleichzeitiger Verfolgung der Auswirkungen im CPM-Netzwerk, wird es möglich, diejenige Lösungsmöglichkeit zu ermitteln, welche die höchste Lösungsgüte besitzt. Die Lösungsgüte ist ein Faktor, welcher sich aus der gemeinsamen Betrachtung der, der Analyse zugrundeliegenden, Beurteilungskriterien bestimmt.

Die erste Umsetzung dieser Grundidee gemäß [CDKW07a] umfasst nur die Ableitung der Lösungsmöglichkeiten, die Analyse der Produktauswirkungen anhand der Einflüsse auf Merkmale und Eigenschaften des bestehenden Produktmodells und ein stark an die FMEA angelehntes Bewertungs- und Auswahlschema. Weitere für eine Entscheidungsfindung über

eine Lösungsmöglichkeit zu einer technischen Produktänderung benötigte Informationen (z.B. Kosten-, Herstellbarkeits-, Varianten- und Terminauswirkungen) sind nicht enthalten, Kriterien für die Bewertung der einzelnen Faktoren nicht definiert. Darüber hinaus ist in der ersten Umsetzung die Analyse der Änderungsfortpflanzungen weitgehend unstrukturiert erfolgt, weshalb in einem Beitrag zur Design'08 Konferenz ([KCWW08]) eine Grundform von Matrix-CPM/PDD und das Konzept der primären und sekundären Auswirkungen eingeführt worden ist, auf welche in Kapitel 6.3.3 und 6.3.4 genauer eingegangen wird.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels wird die beschriebene Grundidee der Change Impact and Risk Analysis weiterentwickelt und die Methodik umfassend erweitert. Dabei orientiert sich die Methodik nun stärker an den Anforderungen im Umgang mit technischen Produktänderungen, wie sie im, in Kapitel 5.4.2 dargestellten, Referenzprozess für technische Produktänderungen beschrieben sind. Aufgrund der umfassenden Änderungen, wird die Methodik fortan als *Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)* bezeichnet.

Zur Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten gliedert sich PD/CIRA in zwei Teile, wobei jeder Teil wiederum in einzelne Schritte unterteilt ist. Die beiden Teile von PD/CIRA sind

- die Analyse der konstruktiven Auswirkungen der Lösungsmöglichkeiten und
- die Bestimmung der Lösungsgüte der Lösungsmöglichkeiten.

6.2 Vorbemerkung

In Anlehnung an Allmannsberger [Allm98] können zwei Arten des Änderns von Produkten unterschieden werden, welche per se unterschiedliche Risiken mit sich bringen. Dabei handelt es sich um das korrigierende und das generierende Ändern (vgl. Abbildung 6.1).

Das *korrigierende Ändern* kommt in der Regel beim kontinuierlichen Verbessern von Produkten vor und behält die bereits festgelegten Merkmale und Eigenschaften des Produktes so weit wie möglich bei. Somit findet die technische Produktänderung im „gewohnten Umfeld“ statt. Dies bedeutet, dass eine Änderung ohne weitreichende, zeit- und kostenintensive konzeptionelle Anpassungen am technischen System durchgeführt werden kann, weshalb der Änderungsaufwand und das Änderungsrisiko minimiert werden. [Allm98]

Vorgehen und bevorzugte Methoden für das
korrigierende und generierende Ändern

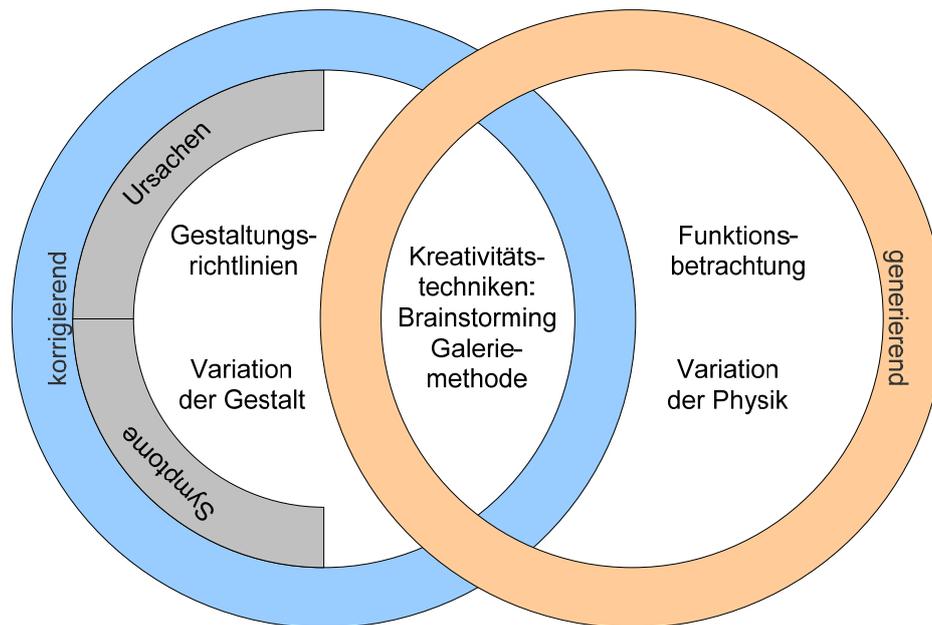


Abbildung 6.1: Vorgehen und bevorzugte Methoden für das korrigierende und generierende Ändern (angelehnt an [LiRe98] und [Wild06])

Im Falle des **generierenden Ändern**s werden Lösungen auf einer höheren Abstraktionsebene gesucht, was dazu führt, dass bestehende Eigenschaften und Relationen sowie in der Folge Merkmale des Produktes neu festgelegt beziehungsweise entwickelt werden. Dies kann zu einer innovativeren Lösung führen, bringt jedoch auch einen höheren Änderungsaufwand und, aufgrund des Neuheitsgrades der Lösung, ein höheres Änderungsrisiko mit sich. Der höhere Aufwand wird jedoch teilweise durch den Innovationsgrad der Lösung relativiert, welcher zur langfristigen Sicherung des Markterfolges des Erzeugnisses beitragen kann (z.B. durch Integration neuer Technologien). [Allm98]

Beide Arten des Ändern können prinzipiell durch den CPM/PDD-Ansatz dargestellt werden. Im Kontext dieses Ansatzes werden die beiden Arten des Ändern wie folgt unterschieden:

- Das korrigierende Ändern stellt eine reduzierte Form des generierenden Ändern dar. Bestehende Lösungen werden nur durch Variation von Merkmalswerten weiterentwickelt. Relationen zwischen Merkmalen und Eigenschaften bleiben dabei unverändert. Externe Bedingungen der Entwicklung werden nur geändert, sofern sie nicht zu einer Änderung der zugehörigen Relationen führen.

- Beim generierenden Ändern werden neue Merkmale auf Basis veränderter Relationen und externer Bedingungen entwickelt. Dabei laufen vollständige PDD-Entwicklungszyklen ab. Das generierende Ändern führt zur teilweisen Neuentwicklung des Produktes.

Der in diesem Kapitel beschriebene Ansatz des PD/CIRA fokussiert primär die Unterstützung des korrigierenden Ändern von Produkten. Erweist sich PD/CIRA für das korrigierende Ändern als geeignet, so kann später überprüft werden, ob die Methodik auch für das generierende Ändern eingesetzt werden kann.

6.3 Analyse der konstruktiven Auswirkungen

Die Analyse der konstruktiven Auswirkungen unterteilt sich in folgende Schritte:

- Vorbereitung der Analyse
- Lösungsmöglichkeiten beschreiben
- Primäre Auswirkungen bestimmen
- Sekundäre Auswirkungen bestimmen
- Beurteilung des konstruktiven Aufwands
- Bestimmung der Verhaltensreaktion

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 1: Konstruktive Auswirkungen												
Produkt:		_____						Datum:		_____		
Änderungswunsch:		_____						Bearbeiter:		_____		
Änderungsursache:		_____						Änderungs-Nr.:		_____		
Lösungs- möglich- keiten	Merkmale (via D)	primäre Auswirkungen				sekundäre Auswirkungen				Gesamt		
		Merkmale (via D)	Ist- Eigenschaften	Bewertung			Merkmale (via D&R)	Ist- Eigenschaften	Bewertung			KA
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)

Abbildung 6.2: Teil 1 des PD/CIRA-Formblatts

Diese Schritte bilden die Grundlage für den, in Abbildung 6.2 dargestellten, ersten Teil des PD/CIRA-Formblatts. Dieses Formblatt ist mittels MS Excel erstellt und dient der Strukturie-

rung und Unterstützung des Ablaufs von PD/CIRA sowie zur Dokumentation des Analyseergebnisses.

6.3.1 Vorbereitung der Analyse

Im Rahmen der Vorbereitung der Analyse werden die benötigten Informationen (z.B. Änderungsantrag/Beschreibung des Änderungswunsches, Problem- oder Ursachenanalyse, CPM-/Matrix-CPM-Produktmodell etc.) zusammengetragen und die Kopfdaten des Formblatts ausgefüllt. In den Kopfdaten werden das Produkt (ggf. mit Produktnummer) und der Änderungswunsch eingetragen. Außerdem wird das Ergebnis der Ursachenanalyse dokumentiert. Zusätzlich beinhaltet das Formblatt das Datum der Analyse, deren Bearbeitung sowie die Nummer der technischen Produktänderung beziehungsweise des Änderungsantrags.

Prinzipiell kann eine technische Produktänderung in einem CPM-Netzwerk durch eine gewünschte Änderung der Soll-Eigenschaften (z.B. geänderter Kundenwunsch, neue Zulassungsbestimmungen etc.) oder Merkmale (z.B. konstruktive Anpassung, konkreter Vorschlag der Produktion etc.) ausgelöst werden. Darüber hinaus können sich die externen Bedingungen einer Entwicklung ändern (z.B. verändertes X-System, veränderte Annahmen, Normen oder Richtlinien, gewollte Aufhebung von Einschränkungen etc.) und somit zu technischen Produktänderungen führen. Hinsichtlich der Relationen wird davon ausgegangen, dass diese keine technischen Produktänderungen auslösen können. Dies ist darin begründet, dass sie stets in Kombination mit den Eigenschaften, Merkmalen und externen Bedingungen des Produktes zu sehen sind.

Bevor das PD/CIRA-Formblatt, wie beschrieben, ausgefüllt wird, sollte noch mittels des CPM/PDD-Ansatzes überprüft werden, ob die Durchführung der Analyse überhaupt notwendig ist. Liegt die Differenz zwischen Soll- und Ist-Eigenschaft des Produktes noch innerhalb des Toleranzintervalls, so ist eine technische Produktänderung nicht erforderlich. Konkret erfolgt dies im Falle einer geänderten Soll-Eigenschaft in einem Evaluierungsschritt (Soll-/Ist-Vergleich), bei geänderten Merkmalen beziehungsweise externen Bedingungen wird diesem Evaluierungsschritt noch ein Analyseschritt (Bestimmung der Ist-Eigenschaft) vorgeschaltet. Dies ist in Abbildung 6.3 für die Soll-Eigenschaft PR_2 gezeigt. Die neue Differenz zwischen Soll- und Ist-Eigenschaft stellt den Treiber der weiteren Bearbeitung der technischen Produktänderung dar.

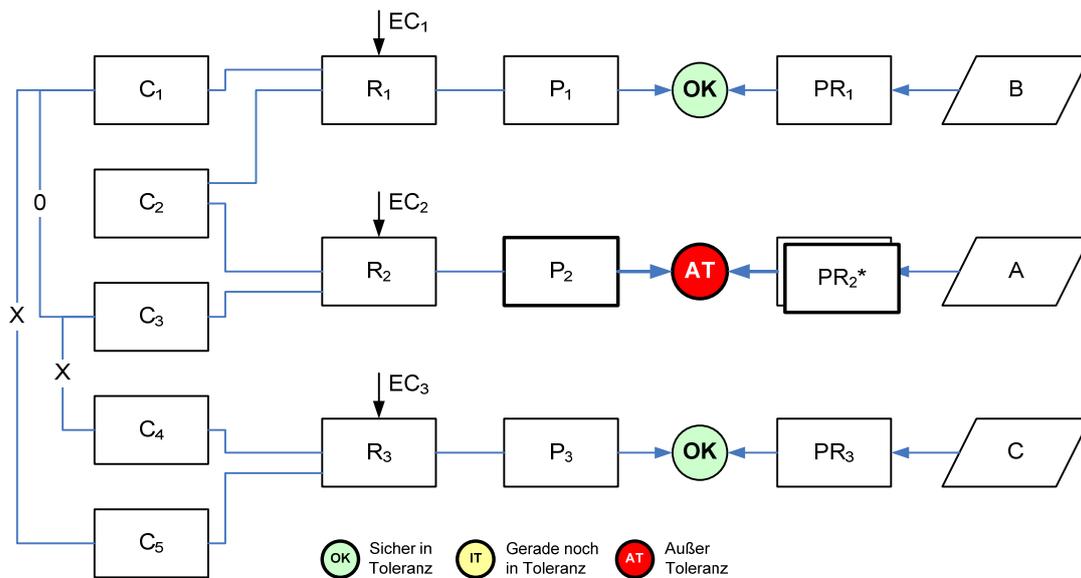


Abbildung 6.3: Bestimmung der Soll-/Ist-Differenz⁴⁴

Wird eine technische Produktänderung notwendig, so muss, bevor PD/CIRA eingesetzt wird, überprüft werden, ob es sich um korrigierendes Ändern handelt. Um festzustellen, ob das korrigierende Ändern angewandt werden kann, wird das in Abbildung 6.4 dargestellte Entscheidungsschema vorgeschlagen. Sind sowohl die Notwendigkeit einer technischen Produktänderung als auch die Voraussetzungen für das korrigierende Ändern gegeben, kann mit PD/CIRA fortgefahren werden. Für das generierende Ändern kann wie in Kapitel 6.5 beschrieben vorgefahren werden.

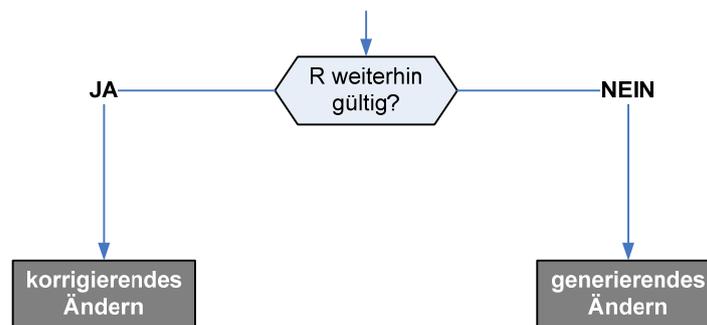


Abbildung 6.4: Entscheidungsschema korrigierendes vs. generierendes Ändern

⁴⁴ Aufgrund der kompakteren Darstellung bei diesem simplifizierten Produktmodell wird die herkömmliche CPM/PDD-Notation anstatt Matrix-CPM/PDD verwendet.

6.3.2 Lösungsmöglichkeiten beschreiben

Bevor Lösungsmöglichkeiten beschrieben werden können, müssen diese zunächst ermittelt werden. Allgemein können Lösungsmöglichkeiten entweder durch Kreativitätstechniken neu entwickelt oder durch systematische Variation der bisherigen Lösung generiert werden. Da PD/CIRA auf die Unterstützung des korrigierenden Änderns zielt, werden Lösungsmöglichkeiten auf Basis der Variation der bisherigen Lösung angestrebt. Dies kann durch den CPM/PDD-Ansatz unterstützt werden. Im Falle geänderter Soll-Eigenschaften oder externen Bedingungen der Entwicklung können in einem Syntheseschritt, auf Basis des PDD-Prozesses, die Merkmale identifiziert werden, welche durch Variation Lösungsmöglichkeiten des Änderungsproblems werden können. Beschreibt der Änderungswunsch eine Änderung eines oder mehrerer Merkmale, so ist die Lösungsmöglichkeit bereits definiert und der beschriebene Syntheseschritt entfällt.

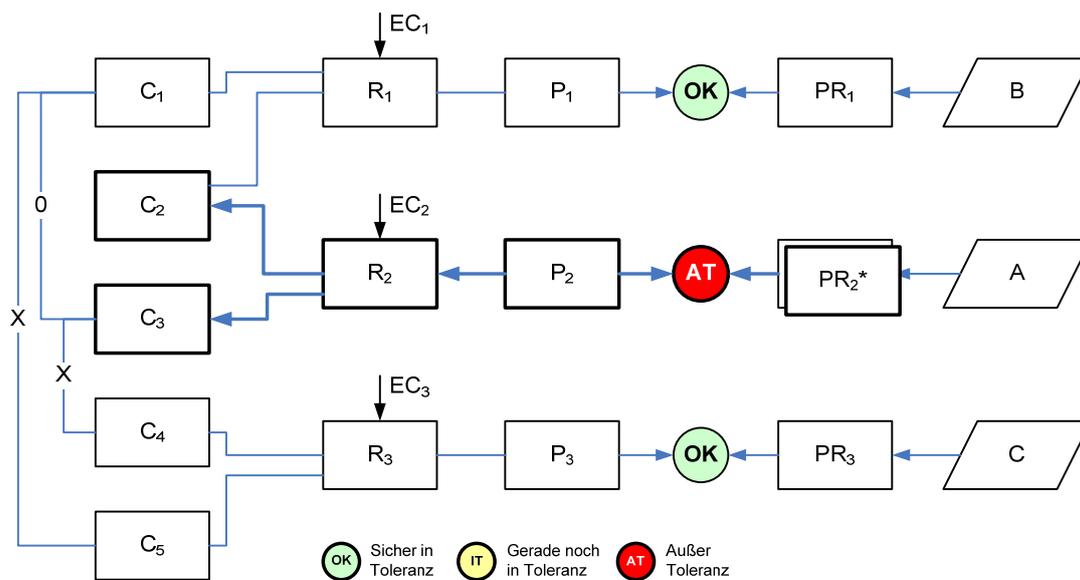


Abbildung 6.5: Beispielprodukt – Ermittlung variierbarer Merkmale

In Abbildung 6.5 können beispielsweise, ausgehend von der Änderung der Soll-Eigenschaft PR_2 zu PR_2^* , mit C_2 und C_3 zwei Merkmale identifiziert werden, die angepasst werden können, um die Differenz zwischen PR_2^* und P_2 wieder in das Toleranzintervall zurückzuführen. Durch Variation der Merkmale C_2 und C_3 , z.B. durch Verwendung der Variationsregeln nach

Ehrlenspiel [Ehrl07], können nun korrigierende Lösungsmöglichkeiten abgeleitet werden, z.B. C_2^* und C_3^* ⁴⁵.

Die ermittelten Lösungsmöglichkeiten werden in die erste Spalte des ersten Teils des PD/CIRA-Formblatts eingetragen (Abbildung 6.6).

Lösungsmöglichkeiten	primäre Auswirkungen						sekundäre Auswirkungen						Gesamt	
	Merkmale (via D)	Ist-Eigenschaften	Bewertung			Merkmale (via D&R)	Ist-Eigenschaften	Bewertung			KA	VR		
V1			S	P	V2			S	P					
C_2^*														
C_3^*														

Abbildung 6.6: Dokumentation der Lösungsmöglichkeiten im PD/CIRA-Formblatt

6.3.3 Primäre Auswirkungen bestimmen

Zur Bestimmung der *primären Auswirkungen* der Lösungsmöglichkeiten müssen, für jede Lösungsmöglichkeit getrennt, die folgenden Fortpflanzungen analysiert werden:

- Fortpflanzung der Lösungsmöglichkeit auf andere Merkmale über die inneren Abhängigkeiten
- Auswirkungen auf die Eigenschaften und somit das Verhalten des Produktes

Diese Analyse der Änderungsauswirkungen wird im Rahmen von PD/CIRA durch eine Erweiterung der Matrix-Darstellung des CPM/PDD-Ansatzes unterstützt. Wie in Abbildung 6.7 dargestellt, wird der Aufbau von Matrix-CPM/PDD um die Listen zur Eintragung der untersuchten Lösungsmöglichkeit beziehungsweise der primären/sekundären Auswirkungen auf Merkmale rechts der C/R-Matrix ergänzt. Unter der C/R-Matrix kommen entsprechend Listen zur Eintragung potentiell veränderter Relationen sowie der externen Bedingungen hinzu. Die Listen zur Eintragung der primären und sekundären Auswirkungen auf Eigenschaften sowie die Bestimmung der neuen Soll-/Ist-Differenz des Produktverhaltens schließen sich daran an. Sollte die Notwendigkeit bestehen, Auswirkungen dritten oder höheren Grades zu analysieren kann die Matrix-Darstellung, wie beschrieben, um weitere Listen ergänzt werden.

⁴⁵ Generell können auch mehrere Variationen desselben Merkmals als Lösungsmöglichkeit ermittelt werden.

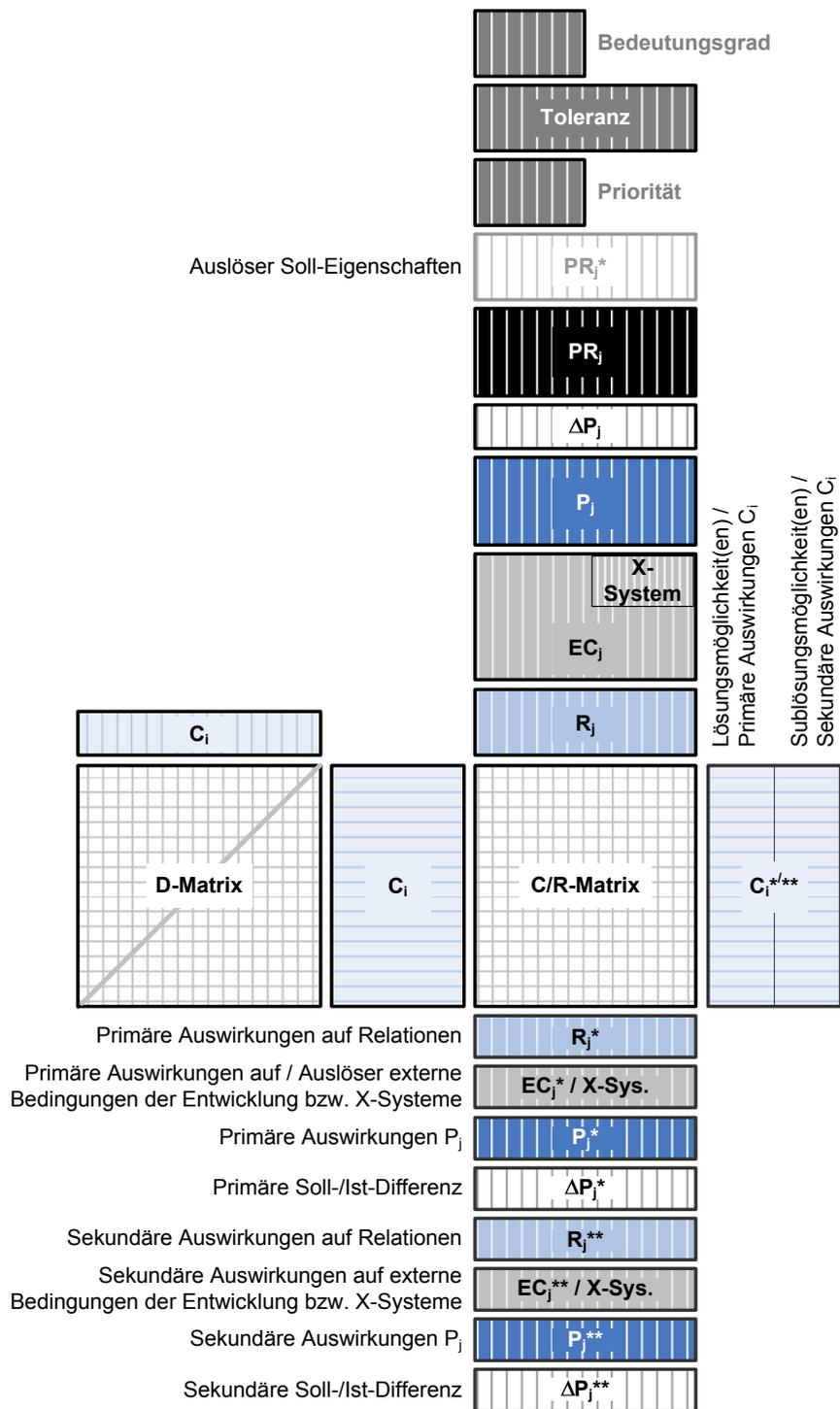


Abbildung 6.7: Erweitertes Matrix-CPM/PDD für die Untersuchung der Auswirkungen technischer Produktänderungen

Die beschriebene Art der Erweiterung von Matrix-CPM/PDD ist unabhängig von dem auslösenden Element der technischen Produktänderung. Da diese Erweiterung von Matrix-CPM/PDD die Analyse der Änderungsauswirkungen unterstützt, wird diese im weiteren Verlauf der Arbeit als CIA-Matrix bezeichnet, wobei CIA für Change Impact Analysis (engl. Än-

derungsauswirkungsanalyse) steht. Diese Art der Darstellung wurde vom Autor erstmalig in [KCWW08] beschrieben.

Zur Ermittlung der Fortpflanzung der Lösungsmöglichkeit über die inneren Abhängigkeiten auf andere Merkmale wird die D-Matrix ausgewertet. Als primäre Auswirkungen werden Änderungen an Merkmalen, welche sich direkt und zwangsläufig ergeben, betrachtet. Zur Veranschaulichung soll folgendes Beispiel dienen: Bewirkt die Änderung eines Wälzlagers die Änderung des Wellenabsatzes sowie der Wellenschulter an der das Wälzlager anliegt, so sind dies die primären Auswirkungen bezüglich der Merkmale. Die, durch den geänderten Durchmesser der Wellenschulter erforderliche Änderung des Innendurchmessers der, auf dem Wellenabsatz sitzenden Riemenscheibe sowie die konstruktiven Änderungen an der Riemenscheibe selbst, werden im Rahmen der sekundären Auswirkungen betrachtet. Dies ist in Abbildung 6.8 illustriert. Alternativ kann dies auch als eine Art Fortpflanzungsbaum betrachtet werden (ebenfalls Abbildung 6.8). Die Elemente, welche im Baum direkt mit der Lösungsmöglichkeit verbunden sind, sind die primären Auswirkungen; diejenigen Elemente, welche auf der zweiten Ebene auftreten und über die primären Auswirkungen mit der Lösungsmöglichkeit verbunden sind, sind die sekundären Auswirkungen.

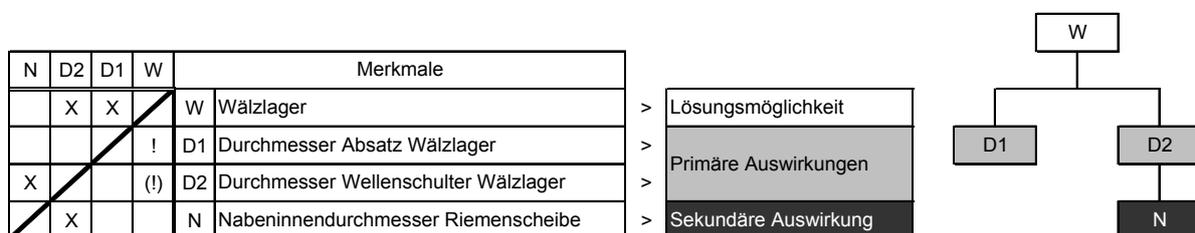


Abbildung 6.8: Beispiel zur Illustration der primären und sekundären Auswirkungen auf Merkmalsseite

An dieser Stelle muss berücksichtigt werden, dass eine Merkmalsänderung sich nicht über jede vorhandene innere Abhängigkeit fortpflanzen muss. Beispielsweise hat die Verringerung eines Wellendurchmessers von 37 auf 31 mm keine Auswirkungen auf die verwendete Passfeder, da diese im Bereich 30 bis 38 mm die gleichen Werte aufweist [HoHe07]. Somit ist bei der Analyse der Fortpflanzung von Merkmalsänderungen über die inneren Abhängigkeiten, die den inneren Abhängigkeiten innewohnende „Logik“ zu berücksichtigen.

Prognosesicherheit der Auswirkungen	S
<i>Abgesichert</i> : z.B. Feldversuch, mit Kunden abgeklärt	1
<i>Getestet unter Idealbedingungen</i> : z.B. Laborversuch, Herstellerangabe	0,9
<i>Analytisch bestimmt</i> : z.B. Rechnung, Computersimulation	0,8
<i>Geschätzt (erfahrene Person)</i> : Auswirkungen nur mit hohem Aufwand bestimmbar, es besteht jedoch viel Erfahrung mit dem Produkt	0,7
<i>Geschätzt (weniger erfahrene Person)</i> : Auswirkungen nur mit hohem Aufwand bestimmbar, es besteht wenig Erfahrung mit dem Produkt	0,5
<i>Geraten</i> : Auswirkungen nur mit hohem Aufwand bestimmbar, es liegen keine Erfahrungen vor	0,1

Abbildung 6.9: Skala zur Beurteilung der Prognosesicherheit (S) der primären/sekundären Auswirkungen

Die Auswirkungen der Lösungsmöglichkeit und der zuvor bestimmten merkmalsseitigen primären Auswirkungen auf die Eigenschaften und somit das Verhalten des Produktes ergibt sich durch einen Analyseschritt im Sinne des PDD-Prozesses: ausgehend von den zuvor ermittelten geänderten Merkmalen werden über Relationen und externe Bedingungen die beabsichtigten und unbeabsichtigten Änderungen an den Ist-Eigenschaften des Produktes ermittelt. Diese Ermittlung kann auf unterschiedliche Arten erfolgen, welche zu einer unterschiedlichen Sicherheit des Ergebnisses führen. Da die vollständige Bestimmung der Änderungen an den Soll-Eigenschaften unter Umständen sehr langwierig und aufwendig sein kann (z.B. experimentelle Bestimmung oder aufwendige Simulationen), wird in PD/CIRA die Möglichkeit vorgesehen, die Auswirkungen auf die Ist-Eigenschaften vereinfacht zu bestimmen beziehungsweise abzuschätzen. Die Stärke der ermittelten Auswirkungen wird deshalb entsprechend der Prognosesicherheit der Aussage gemindert. Durch die spätere Multiplikation der ermittelten Aussage mit der **Prognosesicherheit (S)** kann das Risiko des tatsächlichen Eintretens der Auswirkung dargestellt werden. Die für diese Arbeit vorgeschlagenen Minderungsfaktoren der Prognosesicherheit sind in Abbildung 6.9 dargestellt. Diese können – wie alle in dieser Arbeit vorgeschlagenen Faktoren – nur einen Startwert darstellen und müssen sich in der Anwendung bewähren beziehungsweise, auf Basis der gesammelten Erfahrungen, überarbeitet werden.

Die Stärke der Auswirkung einer geänderten Ist-Eigenschaft auf die Differenz zwischen Soll- und Ist-Eigenschaft – also die **Stärke der Auswirkungen auf das Verhalten des Produktes (VI/V2)** – wird anhand der in Abbildung 6.10 dargestellten Skala bewertet. In der Skala werden positive Auswirkungen mit positiven Vorzeichen und negative Auswirkungen mit einem negativen Vorzeichen gewertet. Ebenfalls als Startwert, wurde für die Bewertung der Auswirkungen die dargestellte „0, ±1, ±3, ±5“-Skala ausgewählt. Von dieser erwartet sich der Autor eine ausreichend genaue Bewertung der Auswirkungen im Produkt.

Stärke der primären/sekundären Auswirkungen auf das Verhalten des Produktes	V1 / V2
<i>Ideallösung</i> : Minimale Soll-/Ist-Differenz erreicht	+5
<i>Verbesserung</i> : Lage gegenüber zuvor deutlich verbessert	+3
<i>Leichte Verbesserung</i> : Lage gegenüber zuvor leicht verbessert	+1
<i>Keine Auswirkungen auf das Verhalten des Produktes</i>	0
<i>Leichte Verschlechterung</i> : Lage gegenüber zuvor leicht verschlechtert; Lage innerhalb des Toleranzintervalls verschlechtert	-1
<i>Verschlechterung</i> : Deutliche Verschlechterung gegenüber zuvor; Lage außerhalb des Toleranzintervalls, aber in dessen Nähe	-3
<i>Völlig außer Toleranz</i> : Lage fernab des Toleranzintervalls, kann nur noch mit erheblichen Anpassungen das Toleranzintervall wieder erreichen	-5

Abbildung 6.10: Skala zur Beurteilung der Stärke der Auswirkungen auf das Verhalten des Produktes (V1/V2)

In diesem Zusammenhang muss überprüft werden, ob unbedingt einzuhaltende Mindestanforderungen an das Produkt infolge einer Merkmalsänderung nicht erfüllt werden. Ist dies der Fall, so muss fokussiert versucht werden, diesen Mangel im folgenden Schritt von PD/CIRA wieder zu beheben. Ist dies nicht möglich, so muss die Lösungsmöglichkeit verworfen und die Analyse der Lösungsmöglichkeit abgebrochen werden.

Um die Analyse der primären Auswirkungen abzuschließen, wird den jeweils betroffenen Eigenschaften die, in der Vertriebsicht ermittelte, **Priorität (P)** zugewiesen und entsprechend Abbildung 6.11 bewertet.

Priorität	P
<i>Priorität A</i> : hoch	5
<i>Priorität B</i> : mittel	3
<i>Priorität C</i> : niedrig	1

Abbildung 6.11: Skala zur Bewertung der Priorität der Eigenschaften

Die Analyse zur Bestimmung der primären Auswirkungen läuft somit gemäß folgendem Schema ab:

- Analyse der Fortpflanzung der Lösungsmöglichkeit auf andere Merkmale über die inneren Abhängigkeiten in der CIA-Matrix
- Übertrag der merkmalsseitigen primären Auswirkungen in das PD/CIRA-Formblatt Teil 1 (Spalte (2) in Abbildung 6.2)
- Analyse der Auswirkungen aller geänderten Merkmale (Lösungsmöglichkeit und merkmalsseitige primäre Auswirkungen) auf die Eigenschaften und somit das Verhalten des Produktes in der CIA-Matrix

- Übertrag der eigenschaftsseitigen primären Auswirkungen in das PD/CIRA-Formblatt Teil 1 (Spalte (3) in Abbildung 6.2)
- Beurteilung der Stärke der primären Auswirkungen auf das Produktverhalten (V1) im PD/CIRA-Formblatt Teil 1 (Spalte (4) in Abbildung 6.2)
- Prüfen, ob erforderliche Mindestanforderungen unterschritten wurden; wenn ja, Definition einer Sublösungsmöglichkeit⁴⁶ oder Abbruch der Analyse
- Angabe der Prognosesicherheit (S) in Spalte (5) des PD/CIRA-Formblatts in Abbildung 6.2
- Angabe der Priorität der betroffenen Eigenschaften (P) in Spalte (6) des PD/CIRA-Formblatts in Abbildung 6.2

Die primären Auswirkungen sind beispielhaft in Abbildung 6.12 ins PD/CIRA-Formblatt eingetragen.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)													
Teil 1: Konstruktive Auswirkungen													
Produkt: <u>Beispielprodukt</u>								Datum: <u>01.07.2008</u>					
Änderungswunsch: <u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>								Bearbeiter: <u>CK</u>					
Änderungsursache: <u>Kundenwunsch</u>								Änderungs-Nr.: <u>2008_01</u>					
Lösungsmöglichkeiten	Merkmale (via D)	primäre Auswirkungen				sekundäre Auswirkungen				Gesamt			
		Merkmale (via D)	Ist-Eigenschaften	Bewertung V1	S	P	Merkmale (via D&R)	Ist-Eigenschaften	Bewertung V2	S	P	KA	VR
C2*	keine	P1*	-1	0,7	3								
		P2*	3	0,8	5								
C3*	C4*	P2*	5	0,8	5								
		P3*	-3	0,9	1								

Abbildung 6.12: Dokumentation und Bewertung der primären Auswirkungen im PD/CIRA-Formblatt

6.3.4 Sekundäre Auswirkungen bestimmen

Die Bestimmung der sekundären Auswirkungen erfolgt ähnlich der Bestimmung der primären Auswirkungen. Der Unterschied liegt darin, dass, basierend auf den primären Auswirkungen,

⁴⁶ Sublösungsmöglichkeiten sind Lösungsmöglichkeiten, die infolge primärer Auswirkungen entstehen. Sie stellen sekundäre Auswirkungen auf Merkmale dar.

neue Soll-/Ist-Differenzen auftreten können, welche weitere korrigierende Änderungen an Merkmalen erforderlich machen. Somit wird zunächst wieder ein Syntheseschritt zur Ermittlung der beeinflussbaren Merkmale durchgeführt und daraus werden gegebenenfalls Sublösungsmöglichkeiten generiert. Dies ist zwingend erforderlich, wenn bei der Analyse der primären Auswirkungen festgestellt wird, dass Mindestanforderungen unterschritten werden. Um die Analyse überschaubar zu halten, sollte hier nur die Sublösungsmöglichkeit berücksichtigt werden, welche als am erfolgversprechendsten eingestuft wird⁴⁷. Die merkmalsseitige Fortpflanzung dieser Sublösungsmöglichkeiten wird analog zu den primären Auswirkungen bestimmt (vergleiche Abbildung 6.8). Zusätzlich werden die Fortpflanzungen der merkmalsseitigen, primären Auswirkungen analysiert. Die Bestimmung der sekundären Auswirkungen auf die Eigenschaften erfolgt analog zu den primären Eigenschaften in einem PDD-Analyseschritt.

Somit ergibt sich folgendes Ablaufschema für die Bestimmung der sekundären Eigenschaften:

- Überprüfung der Notwendigkeit von Sublösungsmöglichkeiten zur Kompensation der, durch die primären Auswirkungen aufgetretenen, Differenzen zwischen Soll- und Ist-Eigenschaften und unterschrittenen Mindestanforderungen (CIA-Matrix)
- Analyse der Fortpflanzung der Sublösungsmöglichkeiten auf andere Merkmale über die inneren Abhängigkeiten in der CIA-Matrix
- Analyse der Fortpflanzung der merkmalsseitigen primären Auswirkungen über die inneren Abhängigkeiten in der CIA-Matrix
- Übertrag der merkmalsseitigen sekundären Auswirkungen in das PD/CIRA-Formblatt Teil 1 (Spalte (7) in Abbildung 6.2)
- Analyse der Auswirkungen aller geänderten Merkmale (Sublösungsmöglichkeiten, deren Fortpflanzungen und die Fortpflanzungen der merkmalsseitigen primären Auswirkungen) auf die Eigenschaften und somit das Verhalten des Produktes in der CIA-Matrix

⁴⁷ Bei Produkten mit komplexen Zusammenhängen zwischen Merkmalen und Eigenschaften kann es unter Umständen erforderlich sein, dass die sekundären Auswirkungen analog zu den primären Auswirkungen (mehr als eine Lösungsmöglichkeit) ermittelt werden. An diese Analyse schließt sich dann, wie beschrieben, die Analyse der tertiären Auswirkungen an.

- Übertrag der eigenschaftsseitigen, sekundären Auswirkungen in das PD/CIRA-Formblatt Teil 1 (Spalte (8) in Abbildung 6.2)
- Beurteilung der Stärke der sekundären Auswirkungen auf das Produktverhalten (V2) im PD/CIRA-Formblatt Teil 1 (Spalte (9) in Abbildung 6.2)
- Prüfen, ob erforderliche Mindestanforderungen nicht erfüllt werden; wenn ja, Abbruch der Analyse und Lösungsmöglichkeit verwerfen
- Angabe der Prognosesicherheit (S) in Spalte (10) des PD/CIRA-Formblatts in Abbildung 6.2
- Angabe der Priorität der betroffenen Eigenschaften (P) in Spalte (11) des PD/CIRA-Formblatts in Abbildung 6.2

Die sekundären Auswirkungen sind beispielhaft in Abbildung 6.13 ins PD/CIRA-Formblatt eingetragen.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 1: Konstruktive Auswirkungen												
Produkt: <u>Beispielprodukt</u>									Datum: <u>01.07.2008</u>			
Änderungswunsch: <u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>									Bearbeiter: <u>CK</u>			
Änderungsursache: <u>Kundenwunsch</u>									Änderungs-Nr.: <u>2008_01</u>			
Lösungsmöglichkeiten	Merkmale (via D)	primäre Auswirkungen			sekundäre Auswirkungen			Gesamt				
		Ist-Eigenschaften	Bewertung V1	S	P	Merkmale (via D&R)	Ist-Eigenschaften	Bewertung V2	S	P	KA	VR
C2*	keine	P1*	-1	0,7	3	C1*	P1**	1	0,7	3		
		P2*	3	0,8	5	C5*	P3*	1	0,8	1		
C3*	C4*	P2*	5	0,8	5	C4**	P3**	1	0,9	1		
						C3*	P2**	-3	0,8	5		
		P3*	-3	0,9	1	C5*	P3**	0	0,8	1		
					C1*	P1*	-1	0,7	3			

Abbildung 6.13: Dokumentation und Bewertung der sekundären Auswirkungen im PD/CIRA-Formblatt

6.3.5 Beurteilung des konstruktiven Aufwands

Der *konstruktive Aufwand (KA)* ist nur schwierig allgemein zu beurteilen. Aus diesem Grund erfolgt hier eine vergleichende Bewertung des konstruktiven Aufwands aller Lösungsmöglichkeiten. Die Beurteilungskriterien sind in Abbildung 6.14 dargestellt. Die Beurteilung des

konstruktiven Aufwands erfolgt für jede Lösungsmöglichkeit in Spalte (12) des PD/CIRA-Formblatts in Abbildung 6.2.

Konstruktiver Aufwand zur Anpassung des Produktes in Relation zu den anderen Lösungsalternativen	KA
<i>Vernachlässigbar:</i> Konstruktiver Aufwand zur Anpassung ist von vernachlässigbarem Ausmaß bzw. nicht vorhanden	0
<i>Gering:</i> Konstruktiver Aufwand zur Anpassung ist gering/am geringsten	-1
<i>Mittel:</i> Konstruktiver Aufwand zur Anpassung ist mittelhoch	-3
<i>Hoch:</i> Konstruktiver Aufwand zur Anpassung hoch / am höchsten	-5

Abbildung 6.14: Skala zur Beurteilung des konstruktiven Aufwands (KA)

Sofern der konstruktive Aufwand einer Lösungsmöglichkeit nicht vernachlässigt werden kann, erhält die Lösungsmöglichkeit mit dem vergleichsweise kleinsten, konstruktiven Aufwand die Bewertung „-1“, die Lösungsmöglichkeiten mit einem mittleren, konstruktiven Aufwand die Bewertung „-3“ und die Lösungsmöglichkeit(en) mit einem hohen, konstruktiven Aufwand die Bewertung „-5“. Analog zur Beurteilung der Stärke der primären und sekundären Auswirkungen wird der konstruktive Aufwand als negativ angesehen; er muss quasi zusätzlich aufgebracht werden. Somit geht er negativ in die Gesamtbewertung ein.

Die Beurteilung des konstruktiven Aufwands der Lösungsmöglichkeiten (KA) ist exemplarisch in Abbildung 6.15 dargestellt.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 1: Konstruktive Auswirkungen												
Produkt: <u>Beispielprodukt</u>								Datum: <u>01.07.2008</u>				
Änderungswunsch: <u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>								Bearbeiter: <u>CK</u>				
Änderungsursache: <u>Kundenwunsch</u>								Änderungs-Nr.: <u>2008_01</u>				
Lösungsmöglichkeiten	Merkmale (via D)	primäre Auswirkungen				sekundäre Auswirkungen				Gesamt		
		Merkmale (via D)	Ist-Eigenschaften	Bewertung			Merkmale (via D&R)	Ist-Eigenschaften	Bewertung			KA
C2*	keine	P1*	-1	0,7	3	C1*	P1**	1	0,7	3	-1	
		P2*	3	0,8	5	C5*	P3*	1	0,8	1		
C3*	C4*	P2*	5	0,8	5	C4**	P3**	1	0,9	1	-5	
		P3*	-3	0,9	1	C3*	P2**	-3	0,8	5		
						C5*	P3**	0	0,8	1		
					C1*	P1*	-1	0,7	3			

Abbildung 6.15: Beurteilung des konstruktiven Aufwands der Lösungsmöglichkeiten im PD/CIRA-Formblatt

6.3.6 Bestimmung der Verhaltensreaktion

Zum Abschluss des ersten Teils von PD/CIRA werden die *Verhaltensreaktionen (VR)* der Lösungsmöglichkeiten ermittelt. Die Verhaltensreaktion einer Lösungsmöglichkeit bestimmt sich aus allen ermittelten Auswirkungen auf das Verhalten des Produktes inklusive der Bedeutung der Soll-Eigenschaften und der Prognosesicherheit. Somit lässt sich die Verhaltensreaktion (VR) anhand folgender Formel bestimmen:

$$VR = \sum_i^n V1_i \cdot S_i \cdot P_i + \sum_j^m V2_j \cdot S_j \cdot P_j$$

mit

$V1_i / V2_j$ – Stärke der primären/sekundären Auswirkungen

S_i / S_j – Prognosesicherheit der primären/sekundären Auswirkungen

P_i / P_j – Prioritäten der geänderten Eigenschaften

Die Verhaltensreaktion wird für jede Lösungsmöglichkeit bestimmt und in die letzte Spalte des PD/CIRA-Formblatts, wie in Abbildung 6.16 dargestellt, eingetragen.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 1: Konstruktive Auswirkungen												
Produkt: <u>Beispielprodukt</u>									Datum: <u>01.07.2008</u>			
Änderungswunsch: <u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>									Bearbeiter: <u>CK</u>			
Änderungsursache: <u>Kundenwunsch</u>									Änderungs-Nr.: <u>2008_01</u>			
Lösungsmöglichkeiten	Merkmale (via D)	primäre Auswirkungen Ist-Eigenschaften			sekundäre Auswirkungen Ist-Eigenschaften			Gesamt				
		Bewertung V1	S	P	Bewertung V2	S	P	KA	VR			
C2*	keine	P1*	-1	0,7	3	C1*	P1**	1	0,7	3	-1	12,8
		P2*	3	0,8	5	C5*	P3*	1	0,8	1		
C3*	C4*	P2*	5	0,8	5	C4**	P3**	1	0,9	1	-5	4,1
		P3*	-3	0,9	1	C3*	P2**	-3	0,8	5		
						C5*	P3**	0	0,8	1		
					C1*	P1*	-1	0,7	3			

Abbildung 6.16: Bestimmung der Verhaltensreaktionen der Lösungsmöglichkeiten im PD/CIRA-Formblatt

Die Formel und die Bewertungen sind so aufeinander abgestimmt, dass negative Einflüsse auf das Produktverhalten bei Eigenschaften mit hoher Priorität schwerwiegender sind als bei solchen mit niedriger Priorität. Zusätzlich geht für jede Bewertung die Prognosesicherheit mit ein. Negative Auswirkungen führen zu einer negativen Verhaltensreaktion, positive zu einer positiven. Aufgrund des Aufbaus der Formel ist es möglich, dass negative, primäre Auswirkungen durch positiv wirkende, sekundäre Auswirkungen bei der gleichen Eigenschaft kom-

pensiert werden können. Ein negativer Wert der Verhaltensreaktion bedeutet somit eine Verschlechterung des bisherigen Produktverhaltens und ist ein Indikator für ein konstruktives Risiko der technischen Produktänderung. Umgekehrt ist ein positiver Wert der Verhaltensreaktion ein Indikator für den Nutzen der technischen Produktänderung.

Ein exemplarisches Ergebnis für die Bestimmung der Verhaltensreaktion ist in Abbildung 6.16 dargestellt. Es fällt insbesondere auf, dass die auf den ersten Blick „ideale“ Lösungsmöglichkeit C₃* starke, negative Auswirkungen auf das restliche Verhalten des Produktes besitzt, so dass durch sie letztlich nur eine geringe Verbesserung des Produktverhaltens zu erwarten ist.

6.4 Bestimmung der Lösungsgüte

Die **Lösungsgüte einer Lösungsmöglichkeit (LG)** bezieht neben den, in der Analyse der konstruktiven Auswirkungen, ermittelten Werten des konstruktiven Aufwands (KA) und der Verhaltensreaktion (VR) zusätzlich folgende Auswirkungen mit ein und ermöglicht somit eine umfassende Beurteilung der Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich ihrer Risiken und Auswirkungen:

- Auswirkungen auf die Herstellbarkeit
- Auswirkungen auf andere Produkte
- Terminauswirkungen
- Wirtschaftlichkeitsauswirkungen

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte												
Produkt:		_____						Datum:			_____	
Änderungswunsch:		_____						Bearbeiter:			_____	
Änderungsursache:		_____						Änderungs-Nr.:			_____	
Lösungsmöglichkeiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte	Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeitsauswirkungen		LG
	KA	VR		H	S			T	S	W	S	

Abbildung 6.17: Teil 2 des PD/CIRA-Formblatts

Die Bestimmung der Lösungsgüte wird durch den zweiten Teil des PD/CIRA-Formblatts strukturiert und dokumentiert. Dieser Teil des PD/CIRA-Formblatts ist in Abbildung 6.17 dargestellt. Die Kopfdaten des Formblatts sind identisch zum Teil 1 der Analyse. Ebenso werden in Spalte (1) die Lösungsmöglichkeiten aufgelistet. In den Spalten (2) und (3) werden die, im Teil 1 von PD/CIRA bestimmten, konstruktiven Auswirkungen übertragen.

6.4.1 Beurteilung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit

Ausgehend von der Analyse der konstruktiven Auswirkungen der Lösungsmöglichkeiten innerhalb eines Produktes müssen, auf deren Ergebnissen aufbauend, die **Auswirkungen auf die Herstellbarkeit des Produktes (H)** bestimmt werden. Innerhalb des erweiterten CPM/PDD-Ansatzes geschieht dies in der Produktionssicht. Hierbei wird abgeschätzt, wie sich die Herstellbarkeit der geänderten Merkmale des Produktes auf Basis der Eigenschaften der X-Systeme ändert (Abbildung 6.19). Da diese Methodik die Phase der Lösungsauswahl für eine technische Produktänderung unterstützt, wird diese Tiefe der Analyse als ausreichend betrachtet, um einen ersten Eindruck über die Auswirkungen in den Herstellprozessen zu gewinnen.

Die wissensintensive, detaillierte Betrachtung der Auswirkungen auf die zur Produktherstellung benötigten Prozesse erfolgt im Vorfeld der Freigabe der Lösungsmöglichkeit in Phase 3 des Referenzprozesses in den zuständigen Fachabteilungen.

Auswirkungen auf die Herstellbarkeit des Produktes	H
<i>Optimallösung:</i> Optimale Herstellbarkeit erreicht	+5
<i>Deutliche Verbesserung:</i> Deutliche Verbesserung der Herstellbarkeit	+3
<i>Leichte Verbesserung:</i> Leichte Verbesserung der Herstellbarkeit	+1
<i>Keine Auswirkungen auf die Herstellbarkeit</i>	0
<i>Verschlechterung:</i> Herstellbarkeit des Produktes verschlechtert sich, Produkt noch herstellbar	-1
<i>Herstellbarkeit eingeschränkt:</i> Herstellbarkeit des Produktes ist nicht mehr gewährleistet, Produkt ist nur noch eingeschränkt herstellbar	-3
<i>Keine Herstellbarkeit:</i> Herstellbarkeit des Produktes ist nicht mehr gegeben, Produkt kann nicht mehr hergestellt werden	-5

Abbildung 6.18: Skala zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit (H)

Die Stärke der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit wird analog zu den anderen Auswirkungen anhand der in Abbildung 6.18 dargestellten Skala bewertet. Für den Fall, dass sich die Herstellbarkeit verschlechtert, muss der Aufwand abgeschätzt werden, ein Produktionssystem an das geänderte Produkt anzupassen.

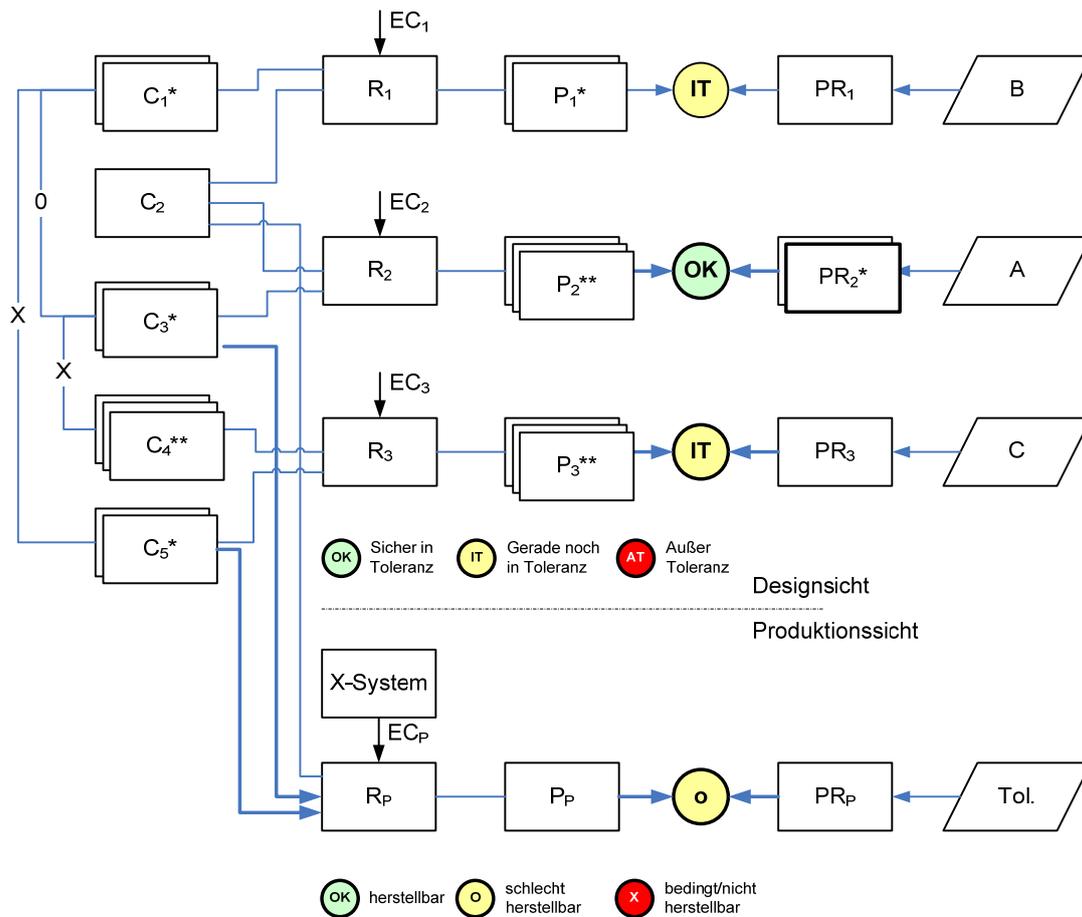


Abbildung 6.19: Analyse der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit (H)

Bezogen auf die Abbildung 6.19 werden die Auswirkungen auf die Herstellbarkeit des Produktes im zweiten Teil des PD/CIRA-Formblatts in Abbildung 6.20 bewertet. Analog zum Teil 1 von PD/CIRA wird die Prognosesicherheit (S) der Auswirkung angegeben.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)														
Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte														
Produkt:		<u>Beispielprodukt</u>												
Änderungswunsch:		<u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>							Datum:		<u>01.07.2008</u>			
Änderungsursache:		<u>Kundenwunsch</u>							Bearbeiter:		<u>CK</u>			
									Änderungs-Nr.:		<u>2008_01</u>			
Lösungsmöglichkeiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte		Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeitsauswirkungen			LG
	KA	VR		H	S		Pr		T	S		W	S	
C2*	-1	12,8	deutliche Verbesserung	3	0,5									
C3*	-5	4,1	Ver-schlechterung	-1	0,5									

Abbildung 6.20: Beurteilung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit des Produktes im PD/CIRA-Formblatt

6.4.2 Beurteilung der Auswirkungen auf andere Produkte

Analog zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit des Produktes werden **Auswirkungen auf andere Produkte (Pr)** auf Basis der Ergebnisse der konstruktiven Auswirkungen der Lösungsmöglichkeiten in PD/CIRA analysiert. Um diese Analyse innerhalb des CPM/PDD-Ansatzes zu ermöglichen, sind in Kapitel 5.2.2 die sogenannten Crosslinks eingeführt worden. Anhand dieser wird überprüft, auf welche weiteren Produkte sich die identifizierten Auswirkungen der Lösungsmöglichkeiten fortpflanzen können.

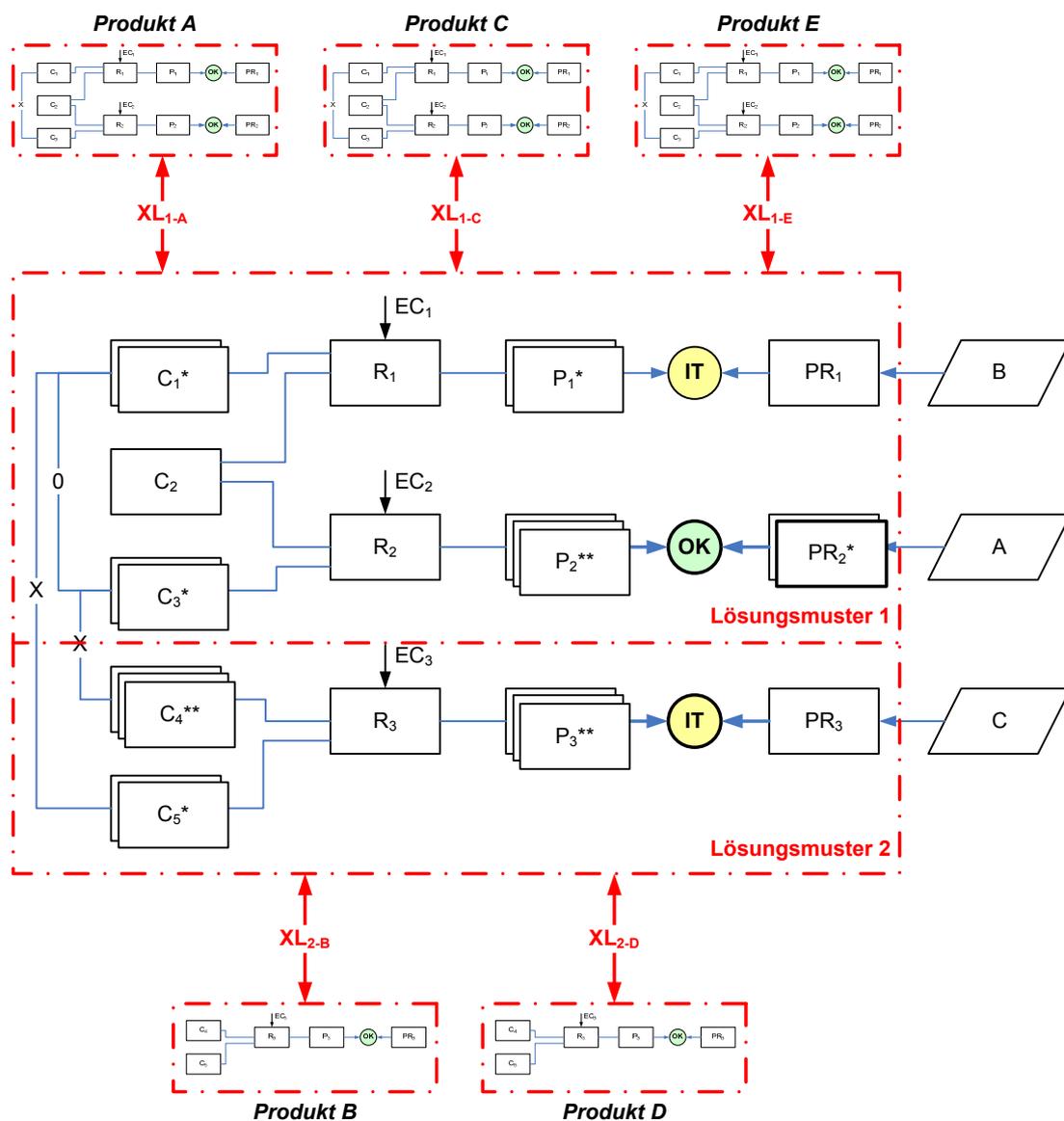


Abbildung 6.21: Analyse der Auswirkungen auf andere Produkte für Lösungsmöglichkeit C_3^*

Mit Hilfe von PD/CIRA wird zunächst überprüft, auf welche anderen Produkte sich die ermittelten Merkmals- und Eigenschaftsänderungen auswirken. Dies geschieht dadurch, dass auf

Basis der Crosslinks überprüft wird, in welchen Produkten das gleiche Lösungsmuster noch einmal vorkommt. Diese Produkte werden aufgelistet und die Auswirkungen innerhalb des Produktes abgeschätzt. Die Stärke der Auswirkungen kann anhand der Skala in Abbildung 6.23 vorgeschlagenen bewertet werden. Die Crosslinks zwischen den Lösungsmustern eines Produktes können beispielsweise, wie in Abbildung 6.21 dargestellt, aussehen. Die über die Crosslinks ermittelten Auswirkungen können dann wie, beispielsweise in Abbildung 6.22 geschehen, im PD/CIRA-Formblatt dokumentiert und bewertet werden.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA) Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte														
Produkt:		<u>Beispielprodukt</u>						Datum:		<u>01.07.2008</u>				
Änderungswunsch:		<u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>						Bearbeiter:		<u>CK</u>				
Änderungsursache:		<u>Kundenwunsch</u>						Änderungs-Nr.:		<u>2008_01</u>				
Lösungs- möglich- keiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte		Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeits- auswirkungen			LG
	KA	VR		H	S		Pr		T	S		W	S	
C2*	-1	12,8	deutliche Verbesserung	3	0,5	ohne Auswirkungen	0							
C3*	-5	4,1	Ver- schlechterung	-1	0,5	eine neue Variante	-3							

Abbildung 6.22: Beurteilung und Dokumentation der Auswirkungen auf andere Produkte im PD/CIRA-Formblatt

Auswirkungen auf andere Produkte	Pr
<i>Stark positive Auswirkungen:</i> Die Stärke der positiven Auswirkungen auf andere Produkte ist stark Es ist eine große Anzahl an Produkten betroffen oder es fallen mehr als eine Variante weg.	+5
<i>Mittlere positive Auswirkungen:</i> Die Stärke der positiven Auswirkungen auf andere Produkte ist mittelschwer. Es ist eine größere Anzahl an Produkten betroffen oder es fällt maximal eine Variante weg.	+3
<i>Minimale positive Auswirkungen:</i> Die Stärke der positiven Auswirkungen auf andere Produkte ist minimal. Es sind entweder nur wenige andere Produkte betroffen oder es wird die Variantenzahl nicht reduziert.	+1
<i>Keine Auswirkungen auf andere Produkte</i>	0
<i>Minimale negative Auswirkungen:</i> Die Stärke der negativen Auswirkungen auf andere Produkte ist minimal. Es sind entweder nur wenige andere Produkte betroffen oder der Kompensationsaufwand wird als minimal eingestuft. Es entstehen keine neuen Varianten.	-1
<i>Mittelschwere negative Auswirkungen:</i> Die Stärke der negativen Auswirkungen auf andere Produkte ist mittelschwer. Es ist eine größere Anzahl an Produkten betroffen oder es ist ein erhöhter Kompensationsaufwand erforderlich. Es entsteht maximal eine neue Variante.	-3
<i>Schwerwiegende negative Auswirkungen:</i> Die Stärke der negativen Auswirkungen auf andere Produkte ist schwerwiegend. Es ist eine große Anzahl an Produkten betroffen oder der Kompensationsaufwand ist sehr hoch. Es entstehen mehr als eine neue Variante.	-5

Abbildung 6.23: Skala zur Beurteilung der Auswirkungen auf andere Produkte (Pr)

6.4.3 Beurteilung der Terminauswirkungen

Ziel der Beurteilung der *Terminauswirkungen (T)* ist es, eine umfassende Beurteilung einer Lösungsmöglichkeit auf Basis des bekannten Qualität/Kosten/Zeit-Dreiecks zu ermöglichen. Die bisherigen Elemente von PD/CIRA zielen eher auf die technische Machbarkeit und somit die Qualität des Produktes.

Terminauswirkungen können beispielsweise anhand bestehender Ansätze aus dem Projektmanagement (z.B. mit Gantt-Charts) bestimmt werden. Bei den Terminauswirkungen sollten insbesondere die benötigte Zeit für die Durchführung der konstruktiven Änderungen, die Validierungszeiten und die Durchlaufzeiten der Änderungsdokumente, Produktionsverzögerungen und Änderungen in der Durchlaufzeit der späteren Fertigungsaufträge berücksichtigt werden. Wie die Terminauswirkungen letztendlich bestimmt werden, wird innerhalb von PD/CIRA nicht detailliert betrachtet. Es ist jedoch wichtig, dass die Terminauswirkungen zuverlässig und mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden und somit zur Entscheidungsfindung beitragen können. Innerhalb von PD/CIRA werden die Terminauswirkungen anhand der in Abbildung 6.24 dargestellten Skala bewertet und sind exemplarisch in Abbildung 6.25 im Formblatt zusammen mit der Prognosesicherheit eingetragen.

Terminauswirkungen	T
Keine Auswirkungen auf bestehenden Terminplan	0
Minimale Auswirkungen: Der bestehende Terminplan verschiebt sich leicht. Vereinzelt Termine können nicht mehr eingehalten werden.	-1
Mittelschwere Auswirkungen: Der bestehende Terminplan verschiebt sich. Teile des Terminplans können nicht mehr eingehalten werden.	-3
Schwerwiegende Auswirkungen: Der bestehende Terminplan verschiebt sich deutlich. Der Terminplan kann insgesamt nicht mehr eingehalten werden.	-5

Abbildung 6.24: Skala zur Beurteilung der Terminauswirkungen (T)

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)														
Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte														
Produkt:		<u>Beispielprodukt</u>							Datum:		<u>01.07.2008</u>			
Änderungswunsch:		<u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>							Bearbeiter:		<u>CK</u>			
Änderungsursache:		<u>Kundenwunsch</u>							Änderungs-Nr.:		<u>2008_01</u>			
Lösungsmöglichkeiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte		Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeitsauswirkungen			LG
	KA	VR	H	S	Pr	T	S	W	S					
C2*	-1	12,8	deutliche Verbesserung	3	0,5	ohne Auswirkungen	0	mittel	-3	0,9				
C3*	-5	4,1	Ver-schlechterung	-1	0,5	eine neue Variante	-3	gering	-1	0,9				

Abbildung 6.25: Beurteilung und Dokumentation der Terminauswirkungen im PD/CIRA-Formblatt

6.4.4 Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsauswirkungen

Die Wirtschaftlichkeitsauswirkungen technischer Produktänderungen setzen sich aus den erwarteten Kosten und den antizipierten Einsparungen zusammen. Wie bereits mehrfach erwähnt, stellt die Bestimmung der Kosten technischer Produktänderungen ein eigenes Forschungsgebiet dar. Die sogenannten Änderungskosten lassen sich beispielsweise, wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben, ermitteln. Insbesondere sollen hierbei die Kosten der konstruktiven Änderungen, der Validierung, der Anpassungen der Produktion sowie die, durch zusätzliche Produktvarianten und Lieferverzögerungen entstehenden Kosten, berücksichtigt werden. Diesen Kosten können (müssen aber nicht) erwartete Einsparungen gegenüberstehen. Um die Wirtschaftlichkeit einer Lösungsmöglichkeit zu bestimmen, können verschiedene Ansätze der Investitionsrechnung genutzt werden. Als Beispiele hierfür seien die Gewinnvergleichsrechnung, die Amortisationsrechnung oder die Kapitalwertmethode genannt [Kußm01, BrMM06]. Für die hier vorgestellte Methodik ist der Ansatz nach dem die Wirtschaftlichkeit bestimmt wird von untergeordneter Bedeutung, solange die Ermittlung zuverlässig und mit ausreichender Genauigkeit erfolgt. Auswirkungen auf Produktkosten (Eigenschaft) bzw. -wert (vgl. [Deub07]) ergeben sich als Folge hieraus, müssen aber an dieser Stelle nicht zwingend kalkuliert werden.

Stärke der Wirtschaftlichkeitsauswirkungen	W
<i>starke Einsparung</i> : Die Einsparungen übersteigen die Kosten deutlich	+5
<i>Einsparung</i> : Die Einsparungen übersteigen die Kosten	+3
<i>leichte Einsparung</i> : Die Einsparungen übersteigen die Kosten leicht	+1
<i>Neutral</i> : Die Einsparungen entsprechen den Kosten	0
<i>geringe Kosten</i> : Die Kosten übersteigen die Einsparungen leicht	-1
<i>Kosten</i> : Die Kosten übersteigen die Einsparungen	-3
<i>hohe Kosten</i> : Die Kosten übersteigen die Einsparungen deutlich	-5

Abbildung 6.26: Skala zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsauswirkungen (W)

Die Wirtschaftlichkeitsauswirkungen werden analog zu den restlichen Auswirkungen anhand der in Abbildung 6.26 dargestellten Skala bewertet und zusammen mit der Prognosesicherheit in das in Abbildung 6.27 dargestellte Formblatt eingetragen.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)														
Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte														
Produkt:		<u>Beispielprodukt</u>						Datum:		<u>01.07.2008</u>				
Änderungswunsch:		<u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>						Bearbeiter:		<u>CK</u>				
Änderungsursache:		<u>Kundenwunsch</u>						Änderungs-Nr.:		<u>2008_01</u>				
Lösungsmöglichkeiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte		Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeitsauswirkungen			LG
	KA	VR		H	S		Pr		T	S		W	S	
C2*	-1	12,8	deutliche Verbesserung	3	0,5	ohne Auswirkungen	0	mittel	-3	0,9	Kosten > Einsparungen	-1	1	
C3*	-5	4,1	Ver-schlechterung	-1	0,5	eine neue Variante	-3	gering	-1	0,9	Kosten << Einsparungen	3	1	

Abbildung 6.27: Beurteilung und Dokumentation der Wirtschaftlichkeitsauswirkungen im PD/CIRA-Formblatt

6.4.5 Lösungsgüte

Nachdem alle Beurteilungskriterien abgearbeitet und beurteilt sind, kann die **Lösungsgüte (LG)** bestimmt werden. Dies geschieht gemäß folgender Formel:

$$LG = KA + VR + H \cdot S + Pr + T \cdot S + W \cdot S$$

mit

KA – Konstruktiver Aufwand der Lösungsmöglichkeit

VR – Verhaltensreaktion der Lösungsmöglichkeit

H – Auswirkungen auf die Herstellbarkeit

S – Prognosesicherheit der Analyse der jeweiligen Auswirkung

Pr – Auswirkungen auf andere Produkte

T – Terminauswirkungen

W – Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit

Analog zur Formel der Verhaltensreaktion in Abschnitt 6.3.6 dieser Arbeit, berücksichtigt die Formel zur Ermittlung der Lösungsgüte positive und negative Effekte. Eine positive Lösungsgüte ist somit ein Indikator dafür, dass sich eine Lösungsmöglichkeit insgesamt positiv auswirkt; eine negative Lösungsgüte ist entsprechend ein Indikator für überwiegend negative Auswirkungen einer Lösungsmöglichkeit. Je höher der Wert der Lösungsgüte ist, desto geeigneter scheint die Lösungsmöglichkeit zu sein.

In Abbildung 6.28 sind exemplarisch Lösungsgüten bestimmt. Es ist ersichtlich, dass die Lösungsmöglichkeit C_2^* eine positive Lösungsgüte besitzt, C_3^* eine negative. Somit gibt PD/CIRA einen Hinweis darauf, dass die Lösungsmöglichkeit C_2^* geeignet erscheint, als technische Produktänderung weiter verfolgt zu werden. Im Teil 1 des PD/CIRA-Formblatts sind bereits die durchzuführenden konstruktiven Änderungen (größtenteils) beschrieben.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)														
Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte														
Produkt:		<u>Beispielprodukt</u>						Datum:		<u>01.07.2008</u>				
Änderungswunsch:		<u>Neuer Wert für Soll-Eigenschaft PR2</u>						Bearbeiter:		<u>CK</u>				
Änderungsursache:		<u>Kundenwunsch</u>						Änderungs-Nr.:		<u>2008_01</u>				
Lösungsmöglichkeiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte		Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeitsauswirkungen			LG
	KA	VR		H	S		Pr		T	S		W	S	
C2*	-1	12,8	deutliche Verbesserung	3	0,5	ohne Auswirkungen	0	mittel	-3	0,9	Kosten > Einsparungen	-1	1	9,6
C3*	-5	4,1	Ver-schlechterung	-1	0,5	eine neue Variante	-3	gering	-1	0,9	Kosten << Einsparungen	3	1	-2,3

Abbildung 6.28: Bestimmung und Dokumentation der Lösungsgüten im PD/CIRA-Formblatt

In der obigen Formel ist die Lösungsgüte so berechnet worden, dass alle Beurteilungskriterien gleich bedeutend sind. Um eine besondere Gewichtung einzelner Kriterien zu ermöglichen (z.B. Fokus der technischen Produktänderung auf Kostensenkung), kann die folgende Formel verwendet werden, wobei a , b , c , d , e und f die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Beurteilungskriterien darstellen:

$$LG = a \cdot KA + b \cdot VR + c \cdot H \cdot S + d \cdot P + e \cdot T \cdot S + f \cdot W \cdot S$$

6.5 Anwendung beim generierenden Ändern

Stellt sich im Verlauf der Analyse heraus, dass korrigierende Lösungsmöglichkeiten nicht ausreichen, um ein Änderungsproblem zu beheben, so muss das generierende Ändern angewendet werden. Unter Nutzung des PDD-Prozesses wird dann mindestens eine Lösungsmöglichkeit entwickelt. Die Auswirkungen dieser Lösungsmöglichkeit werden entweder innerhalb der Entwicklung erfasst oder zeigen sich durch Vergleich mit dem ursprünglichen Zustand. Diese können nun analog bewertet werden. Der Rest der Analyse erfolgt wie beschrieben.

6.6 Zusammenfassende Darstellung des Ansatzes

Die Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA) stellt einen Ansatz zur Unterstützung der Entscheidung über geeignete Lösungsmöglichkeiten für technische Produktänderungen, vornehmlich im Bereich des korrigierenden Ändern, dar. Dazu lehnt sich der Ansatz, hinsichtlich Vorgehen und Aufbau, der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse sowie der Analyse Potentieller Probleme an. Die Strukturierung und Dokumentation von

PD/CIRA erfolgt formblattbasiert. Zur Bestimmung der Lösungsmöglichkeiten und der Analyse deren Auswirkungen verwendet PD/CIRA den in Kapitel 5.2 der Arbeit erweiterten CPM/PDD-Ansatz sowie die auf dessen Matrix-Notation aufbauende CIA-Matrix. Graphisch ist PD/CIRA in Abbildung 6.29 zusammengefasst.

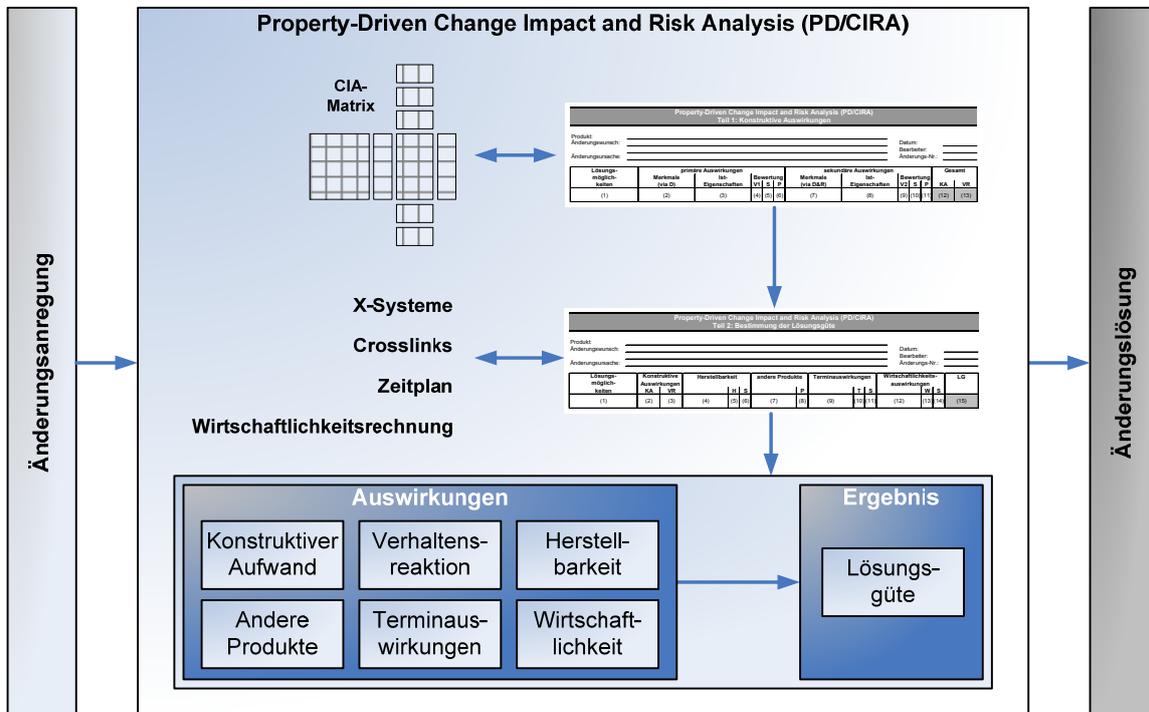


Abbildung 6.29: Graphische Zusammenfassung von PD/CIRA

7 Evaluierung

In diesem Kapitel werden die Darstellungsart des Matrix-CPM und der Ansatz zur Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen PD/CIRA anhand von Beispielszenarien evaluiert.

7.1 Evaluierung von Matrix-CPM

Zur Evaluierung der Matrix-Darstellung des CPM/PDD-Ansatzes wird zunächst ein Produkt konstruiert und dies dann in der konventionellen CPM-Darstellung sowie in Matrix-CPM/PDD nachgebildet. Im Anschluss werden die beiden Darstellungsarten einander gegenübergestellt. Im erweiterten Sinne stellt diese Evaluierung auch einen Praxistest des CPM/PDD-Ansatzes dar.

7.1.1 Produkt

Bei dem Produkt, welches als CPM-Modell nachmodelliert werden soll, handelt es sich um eine einfache Seilrollenkonsole. Diese besteht, wie in Abbildung 7.1 dargestellt, aus einer Seilrolle, einer Passfeder, einer Welle, zwei Wälzlager, zwei Sicherungsringen, einer Grundplatte mit Lagergehäusen, zwei Lagerdeckeln, vier Schrauben und vier Unterlegscheiben.

Die Konstruktion an sich wurde geometrisch so einfach wie möglich gehalten. Dies ist darin begründet, dass die Anzahl an Merkmalen für diese Arbeit handhabbar bleiben soll. Nichtsdestotrotz sind im folgenden Vergleich der beiden Darstellungsarten 84 Merkmale berücksichtigt worden. Diesen stehen im vorliegenden Fall exemplarisch die fünf Eigenschaften „Auslastungsgrad der Welle“, „Lebensdauer der Lager“, „Drehzahl“, „Zerstörungsfreie Demontierbarkeit“ und „Deckenlast“ gegenüber. Die 84 Merkmale sind mit 96 inneren Abhängigkeiten untereinander verbunden. Sicherlich ist es im Bereich des Möglichen, noch weitere Merkmale, Eigenschaften und innere Abhängigkeiten zu definieren beziehungsweise zu identifizieren und in das Modell zu integrieren. Für den angestrebten Vergleich wird die vorhandene Elementanzahl jedoch als ausreichend erachtet.

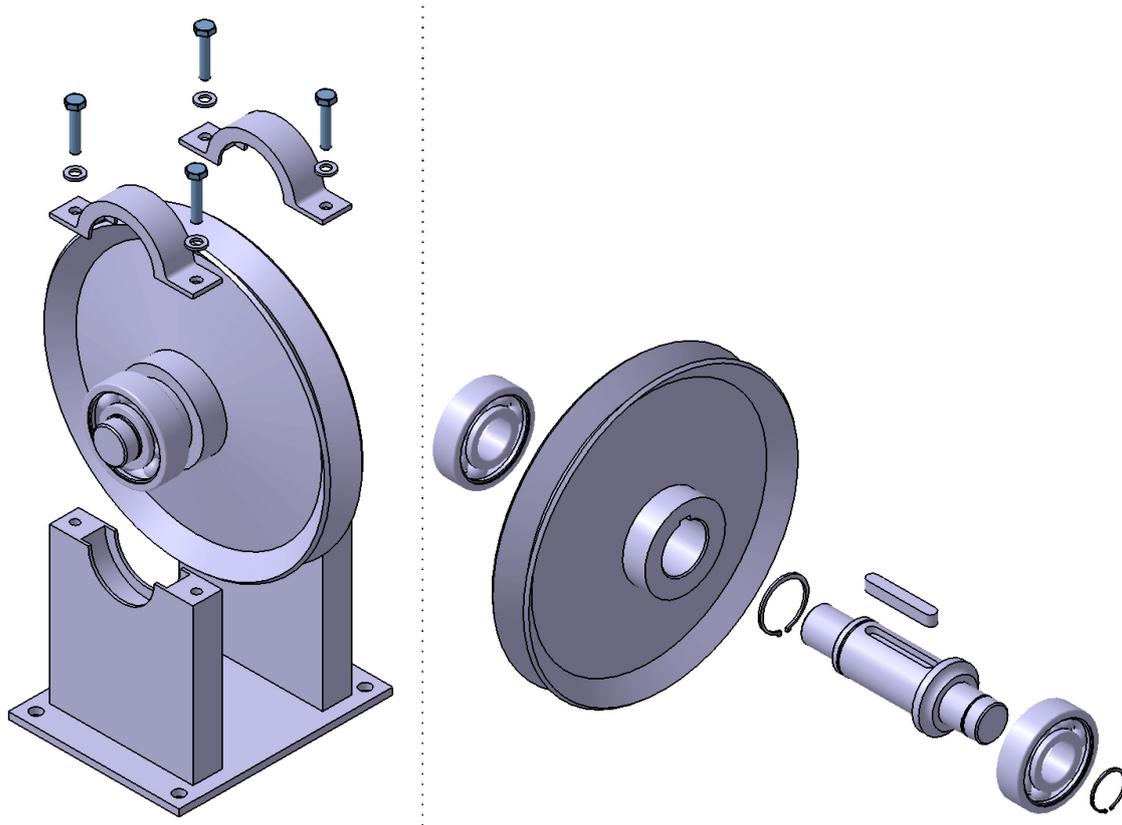


Abbildung 7.1: Explosionszeichnung der Seilrollenkonsole und der Wellenbaugruppe

7.1.2 Herkömmliche CPM-Darstellung

In Abbildung 7.2 ist die Seilrollenkonsole mittels der herkömmlichen Darstellung des CPM modelliert, wobei auf die Darstellung der externen Bedingungen verzichtet worden ist. Die Abbildung soll lediglich ein Gefühl für die Größe und somit die Übersichtlichkeit des CPM-Modells vermitteln.⁴⁸ Auf den ersten Blick ist bereits zu sehen, dass trotz der überschaubaren Produktgröße und Teileanzahl, ein recht kompliziertes und unübersichtliches Netzwerk aus Merkmalen, Relationen und Eigenschaften entstanden ist. Es ist somit naheliegend, dass Produkte mit mehr Bauteilen noch unübersichtlichere CPM-Modelle nach sich ziehen.

⁴⁸ Eine größer dargestellte Version des Produktmodells findet sich im Anhang auf Seite 211 ff. der Arbeit.

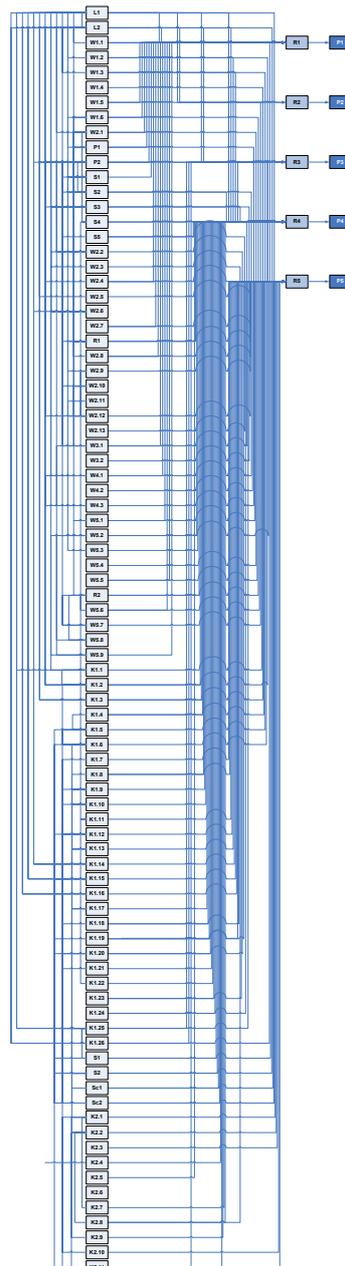


Abbildung 7.2: Produktmodell der Seilrolle in herkömmlicher CPM-Darstellung

7.1.3 Matrix-CPM Darstellung

Das Produktmodell auf Basis von Matrix-CPM ist in Abbildung 7.3 dargestellt. Auch hier soll die Abbildung nur ein Gefühl für die Größe und Übersichtlichkeit des Modells vermitteln.⁴⁹ Aufgrund der 84 Merkmale und 5 Ist-Eigenschaften haben die Matrizen die folgende Größe:

⁴⁹ Eine größer dargestellte Version des Produktmodells findet sich im Anhang auf Seite 217 ff. der Arbeit.

- C/R-Matrix: 84 Zeilen und 5 Spalten
- D-Matrix: je 84 Zeilen und Spalten

Die Anzahl an Einträgen ist in beiden Matrizen jedoch prozentual recht gering. So ist die D-Matrix nur zu knapp 3% und die C/R-Matrix zu etwa 27% gefüllt. Insbesondere im Bereich der D-Matrix könnte durch Herausfiltern der leeren Spalten zusätzlich Übersichtlichkeit geschaffen werden. Insgesamt wirkt die Matrix-Darstellung aufgeräumter, übersichtlicher und strukturierter, was die, in Kapitel 5.3 getroffenen, Annahmen bestätigt.

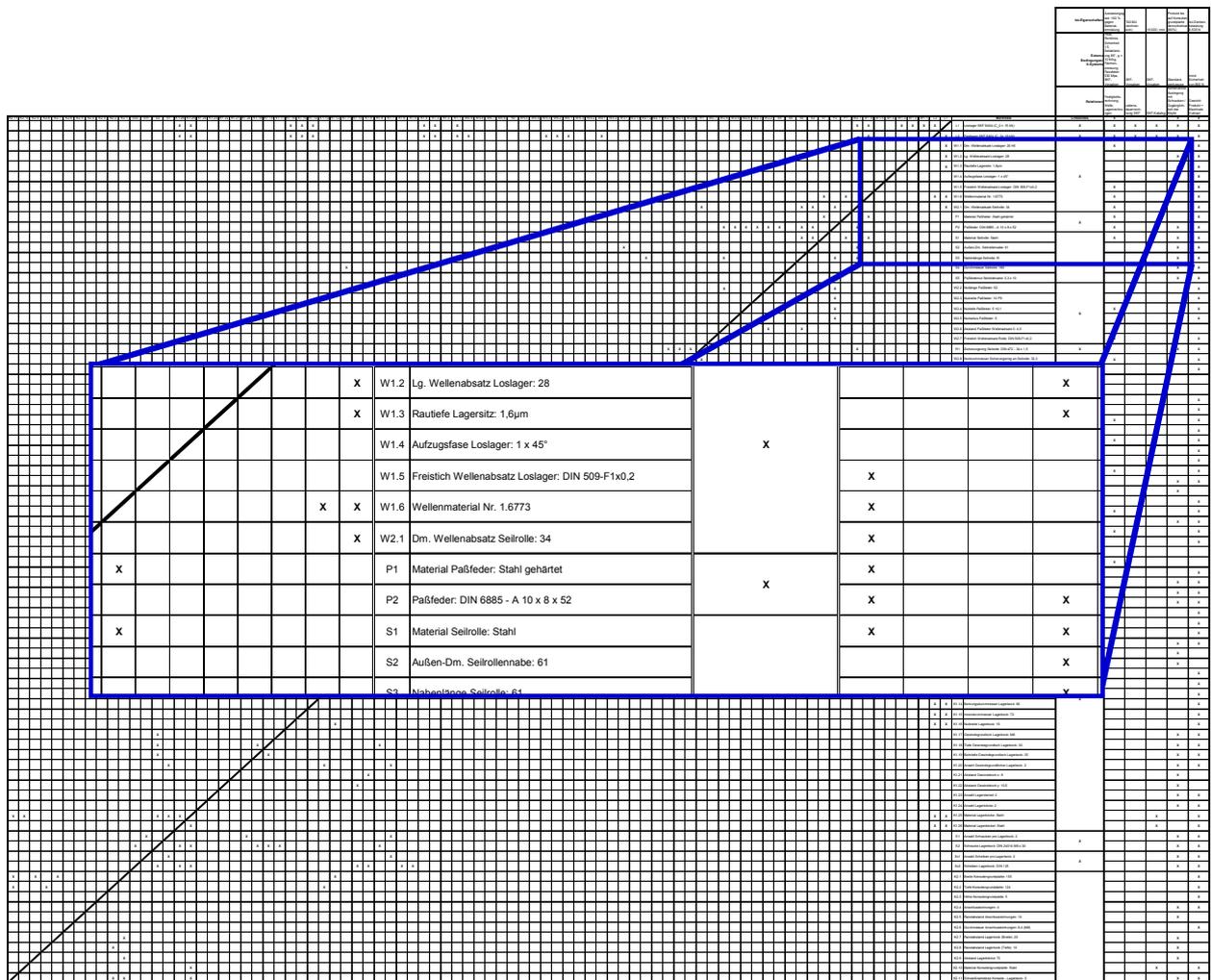


Abbildung 7.3: Produktmodell der Seilrolle in Matrix-CPM Darstellung

7.1.4 Vergleich und Evaluierung

Die beiden Darstellungsarten werden hinsichtlich der Punkte Modellerstellung und Modellanalyse miteinander verglichen und evaluiert. Parallel zu dieser Arbeit sind die beiden Ansätze in einer vom Autor betreuten Studienarbeit [Rebs08] miteinander verglichen worden. Die dort erarbeiteten Ergebnisse stimmen mit den Beobachtungen des Autors überein.

Modellerstellung

Der empfundene Aufwand bei der Modellerstellung ist im Bereich der herkömmlichen Darstellung geringer, weil die Erstellung intuitiver abläuft. Außerdem sind, aufgrund der Verbindung der Elemente durch Kanten, Erstellungsfehler leichter zu korrigieren und Elemente leichter einzupflegen. Bei der Excel-Vorlage für Matrix-CPM kann zwar prinzipiell die Softwarefunktionalität „Einfügen von Zellen/Spalten“ genutzt werden, um innerhalb des Modells Anpassungen vorzunehmen, jedoch muss hierbei stets die richtige Position gesucht werden. Dies ist mit einem nicht zu vernachlässigenden Zeitaufwand verbunden. Weiterhin ist es bei der Erstellung der D-Matrix, aufgrund ihrer schnell anwachsenden Größe während der Erstellung, schwierig den Überblick zu behalten und somit ein fehlerfreies Erstellen des Modells zu garantieren.

Modellanalyse

Bei der Analyse des Produktmodells (z.B. Identifikation von Eigenschafts-/Merkmalszusammenhängen) erweist sich die Matrix-Darstellung als übersichtlicher und somit besser handhabbar. In Matrix-CPM können Zusammenhänge auf einen Blick erkannt werden, was zu einer schnelleren und weniger fehleranfälligen Analyse (z.B. Vergessen/Übersehen eines Einflusses) führt. Am Beispiel der ersten Ist-Eigenschaft ist dies in Abbildung 7.4 dargestellt. In der herkömmlichen Darstellung kommen im vorliegenden Produktmodell der Seilrollenkonzole aufgrund des beschränkten Darstellungsplatzes sehr viele Kanten übereinander oder knapp nebeneinander zu liegen. Deshalb erweist sich in der herkömmlichen Darstellung die Durchführung der Modellanalyse als unübersichtlich und zeitintensiv. Im CPM/PDD-Visualisierungsprototyp von Deubel [Deub07] ist zwar die Möglichkeit integriert, Produktmodelle nach den vorhandenen Einflüssen (Merkmal auf Eigenschaft, Eigenschaft auf Merk-

mal) zu filtern. Diese Funktionalität ist jedoch auf eine Richtung beschränkt und erlaubt somit keine Analyse der sekundären Auswirkungen, wie sie in PD/CIRA benötigt wird. Ferner sind in dem genannten Visualisierungsprototyp die inneren Abhängigkeiten nicht berücksichtigt.

	Ist-Eigenschaften	Auslastung mit 100 % gegen Materialermüdung	740 MU (rechnerisch)	15.000 / min	Produkt bis auf Konsolidierung demonstrierbar (80%)	Ist-Deckenbelastung 8.530 N
	PRM-Rechner: Sicherheit 1,2 Externe Bedingungsangabe X-Systeme	10 N/mg Flächenbelastung Flaschener 530 Mpa, SKF Vorgaben	SKF-Vorgaben	SKF-Angaben	Standardwerkzeuge	mind. Sicherheit von 800 N
	Relationsmatrix	Fragebogenrechnung, Weile, Lagerrechnungen	Lebensdauerrechnung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugänglichkeits der Kopfe	Gewicht Produkt + Maximale Hublast
Merkmale	Crosslinks	X	X	X	X	X
L1 Loslager SKF 6404 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X
L2 Festlager SKF 6404 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X
W1.1 Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 mm		X				X
W1.2 Lg. Wellenabsatz Loslager: 28					X	X
W1.3 Bauteile Lageritz: 1,6µm					X	X
W1.4 Aufzugsfase Loslager: 1 x 45°	X					X
W1.5 Freisch Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2		X				X
W1.6 Wellenmaterial Nr. 1.8773		X				X
W2.1 Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 34		X				X
P1 Material Paßfeder: Stahl gehärtet	X	X				X
P2 Paßfeder: DIN 8885 - A 10 x 8 x 52		X			X	X
S1 Material Seilrolle: Stahl		X			X	X
S2 Außen-Dm. Seilrollennabe: 61					X	X
S3 Nabdänge Seilrolle: 61					X	X
S4 Durchmesser Seilrolle: 180					X	X
S5 Paßfedermut Seilrollennabe: 3,3 x 10					X	X
W2.2 Nutlänge Paßfeder: 52						X
W2.3 Nutbreite Paßfeder: 10 P8						X
W2.4 Nuttiefe Paßfeder: 5 +0,1	X					X
W2.5 Nutradius Paßfeder: 5						X
W2.6 Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5						X
W2.7 Freisch Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2		X				X
R1 Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X				X	X
W2.8 Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X				X
W2.9 Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6						X
W2.10 Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 1: 4,4						X
W2.11 Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61						X
W2.12 Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67						X
W2.13 Aufzugsfase Seilrolle: 1 x 45°						X
W3.1 Durchmesser Wellenabsatz 3: 39		X				X
W3.2 Länge Wellenabsatz 3: 5						X
W4.1 Dm. Wellenabsatz 4: 34	X					X
W4.2 Länge Wellenabsatz 4: 5						X
W4.3 Radius Wellenabsatz 4: 2,5						X

Abbildung 7.4: Beispiel für eine Modellanalyse in Matrix-CPM

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die herkömmliche Darstellungsweise des CPM/PDD-Ansatzes Vorteile im Bereich der Modellerstellung besitzt. Dies ist auf die intuitivere Modellierung und die einfachere Modellanpassung zurückzuführen. Im Bereich der Modellanalyse ist die Matrix-Darstellung des Ansatzes jedoch im Vorteil, da sich mit ihr die vorhandenen Zusammenhänge innerhalb eines Produktmodells schneller und vermutlich auch mit weniger Fehlern erfassen lassen. Somit stellt Matrix-CPM eine geeignete Grundlage für die Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen auf Basis des CPM/PDD-Ansatzes dar.

Zur effizienten Anwendung des Ansatzes ist eine Möglichkeit anzustreben, welche es erlaubt, Modelle in der herkömmlichen Darstellung zu erstellen und in Matrix-CPM zu überführen,

um diese dann in Matrix-CPM analysieren zu können. Dazu ist eine Übersetzung der Darstellung erforderlich, welche aber nicht mehr Bestandteil dieser Arbeit ist.

7.2 Evaluierung von PD/CIRA

Die Evaluierung von PD/CIRA erfolgt auf Basis von Gedankenexperimenten. Dazu wird zunächst eine Ausgangssituation definiert, auf welche im Anschluss Szenarien einwirken, die zu technischen Produktänderungen führen.

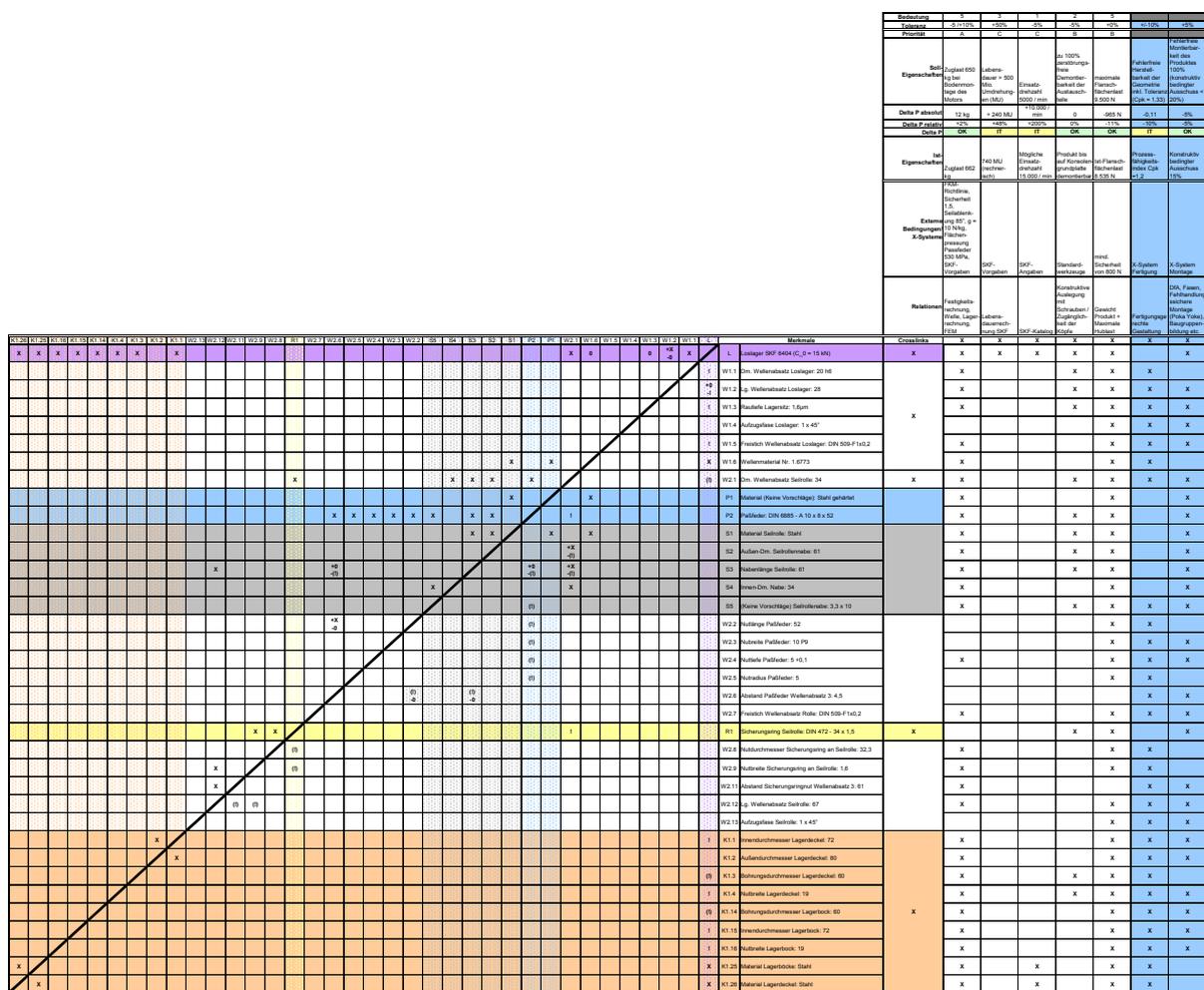


Abbildung 7.5: Matrix-CPM Produktmodell der Ausgangssituation⁵⁰

⁵⁰ Die Abbildung ist in vergrößerter Form im Anhang 9 auf Seite 221 der Arbeit dargestellt.

7.2.1 Ausgangssituation

Als Grundlage der Evaluierung von PD/CIRA wird ein Ausschnitt aus dem zur Evaluierung von Matrix-CPM verwendeten Produktmodell der Seilrollenkonzole genutzt. Dabei handelt es sich um die benachbarten Wellenabsätze für das Loslager und für die Seilrolle, zusammen mit dem Rillenkugellager, Teilen des Lagergehäuses, dem Sicherungsring der Seilrolle, der Passfeder und der Seilrollennabe. Das Produktmodell ist zusammen mit den Soll-Eigenschaften in Abbildung 7.5 dargestellt.⁵¹ Zur besseren optischen Unterscheidung und somit zur weiteren Erleichterung der Navigation innerhalb der D-Matrix sind die einzelnen Teilbereiche der Matrix farblich voneinander abgegrenzt. Wichtige Hintergründe zu den inneren Abhängigkeiten sind in Kommentaren hinterlegt (siehe Abbildung 7.6).

W2.1	W1.6	W1.5	W1.4	W1.3	W1.2	W1.1	L	Merkmale	
X	0			0	+X -0	X		L	Loslager SKF 6404 (C ₀ = 15 kN)
							!	W1.1	Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6
							+0 -!	W1.2	Lg. Wellenabsatz Loslager: 28
							!	W1.3	Rautiefe Lagersitz: 1,6µm
								W1.4	Aufzugsfase Loslager: 1 x 45°
							!	W1.5	Freistich Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2
							X	W1.6	Wellenmaterial Nr. 1.6773
							(!)	CK:	d _{a_min} aktuell 29 mm D _{a_max} : 63 mm
									Seilrolle: 34
	X								Stahl gehärtet

Abbildung 7.6: Beispiel der Kommentierung von inneren Abhängigkeiten

Auf dem Markt wird die Seilrollenkonzole mit verschiedenen Seilrollendurchmessern und Anschlussmaßen angeboten, wobei der Rest des Produktes mit Ausnahme der Welle, der Passfeder und dem unteren Teil der Konzole (unteres Lagergehäuse und Bodenplatte) in allen Varianten verwendet wird. Die zugehörige Crosslink-Matrix befindet sich in Anhang 14. Dabei variieren der Wellenabsatz zur Aufnahme der Seilrolle und die Passfeder mit der Größe der Seilrolle. Das untere Lagergehäuse passt sich in der Höhe der Größe der Seilrolle an und die Bodenplatte variiert im Bereich der Anschlussmaße und der Breite.

⁵¹ Zur Vereinfachung des Produktmodells wurde nur ein Minimum an Toleranzen berücksichtigt. Beim Aufbau des Produktmodells und der z.T. analytischen Bestimmung der Eigenschaften ist auf folgende Literatur zurückgegriffen worden: [Dubb07, FKM03, GrHS98, HoHe07, RoMa01, SKF04].

Die Priorisierung der Soll-Eigenschaften ist auf Basis des in Abbildung 7.7 dargestellten Diagramms, basierend auf der 80-20-Regel nach Pareto (vgl. [ReLH96]), vorgenommen worden. Zudem ist die Herstellbarkeit in die Bereiche Fertigung und Montage aufgespaltet.

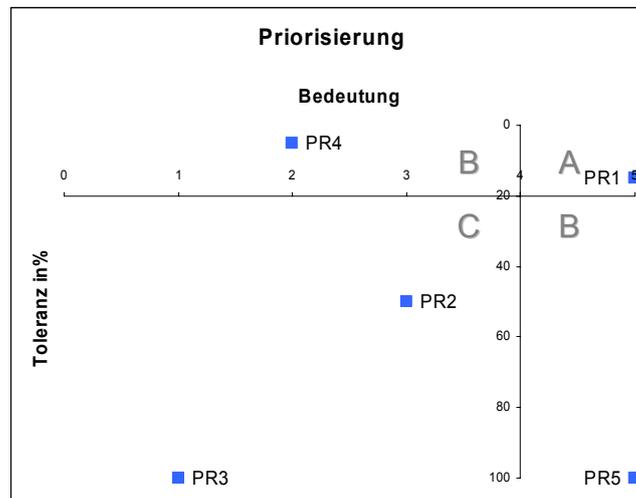


Abbildung 7.7: Priorisierung der Soll-Eigenschaften anhand der Pareto-Regel

7.2.2 Szenario 1: Geänderte Soll-Eigenschaft

Im Szenario 1 wird von der folgenden Situation ausgegangen: der Vertrieb hat Absatzprobleme mit dem beschriebenen Produkt gemeldet, welche darauf zurückzuführen sind, dass der Zielverkaufspreis des Produktes über dem der Konkurrenz liegt und gesenkt werden muss. Damit die Gewinnspanne gehalten werden kann, müssen die Ist-Kosten des Produktes gesenkt werden. Als Vorschlag zur Kostensenkung gibt der Vertrieb an, dass die vor Jahren ermittelte Anforderung, dass die Konstruktion mehr als 500 Millionen Umdrehungen aushalten soll, zu hoch gegriffen war. Eine Lebensdauer zwischen 50 und 70 Millionen Umdrehungen wird heute als ausreichend erachtet. Dadurch wird es möglich, auf kostengünstigere Lager zurückzugreifen.

Wälzlager	Einkaufspreis	Einsparung pro Wälzlager	Einsparung bei 1000 Seilrollenkonsolen
SKF 6404 *	23,50 €	./.	./.
SKF 6204 *	4,53 €	18,97 €	37.940,00 €
SKF 6306 **	16,94 €	6,56 €	13.120,00 €
SKF 6205 *	8,91 €	14,59 €	29.180,00 €

Preisquellen: * www.mercateo.de ** www.metrius.de online am 12.07.2008

Abbildung 7.8: Vergleich der Einsparpotentiale der Lösungsmöglichkeiten (basierend auf [WWW1, WWW2])

Auf Basis des Matrix-CPM-Produktmodells in Abbildung 7.5 stellt der zuständige Konstrukteur fest, dass die Lebensdauer der Konstruktion im vorliegenden Fall maßgeblich von den Rillenkugellagern bestimmt wird (Syntheseschritt). Aktuell wird der Lagertyp SKF 6404 verwendet. Als möglichen Ersatz für das Lager wählt der Konstrukteur die Lager SKF 6204 (gleicher Innendurchmesser), SKF 6306 (gleiche Außenabmessungen wie SKF 6404) und SKF 6205 (günstige statische Tragzahl) aus. Die Einkaufspreise der Lager und die entsprechenden Einsparpotentiale bei einer geplanten Stückzahl von 1000 Seilrollenkonsolen jährlich (zwei Wälzlager verbaut) sind in Abbildung 7.8 dargestellt.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 1: Konstruktive Auswirkungen												
Produkt: <u>Seilrollenkonsole</u>								Datum: <u>12.07.2008</u>				
Änderungswunsch: <u>Einbau von Wälzlager mit einer Solllebensdauer von 50 - 70 Millionen Umdrehungen (MU)</u>								Bearbeiter: <u>Köhler</u>				
Änderungsursache: <u>zu hohe Kosten</u>								Änderungs-Nr.: <u>2008_05</u>				
Lösungsmöglichkeiten	primäre Auswirkungen					sekundäre Auswirkungen					Gesamt	
	Merkmale (via D)	Ist-Eigenschaften	Bewertung V1	S	P	Merkmale (via D&R)	Ist-Eigenschaften	Bewertung V2	S	P	KA	VR
Loslager SKF 6204 (C_0 = 6,55 kN)	d_a_min: 25,6 -> 30 Dm. Wellen-absatz: 30	ertragbare Zuglast 673 kg	1	0,8	5	Innen-Dm. Nabe: 30	Ist-Flanschflächenlast 8.486 N	1	0,8	3	-3	3,7
	Innen-Dm. Lagerdeckel: 47	Lebensdauer 63,25 MU	3	0,8	1	Außen-Dm. Seilrolle: 54						
	Bohrungs-Dm. Lagerdeckel: 40		Grenzdrehzahl 20.000 / min	-3	0,9	1						
	Nutbreite Lagerdeckel: 14	Ist-Flanschflächenlast 8.642 N										
	Bohrungs-Dm. Lagerbock: 40		Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 54	-1	0,8	3						
	Innen-Dm. Lagerbock: 47	Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 54										
Nutbreite Lagerbock: 14												
Loslager SKF 6306 (C_0 = 16 kN)	Dm. Wellenabsatz Loslager: 30 h6	ertragbare Zuglast 2050 kg	-5	0,8	5	Wellenmaterial Nr. 1.4000	ertragbare Zuglast 1100 kg	1	0,8	5	-1	-19,1
	Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 38	Lebensdauer 636 MU	-5	0,8	1	Innen-Dm. Nabe: 38						
		Grenzdrehzahl 13.000 / min	1	0,9	1							
Loslager SKF 6205 (C_0 = 7,8 kN)	Dm. Wellenabsatz Loslager: 25 h6	ertragbare Zuglast 1250 kg	-3	0,8	5	Wellenmaterial Nr. 1.4000	ertragbare Zuglast 700 kg	5	0,8	5	-3	4,7
	Innendurchmesser Lagerdeckel: 52	Lebensdauer 83 MU	-3	0,8	1	Außendurchmesser Lagerdeckel: 60	Ist-Flanschflächenlast 8.558 N	1	0,8	3		
	Innendurchmesser Lagerdeckel: 52											
	Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 45	Ist-Flanschflächenlast 8.579 N	-1	0,8	3							
	Nutbreite Lagerdeckel: 15					Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 54						
	Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 45	Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 54	-1	0,8	3							
Innendurchmesser Lagerbock: 52												
Nutbreite Lagerbock: 15												

Abbildung 7.9: PD/CIRA-Formblatt Teil 1 zum Szenario 1

Im Szenario 1 werden nun die drei Lösungsmöglichkeiten analysiert und miteinander verglichen. Das Ergebnis der Analyse ist in Abbildung 7.9 und Abbildung 7.10 dargestellt. Die

CIA-Matrizen zu den einzelnen Lösungsmöglichkeiten befinden sich in Anhang 15 bis Anhang 20.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)														
Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte														
Produkt:		Seilrollenkonzole												
Änderungswunsch:		Einbau von Wälzlager mit einer Solllebensdauer von 50 - 70 Millionen Umdrehungen (MU)								Datum:		12.07.2008		
		entspr. Soll-Eigenschaft 50 MU und einer Toleranz von 40%								Bearbeiter:		Köhler		
Änderungsursache:		zu hohe Kosten												
Lösungsmöglichkeiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte		Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeitsauswirkungen			LG
	KA	VR	H	S	Pr	T	S	W	S					
Loslager SKF 6204 (C ₀ = 6,55 kN)	-3	3,7	Verbesserung Montierbarkeit (Schrauben besser zugänglich)	3	0,7	alle Produkte betroffen, z.T. keine Auswirkungen, bei größeren Dm. jedoch erhöhter Kompensationsaufwand	-3	nur leichte Auswirkungen auf den Terminplan (Fertigungs-DLZ steigt wg. größerem Zerspanvolumen)	-1	0,7	Wälzlager ca. 19 €/Stück günstiger; somit Einsparung von 38 € pro Seilrollenkonzole; Seilrolle wird günstiger; Fertigungskosten und -durchlaufzeit steigen => Einsparungen übersteigen Kosten	3	0,5	0,6
Loslager SKF 6306 (C ₀ = 16 kN)	-1	-19,1	Bei Zerspanung Cpk = 1,33 erreicht (wg. Werkstoff)	5	0,9	alle Produkte betroffen, z.T. keine Auswirkungen, Wegfall der Durchmesser-variante für größere Lasten	3	keine	0	0,7	Wälzlager ca. 6,50 €/Stück günstiger; somit Einsparung von 13 € pro Seilrollenkonzole; Einsparungen bei Material, dadurch auch sinkende Fertigungskosten und -durchlaufzeit => Einsparungen übersteigen Kosten	3	0,5	-11,1
Loslager SKF 6205 (C ₀ = 7,8 kN)	-3	4,7	Bei Zerspanung Cpk = 1,33 erreicht (wg. Werkstoff)	5	0,9	alle Produkte betroffen, z.T. keine Auswirkungen, bei größeren Dm. jedoch erhöhter Kompensationsaufwand	-3	keine	0	0,7	Wälzlager ca. 14,50 €/Stück günstiger; somit Einsparung von 29 € pro Seilrollenkonzole; Einsparungen bei Material, dadurch auch sinkende Fertigungskosten und -durchlaufzeit => Einsparungen übersteigen Kosten deutlich	5	0,5	5,7

Abbildung 7.10: PD/CIRA-Formblatt Teil 2 zum Szenario 1

Als Ergebnis der Analyse lässt sich gemäß Abbildung 7.10 festhalten, dass die Lösungsalternative SKF 6205, auf Basis der verwendeten Kriterien, die Alternative mit der höchsten Lösungsgüte zu sein scheint. Auf den ersten Blick mag dabei verwundern, dass diese Lösungsalternative mit einer Lebensdauer der Wälzlager von etwa 83 Millionen Umdrehungen außerhalb des geforderten Intervalls von 50 bis 70 Millionen Umdrehungen liegt. Werden die sonstigen Auswirkungen der Lösungsalternative auf das Produkt außer Acht gelassen, so würde

diese Alternative nicht den Anforderungen entsprechen. Da PD/CIRA jedoch das Produkt als ganzes und außerdem auch die Auswirkungen einer Lösungsalternative auf andere Produkte, die Herstellbarkeit, Termine sowie die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt, zeigen sich positive Nebeneffekte, welche die geringe Überfüllung der Anforderung kompensieren und zu einem insgesamt positiverem Gesamtergebnis führen. Im konkreten Szenario äußert sich dies durch die positiven Effekte der sekundären Auswirkungen. Dadurch, dass die veränderte Geometrie der Welle zu einer höheren, ertragbaren Zugbelastung führt, kann ein kostengünstigerer Werkstoff gewählt werden. Durch die geschickte Wahl eines Werkstoffs, der auch eine bessere Zerspanbarkeit aufweist, überlagern sich mehrere, positivere Auswirkungen:

- Die Belastbarkeit der Welle liegt vergleichsweise optimal an der oberen Toleranzgrenze des angestrebten Toleranzintervalls.
- Die Welle ist kostengünstiger, in kürzerer Zeit und in besserer Qualität herzustellen.
- Es werden Kosten beim Zukauf der Wälzlager und beim Wellenrohmaterial gespart.

Aufgrund dieser umfassenderen Analyse erweist sich somit die Lösungsalternative SKF 6205 als diejenige mit der höchsten Lösungsgüte.

In Szenario 1 sind alle Kriterien ungewichtet in die Berechnung der Lösungsgüte eingegangen. Da hier jedoch die Kosten im Vordergrund stehen, könnte die Wirtschaftlichkeit z.B. mit dem Faktor 3 eingehen. Alternativ könnte aber auch die Betonung auf der Erfüllung des Änderungswunsches beziehungsweise auf der Erfüllung des Änderungswunsches und der Wirtschaftlichkeit liegen. Abbildung 7.11 vergleicht diese Fälle. Es ist festzustellen, dass sich dadurch deutliche Unterschiede im Ergebnis ergeben. Somit ist unbedingt darauf zu achten, dass die Gewichtung entsprechend den realen Anforderungen eingesetzt wird.

Lösungsmöglichkeit	Lösungsgüte			
	ungewichtet	Wirtschaftlichkeit (Faktor 3)	Lösungsvorgabe (Faktor 3)	Kombiniert
SKF 6204	0,6	3,6	5,4	8,4
SKF 6306	-11,1	-8,1	-19,1	-16,1
SKF 6205	5,7	10,7	0,9	5,9

Abbildung 7.11: Vergleich der Lösungsgüte der Lösungsmöglichkeiten mit verschiedenen Gewichtungen

Das Szenario 1 zeigt, dass PD/CIRA in der Lage ist, Lösungsmöglichkeiten für durch geänderte Soll-Eigenschaften⁵² eines Produktes verursachte technische Produktänderungen zu analysieren und zu vergleichen. Weiterhin zeigt das Szenario den Einfluss von Gewichtungsfaktoren auf das Analyseergebnis.

7.2.3 Szenario 2: Geändertes Merkmal

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 1: Konstruktive Auswirkungen												
Produkt: <u>Seilrollenkonsolle</u>							Datum: <u>12.07.2008</u>					
Änderungswunsch: <u>Ersatz des bisherigen Wälzlagers</u>							Bearbeiter: <u>Köhler</u>					
Änderungsursache: <u>Wälzlager nicht mehr erhältlich</u>							Änderungs-Nr.: <u>2008_06</u>					
Lösungsmöglichkeiten	primäre Auswirkungen			Bewertung			sekundäre Auswirkungen			Gesamt		
	Merkmale (via D)	Ist-Eigenschaften	V1	S	P	Merkmale (via D&R)	Ist-Eigenschaften	V2	S	P	KA	VR
Loslager SKF 6204 (C_0 = 6,55 kN)	d_a_min: 25,6 -> 30	ertragbare Zuglast 673 kg	1	0,8	5	Verworfen, da Mindestanforderung unterschritten wurde.						
	Innen-Dm. Lagerdeckel: 47	Lebensdauer 63,25 MU	-5	0,8	1							
	Bohrungs-Dm. Lagerdeckel: 40											
	Nutbreite Lagerdeckel: 14	Grenzdrehzahl 20.000 / min	-3	0,9	1							
	Bohrungs-Dm. Lagerbock: 40											
	Innen-Dm. Lagerbock: 47	Ist-Flanschflächenlast 8.642 N	-1	0,8	3							
Loslager SKF 6306 (C_0 = 16 kN)	Dm. Wellenabsatz Loslager: 30 h6	ertragbare Zuglast 2050 kg	-5	0,8	5	Wellenmaterial Nr. 1.4000	ertragbare Zuglast 1100 kg	1	0,8	5	-1	-12,7
		Lebensdauer 636 MU	3	0,8	1							
	Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 38	Grenzdrehzahl 13.000 / min	1	0,9	1	Innen-Dm. Nabe: 38						
Loslager SKF 6205 (C_0 = 7,9 kN)	Dm. Wellenabsatz Loslager: 25 h6	ertragbare Zuglast 1250 kg	-3	0,8	5	Verworfen, da Mindestanforderung unterschritten wurde.						
	Innendurchmesser Lagerdeckel: 52	Lebensdauer 83 MU	-5	0,8	1							
	Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 45											
	Nutbreite Lagerdeckel: 15	Grenzdrehzahl 18.000 / min	-1	0,9	1							
	Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 45											
	Innendurchmesser Lagerbock: 52	Ist-Flanschflächenlast 8.579 N	-1	0,8	3							
Nutbreite Lagerbock: 15												

Abbildung 7.12: PD/CIRA-Formblatt Teil 1 zum Szenario 2

Das Szenario 2 beschreibt den Fall, dass die im Produkt verwendeten Wälzlager nicht mehr erhältlich sind. Dies zwingt die Konstruktion dazu, andere Lager zu wählen. Mittels PD/CIRA

⁵² Das Vorgehen bei geänderten externen Bedingungen ist analog.

wird in diesem Fall nach dem Wälzlager gesucht, welches die geringsten Änderungsauswirkungen besitzt. Als Lösungsmöglichkeiten werden die drei Wälzlager aus Szenario 1 gewählt, wobei die Soll-Eigenschaften der Ausgangssituation unverändert bestehen bleiben. Es ergeben sich somit Unterschiede in der Bewertung.

Das Ergebnis von PD/CIRA ist in Abbildung 7.12 und Abbildung 7.13 dargestellt; die CIA-Matrizen befinden sich wiederum in Anhang 21 bis Anhang 26. Während der Durchführung von PD/CIRA zeigt sich, dass die erste und dritte Lösungsmöglichkeit die Mindestanforderung „Lebensdauer der Lager > 500 Millionen Umdrehungen“ unterschreiten. Somit werden in diesem Fall diese beiden Lösungsmöglichkeiten verworfen. Die übrig bleibende Lösungsmöglichkeit erfüllt zwar die Mindestanforderung, besitzt aber eine insgesamt negative Lösungsgüte. Somit erscheint diese Lösungsmöglichkeit auf Basis der Analyse mit PD/CIRA ebenfalls als nicht geeignet.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)															
Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte															
Produkt:		<u>Seilrollenkonzole</u>										Datum:		<u>12.07.2008</u>	
Änderungswunsch:		<u>Ersatz des bisherigen Wälzlagers</u>										Bearbeiter:		<u>Köhler</u>	
Änderungsursache:		<u>Wälzlager nicht mehr erhältlich</u>										Änderungs-Nr.:		<u>2008_06</u>	
Lösungsmöglichkeiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte		Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeitsauswirkungen			LG	
	KA	VR		H	S		Pr		T	S		W	S		
Loslager SKF 6204 (C ₀ = 6,55 kN)	0	0													
Loslager SKF 6306 (C ₀ = 16 kN)	-1	-12,7	Bei Zerspanung C _{pk} = 1,33 erreicht (wg. Werkstoff)	5	0,9	alle Produkte betroffen, z.T. keine Auswirkungen, Wegfall der Durchmesservariante für größere Lasten	3	keine	0	0,7	Wälzlager ca. 6,50 €/Stück günstiger; somit Einsparung von 13 € pro Seilrollenkonzole; Einsparungen bei Material, dadurch auch sinkende Fertigungskosten und -durchlaufzeit => Einsparungen übersteigen Kosten	3	0,5	-4,7	
Loslager SKF 6205 (C ₀ = 7,8 kN)	0	0													

Abbildung 7.13: PD/CIRA-Formblatt Teil 2 zum Szenario 2

Dieses Szenario zeigt, dass PD/CIRA in der Lage ist, Lösungsmöglichkeiten auf Basis von geänderten Merkmalen zu analysieren und zu vergleichen. Darüber hinaus stellt sich dar, dass die Analyse auch zu einem insgesamt negativen Ergebnis führen kann, was bedeutet, dass nach neuen Lösungsmöglichkeiten gesucht werden muss, mit denen die Analyse dann wie-

derholt werden kann. Beispielsweise könnten Lager mit höheren Tragzahlen oder ein anderer Lagertyp⁵³ gewählt werden.

7.2.4 Szenario 3: Hinzugefügtes Merkmal

In Szenario 3 wird, unter der Voraussetzung, dass das Hinzufügen bestimmter Merkmale noch zum korrigierenden Ändern gezählt werden kann, der Fall einer Verbesserung der Montierbarkeit betrachtet. Damit sich die Wälzlager besser mit den Lagergehäusen fügen lassen, sollen die Lagerdeckel und die Lagergehäuse an der Konsole Fasen erhalten. In diesem Fall wird PD/CIRA dazu verwendet, die Auswirkungen dieses neuen Merkmals zu überprüfen. Die Voraussetzungen der Ausgangssituation bleiben bestehen. Als einzige primäre Auswirkung ergibt sich, aufgrund der Reduzierung des Gesamtgewichts, eine minimal reduzierte Flanschflächenlast. Sekundäre Auswirkungen ergeben sich wegen der vernachlässigbaren primären Auswirkungen nicht. Die CIA-Matrix des Szenarios ist in Anhang 27 und Anhang 28 dargestellt.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 1: Konstruktive Auswirkungen												
Produkt:		<u>Seilrollenkonsole</u>						Datum:			<u>13.07.2008</u>	
Änderungswunsch:		<u>Hinzufügen einer Fase an Lagerdeckel und Lagerbock</u>						Bearbeiter:			<u>Köhler</u>	
Änderungsursache:		<u>Montage schwierig</u>						Änderungs-Nr.:			<u>2008_07</u>	
Lösungsmöglichkeiten	Merkmale (via D)	primäre Auswirkungen Ist-Eigenschaften			Bewertung			sekundäre Auswirkungen Ist-Eigenschaften			Gesamt	
					V1	S	P				KA	VR
Fase Lagerdeckel / Lagerbock: 1 x 45°	keine	Ist-Flanschflächenlast 8.535 N	0	0,8	3	keine	keine				0	0

Abbildung 7.14: PD/CIRA-Formblatt Teil 1 zum Szenario 3

Die Ergebnisse in Abbildung 7.14 und Abbildung 7.15 zeigen, dass der Änderungswunsch eine positive Lösungsgüte besitzt und ihm somit durchaus entsprochen werden kann. Auch wenn es sich hier um eine einfache Ergänzung eines Merkmals handelt, zeigt das Beispiel jedoch, dass PD/CIRA auch die Auswirkungen und Risiken hinzukommender Merkmale analysieren und beurteilen kann.

⁵³ Der Wechsel des Lagertyps kann prinzipiell zum generierenden Ändern führen.

Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA)												
Teil 2: Bestimmung der Lösungsgüte												
Produkt:		<u>Seilrollenkonsole</u>										
Änderungswunsch:		<u>Hinzufügen einer Fase an Lagerdeckel und Lagerbock</u>										
Änderungsursache:		<u>Montage schwierig</u>										
Datum:		<u>13.07.2008</u>										
Bearbeiter:		<u>Köhler</u>										
Änderungs-Nr.:		<u>2008_07</u>										

Lösungsmöglichkeiten	Konstruktive Auswirkungen		Herstellbarkeit			andere Produkte		Terminauswirkungen			Wirtschaftlichkeitsauswirkungen			LG
	KA	VR		H	S		Pr		T	S		W	S	
Fase Lagerdeckel / Lagerbock: 1 x 45°	0	0	Montage wird erleichtert, weniger Beschädigungen	1	0,9	positive Auswirkungen auf andere Produkte	1	keine	0	0,7	erhöhte Fertigungskosten werden durch Reduktion des Montageausschusses kompensiert	0	0,5	1,9

Abbildung 7.15: PD/CIRA-Formblatt Teil 2 zum Szenario 3

7.2.5 Evaluierung der Methodik

Insgesamt zeigt sich, dass die Property-Driven Change Impact and Risk Analysis als Werkzeug in der Lage ist, Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen zu analysieren und zu vergleichen. Dabei können sowohl Lösungsmöglichkeiten durch Änderungen an Soll-Eigenschaften, Merkmalsänderungen als auch hinzukommende Merkmale betrachtet werden. Die CIA-Matrix zeigt sich in diesem Zusammenhang als geeignetes und übersichtliches Mittel, die Auswirkungen innerhalb des Produktmodells zu analysieren und hinsichtlich des geänderten Verhaltens zu bewerten. Das verwendete Bewertungsschema zeigt sich in den dargestellten Szenarien als geeignet, „trennscharfe“ Lösungsgüten zu bestimmen. In der ungewichteten Bestimmung der Lösungsgüten dominiert sicherlich der erste Teil von PD/CIRA. Dies ist jedoch gewollt, da die Verhaltensänderung für den Kunden die größte Bedeutung besitzt. Ferner vermittelt die CIA-Matrix ein Gefühl für den konstruktiven Aufwand einer technischen Produktänderung. Die verwendeten Bewertungskriterien erscheinen als geeignet, eine umfassende vergleichende Bewertung der Lösungsmöglichkeiten vorzunehmen. Insbesondere das Szenario 2 zeigt, dass die Analyse der Auswirkungen einer gewissen Aufmerksamkeit bedarf, da sonst die Unterschreitung von Mindestforderungen durchaus möglich ist.

In den Szenarien wurde nur ein Ausschnitt eines einfachen Produktes betrachtet. Die Größe der erforderlichen CIA-Matrix zeigt jedoch bereits, dass das angestrebte Ziel, PD/CIRA ohne zusätzliche Computerunterstützung anwendbar zu machen für komplexere Produkte wohl nicht erreicht werden kann.

7.3 Überprüfung der Hypothese

In Kapitel 4.7 wurde die folgende Hypothese formuliert:

Der CPM/PDD-Ansatz kann mit entsprechenden konzeptionellen und methodischen Erweiterungen eine geeignete Grundlage für die Analyse der Änderungsauswirkungen auf Produkte, inklusive deren Herstellbarkeit und der Änderungsauswirkungen auf andere Produkte darstellen. Darauf aufbauend ist es möglich, Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen, hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Produkte, Prozesse und Ressourcen, Wirtschaftlichkeit und die Zeit, in Relation zu setzen und den Entscheidungsprozess zu unterstützen.

Die am CPM/PDD-Ansatz durchgeführten konzeptionellen Erweiterungen

- Matrix-Darstellung,
- erweitertes Sichtenmodell und
- Crosslinks

haben die Grundlage gelegt, um mittels der darauf aufbauenden CIA-Matrix die Auswirkungen von Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen innerhalb des Produktes und auf andere Produkte zu analysieren. Darüber hinaus kann eine Aussage über die Veränderung der Herstellbarkeit des Produktes getroffen werden. Der Analyseansatz PD/CIRA baut darauf auf, um die Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Produkte, Prozesse und Ressourcen, die Zeit und die Wirtschaftlichkeit zu beurteilen.

Die anhand von Beispielszenarien durchgeführten Tests haben gezeigt, dass PD/CIRA und somit der konzeptionell und methodisch erweiterte CPM/PDD-Ansatz dazu in der Lage ist, die Auswirkungen technischer Produktänderungen zu analysieren. Somit kann an dieser Stelle die Hypothese als bestätigt angesehen werden.

7.4 Beobachtungen und Folgerungen

In diesem Kapitel werden Beobachtungen aus der Anwendung des CPM/PDD-Ansatzes und des in dieser Arbeit entwickelten PD/CIRA-Ansatzes dargestellt, welche über die reine Evalu-

ierung der Funktionalität hinausgehen. Aufbauend daraus werden Folgerungen für die weitere Arbeit mit den Ansätzen gezogen.

7.4.1 Beobachtungen bei der Anwendung des CPM/PDD-Ansatzes und Folgerungen

Bei der Anwendung des CPM/PDD-Ansatzes im Rahmen dieser Arbeit sind folgende Beobachtungen gemacht worden:

Innere Abhängigkeiten / Dependencies

Die inneren Abhängigkeiten stellen zum Zeitpunkt dieser Arbeit einen noch weitgehend unerforschten Bestandteil des CPM/PDD-Ansatzes dar. Aus diesem Grund existieren für die inneren Abhängigkeiten auch keinerlei Empfehlungen, wie mit ihnen umgegangen werden soll. Dies mag daran liegen, dass die inneren Abhängigkeiten nicht eindeutig darzustellen sind. Als Ausgangspunkt der Festlegung der inneren Eigenschaften muss stets ein Bezugsmerkmal dienen. Je nach gewähltem Bezugsmerkmal kann sich die Darstellung der inneren Abhängigkeiten unterscheiden. Wäre in den Evaluierungsszenarien nicht das Wälzlager sondern der Durchmesser des ersten Wellenabsatzes als Bezugsmerkmal ausgewählt worden, so hätten sich einige innere Abhängigkeiten anders dargestellt. Dies kann insbesondere beim Nachmodellieren von Produktmodellen ein Problem darstellen, da die eigentliche Historie der Entwicklung nicht berücksichtigt sein kann (für die Bestimmung der Änderungsfortpflanzung muss dies aber nicht unbedingt ins Gewicht fallen). Die Nachmodellierbarkeit eines Produktes wird ebenfalls dadurch eingeschränkt, dass die inneren Abhängigkeiten nicht immer explizit bekannt sind. Zudem können innere Abhängigkeiten unterschiedliche Ausprägungen besitzen. Das Spektrum der Ausprägungen reicht dabei von einfachen Abhängigkeiten, wie z.B. $d_1 = d_2$, über logische Abhängigkeiten, wie z.B. „wenn A dann B und nicht C“, bis hin zu komplexen Wissens- und Erfahrungszusammenhängen, wie z.B. „der Radius muss in diesem Spezialfall 9,4 mm statt 9,6 mm haben, da sonst...“.

Innerhalb von PD/CIRA wird anhand der inneren Abhängigkeiten die Änderungsfortpflanzung innerhalb eines Produktes (also zwischen Merkmalen, Bauteilen, Baugruppen etc.) abgebildet. Dies hat für den Ansatz zur Konsequenz, dass die Genauigkeit des Ergebnisses von

der Genauigkeit der Abbildung der inneren Abhängigkeiten abhängt. Da jedoch PD/CIRA auf einen Vergleich verschiedener Lösungsmöglichkeiten abzielt, deren geeignetste später im Prozess noch konstruktiv detailliert ausgearbeitet werden muss, kann eine gewisse Ungenauigkeit oder ein gewisses Restrisiko im Ergebnis akzeptiert werden. Dabei ist anzumerken, dass sich die einfachen und logischen Abhängigkeiten recht gut und genau abbilden lassen, die Unschärfe kommt somit im Bereich der komplexen wissens- und erfahrungsbasierten Zusammenhänge ins Spiel. Kann jedoch auf dieses Wissen / diese Erfahrung für die Analyse zurückgegriffen werden, lässt sich ein sehr genaues Bild der späteren Auswirkungen bereits beim Vergleich der Lösungsmöglichkeiten zeichnen.

Für die weitere Arbeit am CPM/PDD-Ansatz besteht im Bereich der inneren Abhängigkeiten sicherlich Potential, dessen Erschließung sich auch positiv auf andere Arbeiten im Zusammenhang mit CPM/PDD auswirken wird. Einen geeigneten Ansatzpunkt für weitere Aktivitäten diesbezüglich könnte eine Analogiebetrachtung zur Design Structure Matrix bieten, da es bei dieser bereits einschlägige Erfahrungen mit der Abbildung von Produktabhängigkeiten gibt.

Merkmale / Characteristics

Wie aus den Evaluierungsbeispielen ersichtlich ist, neigen bereits vergleichsweise einfache Produkte, wie eine Seilrollenkonsole, dazu, eine recht große Anzahl an Merkmalen zu besitzen. Dies erschwert die Entwicklung, Ergänzung und Analyse von Produktmodellen. Um den Überblick über das Produktmodell zu behalten, ist eine gewisse Ordnung der Merkmale sicherlich erforderlich (siehe Kapitel 4.2). Bei den verwendeten Produktmodellen und dem Ziel von PD/CIRA hat sich eine Ordnung in Lösungsmuster, beziehungsweise in Bereiche, in denen innere Abhängigkeiten sich häufen, als günstig erwiesen. Für die D-Matrix bedeutet dies, dass die meisten inneren Abhängigkeiten sich um die, von links unten nach rechts oben verlaufende, Diagonale anordnen.

Soll-Eigenschaften / Required Properties

Im Umgang mit den Soll-Eigenschaften des CPM/PDD-Ansatzes ist zu beobachten, dass es schwer fällt, diese so zu beschreiben, dass sie mit Ist-Eigenschaften abgeglichen werden kön-

nen. Von der Intention her sollen die Soll-Eigenschaften die Anforderungen bzw. die Kundenwünsche darstellen. Nun sind in der Regel die Anforderungen an ein Produkt anders beschrieben, als die Ist-Eigenschaften es darstellen müssten. Als Beispiel kann hier das Gewicht herangezogen werden, welches mit der zur Evaluierung verwendeten Seilrolle angehoben werden können soll. Ein Kunde erwartet eine Seilrollenkonzole, mit der er XXX kg heben kann und formuliert dies auch so. Ein Konstrukteur überträgt diese Anforderung zunächst in eine Kraft und legt anhand derer die Seilrollenkonzole aus. Nun gibt es hierbei wiederum mehrere Faktoren, welche letztendlich die Erfüllung der Soll-Eigenschaft beeinflussen. So müssen beispielsweise alle Bauteile der Belastung standhalten oder die Welle darf sich nur bis zu einem gewissen Winkel durchbiegen beziehungsweise die Seilrolle darf sich nur bis zu einem gewissen Winkel schief stellen. Umgekehrt bedeutet dies, dass eine Dekomposition die Formulierung und Auswertung der Soll-Eigenschaften vereinfachen und übersichtlicher machen würde. Dies könnte beispielsweise zusätzlich in der in Kapitel 5.2.1 definierten Vertriebsicht erfolgen. Die Betrachtung des Themas Anforderungsmodellierung aus Sicht des CPM/PDD-Ansatzes könnte somit ebenfalls eine interessante Grundlage weiterer Arbeiten sein.

Externe Bedingungen /External Conditions

Die Abgrenzung zwischen externen Bedingungen und Soll-Eigenschaften gestaltet sich als schwierig. Der Großteil der Soll-Eigenschaften wird von extern vorgegeben und schränkt den Lösungsraum der Entwicklung ein. Externe Bedingungen haben bezogen auf ein Produkt eine ähnliche Bedeutung wie die Eigenschaften im Verständnis des CPM/PDD-Ansatzes. Dies zeigt folgende Aussage: „Einsatz im Temperaturbereich von -20° bis $+55^{\circ}\text{C}$ “. Ob es sich hierbei um eine externe Bedingung oder eine Soll-Eigenschaft handelt, ist nicht eindeutig zu sagen. Vielleicht könnten Eigenschaften und externe Bedingungen folgendermaßen voneinander abgegrenzt werden: Eigenschaften repräsentieren die Kriterien des Produktes, die ein Kunde nutzt, um die Qualität zu beurteilen; externe Bedingungen stellen Eigenschaften des Produktes dar, welche entweder stillschweigend vorausgesetzt werden oder sich zusätzlich während der Produktentwicklung ergeben.

7.4.2 Beobachtungen bei der Anwendung von PD/CIRA und Folgerungen

Die Beobachtungen bei der Anwendung von PD/CIRA unterteilen sich in die Elemente von PD/CIRA. So werden zunächst die Erweiterungen des CPM/PDD-Ansatzes betrachtet und dann PD/CIRA an sich.

Erweiterung des Sichtenmodells

Die Anwendung und Erweiterung des Sichtenmodells von Deubel zeigt sich prinzipiell als praktikabel. Die eigentliche von Deubel beabsichtigte Funktionalität wurde in den Szenarien jedoch nicht genutzt, weil die Betrachtung nur auf der untersten Merkmalsebene erfolgt ist. Die Vergabe von Toleranzbereichen für die Erfüllung von Soll-Eigenschaften entspricht sicherlich den Gegebenheiten bei der Entwicklung von Produkten und macht deshalb Sinn. Damit die Toleranzbereiche der einzelnen Soll-Eigenschaften für die Prioritätsbestimmung vergleichbar werden, ist in dieser Arbeit eine Umrechnung der Toleranzen in Prozente erfolgt. Dies ist zwar ein praktikabler Ansatz, allerdings stellt diese Art der Tolerierung nicht sicher, dass ein, auf einen Referenzwert bezogenes, prozentual großes Intervall auch tatsächlich leichter zu treffen ist als ein enges Intervall eines anderen Referenzwertes. Bei einer weitergehenden Betrachtung des Sichtenmodells könnte die Priorisierung und Grundlage der Tolerierung sicherlich hinterfragt werden. Es könnte in diesem Zusammenhang überprüft werden, ob eine Tolerierung auf Basis eines Zielwertes und einer akzeptablen Streubreite dieses Zielwertes für die Priorisierung günstiger wäre.

Produktübergreifende Querverbindungen / Crosslinks

Die produktübergreifenden Querverbindungen / Crosslinks haben sich in den Evaluierungsszenarien als hilfreich für die Analyse der produktübergreifenden Auswirkungen von technischen Produktänderungen gezeigt. Die theoretische Beschreibung der Crosslinks ist in dieser Arbeit sehr knapp erfolgt, weil die Crosslinks in PD/CIRA für weitaus weniger verwendet werden, als sie sicherlich dazu in der Lage sind. Dieses neue Element des CPM/PDD-Ansatzes hat Potential, Entwicklungsprojekte miteinander zu vernetzen, den Wissenstransfer zu fördern und somit die Produktentwicklung effizienter zu machen. Eine genauere Betrachtung

tung dieses Elementes stellt sicherlich eine interessante Basis für weitere Forschungsarbeiten dar.

Matrix-CPM/PDD und Computerunterstützung

Die Darstellungsart des Matrix-CPM/PDD führt, wie gezeigt, zu einer besseren Übersichtlichkeit des CPM-Produktmodells und zu einer verbesserten Durchführbarkeit bei Analysen von Produkten. Die Matrix an sich, ebenso wie die CIA-Matrix, lässt sich gut handhaben und auslesen. Problematisch wird jedoch die Größe der zu erwartenden D-Matrizen. Diese lassen sich nicht mehr gut mit dem vorgestellten Excel-Tool visualisieren. Zur Unterstützung von Matrix-CPM/PDD ist deshalb eine speziellere Software wünschenswert, welche die großflächigen Matrizen entsprechend darstellen beziehungsweise durch geschicktes Filtern verkleinern kann. Alternativ könnte auch darüber nachgedacht werden, ob nicht bereits die Aufteilung von Matrix-CPM/PDD auf mehrere Excel-Tabellen (z.B. eine für die D-Matrix, eine für die C/R-Matrix und eine für den Vergleich von Soll- und Ist-Eigenschaften) oder eine Datenbanklösung zu einer Verbesserung führen könnte.

Wie bereits beschrieben stellt die Entwicklung eines Produktmodells mit Matrix-CPM/PDD sich als sehr zeitaufwendig und übersichtlich heraus. Dies zeigt, dass der Ansatz zwar prinzipiell in der Lage ist, den PDD-Prozess zu unterstützen, jedoch die herkömmliche Form für die Entwicklung von Produkten einfacher anzuwenden ist. Somit wäre zur Unterstützung des späteren Produktmodells, wie erwähnt, ein Übersetzer der Darstellungsarten von Nutzen.

PD/CIRA

Die Property-Driven Change Impact and Risk Analysis ist an Beispielszenarien getestet worden und hat sich dabei für die Analyse der Auswirkungen von Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen als geeignet gezeigt. Das Erkennen der Fortpflanzung der Auswirkungen zwischen Merkmalen und bezogen auf das Verhalten durch die Analyse, sowie der Analyseablauf erscheinen eingängig. In den Testszenarien hat sich das PD/CIRA-Formblatt als gutes Hilfsmittel zur Steuerung und Dokumentation der Analyse dargestellt. Die Abstufung der Bewertungsskala hat sich in den Szenarien als ausreichend gezeigt. Aufgrund der Integrierbarkeit von Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsrechnung sowie Zeitabschätzungen

des Projektmanagements, der Berücksichtigung von Auswirkungen auf die Herstellbarkeit und auf andere Produkte ist es mit dem Ansatz möglich, über Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen anhand mehrerer relevanter Kriterien, welche in einer Kennzahl verdichtet werden, zu entscheiden. Die Integration der Prognosesicherheit ist als hilfreich einzustufen, weil es aufgrund des Zeitaufwands einer genauen Betrachtung, einem Konstrukteur immer möglich ist, diese durchzuführen und dieser somit häufig auf die Verwendung seines Sachverständes, also dem Abschätzen der Auswirkungen, angewiesen ist.

Die allgemeine Anwendbarkeit von PD/CIRA ist dadurch limitiert, dass die Anwendung gewisse Grundkenntnisse des CPM/PDD-Ansatzes voraussetzt. Einschränkend muss außerdem gesagt werden, dass das den Szenarien zu Grunde liegende Produktmodell recht einfacher Natur ist und somit die Ergebnisse nicht ohne weitere Prüfung auf größere, ggf. auch komplexere, Produktmodelle übertragbar sind. Bei größeren Produktmodellen ist es für eine Analyse mit dem Ziel des Vergleichs und der Auswahl einer Lösungsmöglichkeit mit einer möglichst optimalen Lösungsgüte sicherlich nicht mehr möglich, jede innere Abhängigkeit manuell auszuwerten. Somit ist hier entweder eine (teil-)automatisierte Auswertung erforderlich oder es muss, ähnlich wie in anderen Ansätzen zur Bestimmung der Fortpflanzung von technischen Produktänderungen, mit bedingten Wahrscheinlichkeiten gearbeitet werden (siehe z.B. Cambridge Change Prediction Method in Kapitel 3.3.3). Für die (Teil-)Automatisierung der Auswertung ist sicherlich wiederum ein spezielles Computerprogramm erforderlich. Die bedingten Wahrscheinlichkeiten bergen jedoch die Gefahr, dass die Fehlertoleranz größer wird, weil die zahlreichen Spezialfälle der inneren Abhängigkeiten nur noch sehr pauschalisiert betrachtet werden können. Gleichzeitig taucht hierbei die Frage auf, wer in der Lage ist bei komplexen Produkten halbwegs korrekt solche bedingten Wahrscheinlichkeiten zu bestimmen.

7.5 Ergebnisse der Arbeit

Zum Abschluss des Evaluierungskapitels sollen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst und Folgerungen abgeleitet werden. Die Ergebnisse der Arbeit gliedern sich dabei in die Bereiche CPM/PDD-Ansatz und für den Umgang mit technischen Produktänderungen.

7.5.1 Ergebnisse bezüglich des CPM/PDD-Ansatzes

Bezüglich der Verwendung des CPM/PDD-Ansatzes lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- Der CPM/PDD-Ansatz ist an einem Produktmodell auf der untersten Merkmalebene (geometrische Merkmale) getestet worden. Aufbauend auf diesem Test sind die in Kapitel 7.4.1 dargestellten Potentiale im Ansatz aufgedeckt worden, welche als Grundlage weiterer Arbeit dienen können.
- Der CPM/PDD-Ansatz ist erweitert worden. Als sinnvolle Erweiterungen haben sich die Tolerierung von Soll-Eigenschaften, die Schaffung von produktübergreifenden Querverbindungen (Crosslinks) und die Einführung einer neuen Darstellungsform (Matrix-CPM/PDD), welche insbesondere im Bereich der Analyse von Produktmodellen ein Zugewinn an Übersichtlichkeit darstellt, gezeigt.
- CPM-Produktmodelle eignen sich sehr gut, um Auswirkungen technischer Produktänderungen innerhalb eines Produktes zu analysieren. Mit den gemachten Erweiterungen können zudem Auswirkungen auf die Herstellbarkeit und andere Produkte analysiert werden. Das PDD-Prozessmodell mit seinen Analyse- und Syntheseschritten eignet sich ebenfalls sehr gut, um den Prozess der Bestimmung der Auswirkungen von technischen Produktänderungen zu beschreiben. Somit lässt sich insgesamt festhalten, dass der CPM/PDD-Ansatz eine sehr gute Grundlage für die Analyse der Auswirkungen von technischen Produktänderungen innerhalb eines Produktes und, mit den entsprechenden Erweiterungen, auch die Produktgrenze übergreifend darstellt. Somit ist eindeutig ein weiteres Anwendungsgebiet für den CPM/PDD-Ansatz gefunden.

7.5.2 Ergebnisse bezüglich des Umgangs mit technischen Produktänderungen

Hinsichtlich des Umgangs mit technischen Produktänderungen sind folgende Ergebnisse erzielt worden:

- Mit PD/CIRA ist eine Methodik entwickelt worden, welche es ermöglicht, verschiedene Lösungsmöglichkeiten zu einer angestrebten technischen Produktänderung zu analysieren,

zu bewerten und hinsichtlich ihrer positiven und negativen Auswirkungen miteinander zu vergleichen.

- In PD/CIRA sind Kriterien wie technische Machbarkeit und die Auswirkungen einer technischen Produktänderung (auf das Produkt, produktübergreifend, auf die Herstellbarkeit, Kosten und Zeit) in einem Ansatz integriert. Somit kann der Ansatz nicht nur für die Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten, sondern auch für die abschließende Bewertung einer ausgearbeiteten Änderungslösung genutzt werden („Ist die Lösungsgüte noch positiv?“).
- PD/CIRA ermöglicht die Analyse der Fortpflanzung einer technischen Produktänderung innerhalb eines Produktes, also zwischen den Bauteilen, wie dies in anderen Ansätzen auch möglich ist. Darüber hinaus wird es aufgrund des verwendeten CPM-Produktmodells (erstmalig) möglich, auch Auswirkungen auf / Fortpflanzungen über die Eigenschaften und somit das Verhalten des Produktmodells mitzuerfassen. Somit ist es möglich abzuschätzen, wie sich eine technische Produktänderung auf die Akzeptanz des Produktes beim Kunden auswirken kann. Ferner stoppt die technische Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen nicht an der Produktgrenze, sondern betrachtet ebenfalls produktübergreifende Auswirkungen und Auswirkungen auf die Herstellbarkeit.

Somit ist es mit PD/CIRA gelungen, ein durchgängiges Rahmenwerk zu entwickeln, welches zur Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten technischer Produktänderungen, aber auch zur abschließenden Verifizierung einer Änderungslösung eingesetzt werden kann. Dieses Rahmenwerk berücksichtigt durchgängig alle relevanten Auswirkungen technischer Produktänderungen in einem einfachen Ansatz.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Aktuelle Studien der RWTH Aachen und der TU München identifizieren die Entscheidungsfindung über technische Produktänderungen als ein wichtiges Handlungsfeld im Kampf um globalen Wettbewerbsvorteile. Im diesem Kontext hat das in dieser Arbeit dokumentierte Forschungsprojekt das Ziel verfolgt, ein Instrumentarium zu entwickeln, welches die o.g. Entscheidung auf Basis der zu erwartenden Änderungsauswirkungen gezielt unterstützen kann. Um dieses Ziel zu erreichen, sind zunächst das Phänomen „technische Produktänderung“ genauer untersucht worden. Insbesondere sind hierzu Begrifflichkeiten geklärt, Ursachen und Notwendigkeiten technischer Produktänderungen identifiziert und eine Klassifizierung technischer Produktänderungen vorgenommen worden. In diesem Zusammenhang ist festgestellt worden, dass die Produktentwicklung bzw. Konstruktion der Hauptverursacher von technischen Produktänderungen ist und diese überwiegend durch Entwicklungsfehler verursacht werden. Dadurch hat sich die Notwendigkeit gezeigt, die Produktentwicklung – einerseits als Hauptverursacher, andererseits als Hauptbeteiligter – bei der Bearbeitung technischer Produktänderungen methodisch zu unterstützen.

Aufbauend auf der identifizierten Notwendigkeit der Unterstützung der Produktentwicklung, sind anschließend die existierenden Strategien, die Organisation und die Hilfsmittel des technischen Änderungsmanagements beschrieben und diskutiert worden. Hinsichtlich der Strategien lassen sich das Vermeiden beziehungsweise Früherkennen und die organisierte Abwicklung technischer Produktänderungen unterscheiden. Im Zuge der organisierten Abwicklung technischer Produktänderungen sind verschiedene Änderungsprozesse vorgestellt und mit zuvor identifizierten Anforderungen verglichen worden. Hier ist festgestellt worden, dass keiner der vorgestellten technischen Änderungsprozesse alle Anforderungen vollständig erfüllt und insbesondere der Bereich der Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen nicht entsprechend seiner Bedeutung für den Gesamtprozess behandelt wird. Im Bereich der Hilfsmittel zur Analyse technischer Produktänderungen sind für die Ursachen- und Risikoanalyse nur allgemein bewährte Methoden und keine speziellen Methoden des technischen Änderungsmanagements identifiziert worden. Bestehende Ansätze zur Analyse der Auswirkungen

technischer Produktänderungen fokussieren im Bereich der Änderungsfortpflanzung lediglich die Fortpflanzung zwischen den Bauteilen eines Produktes, hängen zum Teil stark von der Erfahrung des Konstrukteurs ab oder sind nur eingeschränkt anwendbar. Die Analyse der Auswirkungen auf die Produktionsprozesse hängt ebenfalls stark von der Erfahrung der Mitarbeiter ab. Für die Analyse der Auswirkungen auf die Zeit und die Bestimmung der Änderungskosten ist exemplarisch auf bestehende Ansätze verwiesen worden. In diesem Zusammenhang konnte kein Rahmenwerk zur Analyse technischer Produktänderungen identifiziert werden, welches alle Auswirkungen technischer Produktänderungen zusammenhängend überprüft. Ebenfalls wird die Möglichkeit der Fortpflanzung von Änderungen über das Produktverhalten bislang nicht betrachtet. Somit kann das eingangs dargestellte Handlungsfeld auf den Handlungsbedarf fokussiert werden, den Produktentwickler bei der Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen zu unterstützen, und zwar bereits in der frühen Phase der Lösungsauswahl.

Damit die Auswirkungen einer technischen Produktänderung analysiert werden können, muss dieser Analyse ein Produktmodell zugrunde liegen. Die Wahl ist im Rahmen dieser Arbeit auf den CPM/PDD-Ansatz und entsprechend das CPM-Produktmodell gefallen. Es hat sich bei der Potentialanalyse des Ansatzes gezeigt, dass der CPM/PDD-Ansatz insgesamt ein geeignetes Hilfsmittel zur Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen darstellen kann, jedoch in einigen Bereichen noch erweitert und angepasst werden muss. Damit die Risiken technischer Produktänderungen und die Auswirkungen auf die Herstellbarkeit eines Produktes bestimmt werden können, ist der bestehende CPM/PDD-Ansatz um die Vertriebs- und die Produktionssicht erweitert worden. Damit die Auswirkungen auf andere Produkte ermittelt werden können, sind in den Ansatz so genannte „produktübergreifende Querverbindungen“ (Crosslinks) integriert worden. Zur Vereinfachung der Analyse des Produktmodells ist der CPM/PDD-Ansatz in die Matrix-Darstellung Matrix-CPM/PDD überführt worden. Um die – aufbauend auf dem erweiterten CPM/PDD-Ansatz – zu entwickelnde Methodik in einen technischen Änderungsprozess integrieren zu können, ist ein Referenzprozess definiert worden, der den Schwerpunkt auf die Analyse der Auswirkungen technischer Produktänderungen legt.

Aufbauend auf diesen konzeptionellen Vorüberlegungen, ist die in dieser Arbeit entwickelte Methodik zur Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen, die Property-Driven Change Impact and Risk Analysis (PD/CIRA), vorgestellt

worden. In dieser werden zunächst die konstruktiven Auswirkungen bestimmt. Worin auf Matrix-CPM basierenden CIA-Matrizen genutzt werden, um die Fortpflanzung von Änderungen über innere Abhängigkeiten und über das Verhalten des Produktes und somit die Gesamtauswirkungen auf das Produktverhalten zu bestimmen. Auf diesem Teilergebnis aufbauend, kann auch der konstruktive Aufwand einer Lösungsmöglichkeit beurteilt werden. Im zweiten Schritt von PD/CIRA werden – unter Verwendung der Produktionssicht des erweiterten CPM/PDD-Ansatzes – die Auswirkungen auf die Herstellbarkeit und – unter Verwendung der produktübergreifenden Querverbindungen – die Auswirkungen auf andere Produkte beurteilt. Um nun die Lösungsgüte zu bestimmen, werden die bisher erwähnten Beurteilungsergebnisse mit den Termin- und Wirtschaftlichkeitsauswirkungen der Lösungsmöglichkeit verrechnet.

Sowohl die Darstellungsart des Matrix-CPM als auch die Methodik PD/CIRA haben sich in den verwendeten Evaluierungsszenarien prinzipiell geeignet gezeigt, die in sie gesetzten Erwartungen zu erfüllen. Somit ist mit PD/CIRA eine Methodik entstanden, mit welcher es prinzipiell gelingt das technische Änderungsmanagement so zu unterstützen, dass bereits auf Grundlage der zu erwartenden Auswirkungen, diejenige Lösungsmöglichkeit zu einer technischen Produktänderung ausgewählt werden kann, welche das günstigste Aufwand/Nutzen-Verhältnis besitzt. Zudem ist im Bereich der Analyse der technischen Auswirkungen die Möglichkeit geschaffen worden, die Fortpflanzung von technischen Produktänderungen nicht nur über die inneren Abhängigkeiten eines Produktes, sondern auch über die Auswirkungen auf das Produktverhalten zu analysieren. Ebenfalls endet die Analyse von PD/CIRA nicht an der Produktgrenze, sondern der Ansatz ermöglicht die Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit und die produktübergreifende Fortpflanzung von technischen Produktänderungen. Vom Aufbau des Ansatzes her, erscheint dieser ebenfalls geeignet, die ausgewählte Lösungsmöglichkeit infolge der Ausarbeitung und vollständigen Bestimmung der Auswirkungen auf die Herstellbarkeit, Zeit und Wirtschaftlichkeit abschließend zu verifizieren. Somit liegt die Vermutung nahe, dass sich PD/CIRA auch als Controlling-Instrument für eine technische Produktänderung einsetzen lässt.

8.2 Beantwortung der Forschungsfragen

In Kapitel 1.3 wurden drei Forschungsfragen gestellt, welche nun beantwortet werden.

Technische Produktänderungen stellen ein wichtiges Thema im Bereich der Entwicklung und Konstruktion von Produkten dar. Welche generellen Strategien gibt es im Umgang mit technischen Produktänderungen? Welche Ziele verfolgen diese?

Bezüglich des Umgangs mit technischen Produktänderungen sind, im Rahmen dieser Arbeit, zwei wesentliche Strategien identifiziert worden. Diese stehen jedoch miteinander im Spannungsfeld. Auf der einen Seite wird versucht, technische Produktänderungen gänzlich zu vermeiden. Diese Strategie verfolgt das Ziel, die negativen Effekte von technischen Produktänderungen (zu Beginn der Produktentwicklung nicht abschätzbare Zusatzkosten, Störung der Herstellprozesse etc.) zu eliminieren. Da die Ursache vieler technischer Produktänderungen jedoch in Entwicklungsfehlern zu finden ist, können technische Produktänderungen nicht gänzlich vermieden werden. Deshalb ist es das Hauptanliegen dieser Strategie, technische Produktänderungen so früh wie möglich im Produktlebenszyklus auftreten zu lassen, um die Nebenwirkungen so gering wie möglich zu halten. Somit kann hier auch von einer Früherkennung technischer Produktänderungen gesprochen werden. Nachteilig an dieser Strategie ist, dass Innovationen, welche während des Produktlebenszyklus entstehen nicht in das Produkt integriert werden. Dies kann negative Auswirkungen auf die Absatzfähigkeit des Produktes haben (siehe auch Kapitel 3.1 und 3.5.1).

Die zweite Strategie im Umgang mit technischen Produktänderungen ist die effektive Abwicklung von technischen Produktänderungen. Diese lässt sich als technischer Änderungsprozess darstellen, welcher mit dem Erkennen der Notwendigkeit einer technischen Produktänderung beginnt und, im günstigsten Fall, mit dem Review und Wissenstransfer der erfolgreichen Umsetzung der technischen Produktänderung endet. Das Ziel dieser Strategie ist die optimale Abwicklung von nicht-vermeidbaren technischen Produktänderungen. Diese Strategie nimmt negative Effekte von technischen Produktänderungen in Kauf und versucht ein möglichst optimales Gesamtergebnis zu erzielen. Gegenüber der Vermeidung von technischen Produktänderungen ist diese Strategie sehr flexibel und kann somit beispielsweise auf Innovationen oder veränderte Marktverhältnisse reagieren (siehe auch Kapitel 3.2 und 3.5.2).

Bevor eine technische Produktänderung umgesetzt wird, muss über diese positiv befunden werden. Welche Kriterien sind bei der Entscheidung über eine technische Produktänderung maßgebend?

Wesentlich für die Entscheidung über eine technische Produktänderung ist der Vergleich zwischen Aufwand und Nutzen der technischen Produktänderung. Als Kriterien für die Analyse von Aufwand und Nutzen werden die Auswirkungen technischer Produktänderungen herangezogen. Diese Auswirkungen untergliedern sich in die Bereiche

- Auswirkungen innerhalb des Produktes,
- Auswirkungen auf andere Produkte,
- Auswirkungen auf Prozesse und Ressourcen,
- Auswirkungen auf die Kosten und
- Auswirkungen auf die Zeit (siehe auch Kapitel 2.4, 3.3.3 und 3.5.3).

Je länger eine notwendige Änderung an einem Produkt sich herauszögert, desto größer ist das Risiko für das Unternehmen, welches das Produkt herstellt. Somit übt der Faktor Zeit Druck auf die Entscheidung über eine technische Produktänderung aus. Wie kann der Prozess der Entscheidung über eine technische Produktänderung unterstützt werden, so dass dieser prozesssicher und zügig abläuft?

Eine mögliche Antwort auf diese Frage besteht in der Unterstützung der frühen Phasen des Entscheidungsprozesses über eine technische Produktänderung, sprich im Bereich der Auswahl der möglichen späteren Lösung des Änderungsproblems. Um diese Phase zu unterstützen, wurde im Rahmen dieser Arbeit die Methodik PD/CIRA entwickelt. Mit PD/CIRA wird es möglich, verschiedene Lösungsmöglichkeiten zu technischen Produktänderungen bereits frühzeitig, vergleichsweise detailliert, hinsichtlich ihres Aufwands und ihres Nutzens zu analysieren und entsprechend die Lösungsmöglichkeit mit dem günstigsten Aufwand/Nutzen-Verhältnis auszuwählen und weiter auszuarbeiten. Abschließend kann die ausgearbeitete Änderungslösung wiederum mit PD/CIRA validiert werden (siehe Kapitel 6 und 7).

8.3 Grenzen der Methodik

PD/CIRA stellt eine Methodik dar, welche durchgängig die Auswirkungen verschiedener Lösungsmöglichkeiten innerhalb des Produktes sowie auf das Verhalten des Produktes, auf die Herstellbarkeit des Produktes, weitere Produkte, Zeit- und Wirtschaftlichkeitsfaktoren analysieren und beurteilen kann. Die Grenzen des Ansatzes in der beschriebenen Form sind dabei die folgenden:

- Die Genauigkeit des Analyseergebnisses der Auswirkungen innerhalb des Produktes hängen vom Detaillierungsgrad des Produktmodells ab. Ist dies ungenau, so ist die Aussage der Analyse ebenfalls ungenau.
- Trotz der, von der Abstufung her, eingeschränkten Bewertungskriterien ist, wie bei anderen Ansätzen, welche ein vergleichbares Bewertungsschema benutzen, ein gewisser Spielraum bei der Auswahl der Bewertung möglich. Dies hat zur Folge, dass es zu schwankenden Ergebnissen kommen kann. Dies hat sicherlich negative Auswirkungen auf die (exakte) Reproduzierbarkeit der Lösungsgüte. Aber ebenso wie bei bewährten Methoden zur Risikoanalyse (z.B. der FMEA) wird es als ausreichend erachtet, wenn das Ergebnis tendenziell gleich ist.
- In der bestehenden Form, d.h. ohne spezifische Computerunterstützung, ist der Ansatz in der Anwendung auf kleinere Produkte mit etwa 100-150 Merkmalen beschränkt. Bei einer höheren Anzahl an Merkmalen ist die fehlerfreie, manuelle Handhabung der CIA-Matrix nur noch bedingt gewährleistet.
- Die kumulierten Beurteilungsergebnisse „Verhaltensreaktion (VR)“ und „Lösungsgüte (LG)“ stellen lediglich Indikatoren dar, welche das tendenzielle, jedoch nicht das absolute Analyseergebnis anzeigen. Somit kann auf eine kritische Prüfung der beiden Indizes im Kontext der Bewertungen nicht verzichtet werden.
- Die Anwendbarkeit der Methodik wird dadurch eingeschränkt, dass sie auf dem – zurzeit noch wenig verbreiteten – CPM/PDD-Ansatz beruht.

8.4 Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit konnte die prinzipielle Funktion von PD/CIRA getestet und nachgewiesen werden. Insbesondere um die exakten Grenzen von PD/CIRA auszuloten, sind reale Tests, auch mit größeren und komplexeren Produktmodellen erforderlich. In diesen Tests kann ferner untersucht werden, wie sich PD/CIRA beim generierenden Ändern anwenden lässt und wie sich die definierten Bewertungsskalen sowie mögliche Gewichtungsfaktoren im praktischen Einsatz eignen. Um diese Tests zu ermöglichen, sollten mehrere Dinge zuvor erreicht werden. Da PD/CIRA stark vom CPM/PDD-Ansatz abhängig ist, sollte dieser weiterentwickelt werden, so dass insbesondere die Elemente „Innere Abhängigkeiten“ und „Externe Bedingungen“ auf einer breiteren theoretischen Basis stehen werden. Insbesondere durch eine Verfeinerung der inneren Abhängigkeiten ist ein qualitativ besseres Analyseergebnis im ersten Teil von PD/CIRA zu erwarten. Matrix-CPM/PDD sollte dann an die Weiterentwicklungen angepasst und ein Übersetzer zwischen den beiden Darstellungsarten entwickelt werden. Erweist sich PD/CIRA infolge der Tests weiterhin als ein geeignetes Werkzeug zur Unterstützung im Umgang mit technischen Produktänderungen, sollte eine Computerunterstützung programmiert werden.

Unabhängig von den Testergebnissen von PD/CIRA sollten die Potentiale der im Rahmen dieser Arbeit entstandenen konzeptionellen Erweiterungen des CPM/PDD-Ansatzes (produktübergreifende Querverbindungen und Tolerierung von Soll-Eigenschaften) eingehender untersucht und weitere Anwendungsgebiete erschlossen werden.

Über diese Arbeit hinaus sind weitere Arbeiten im Bereich des Umgangs mit technischen Produktänderungen, insbesondere auch im Bereich der Analyse von Auswirkungen technischer Produktänderungen erforderlich. Nur so kann eine kontinuierliche Verbesserung des Erreichten und ein kontinuierlicher Transfer der Ideen der Forschung in die Praxis sichergestellt werden. Ein besonderer Fokus sollte dabei auch auf die Analyse der Auswirkungen auf Produktionsprozesse und die durchgängige informationstechnische Unterstützung des Änderungsprozesses gelegt werden.

Quellenverzeichnis

Literatur

- [AbVB06] Abramovici, M.; Versmold, J.; Bauer, T.: Entwicklung und Einführung einer pragmatischen Änderungsmanagement-Lösung. In: Industrie Management, 22 (2006), Nr. 6, S. 27-30, GITO-Verlag, Berlin, 2006.
- [AhKa07] Ahmed, S.; Kanike, Y.: Engineering Change During a Product's Lifecycle. In: International Conference on Engineering Design 2007 (ICED 07), Paris/Frankreich, 28.-31.08.2007, Paper No. 284 (CD-Rom), Ecole Centrale Paris, 2007.
- [Akao92] Akao, Yoji: QFD – Quality Function Deployment – Wie die Japaner Kundenwünsche in Qualität umsetzen. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1992.
- [Allm98] Allmannsberger, G.: Aktionsfelder des Integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 4: Strategien zum Entwickeln von Lösungsalternativen. In: [LiRe98], S. 173-192, 1998.
- [Alts73] Altschuller, G.S.: Erfinden – (k)ein Problem? Anleitung für Neuerer und Erfinder. Verlag Tribüne, Berlin, 1973.
- [Alts84] Altschuller, G.S.: Erfinden - Wege zur Lösung technischer Probleme. Verlag Technik, Berlin, 1984.
- [Andr99] Andreasen, M.M.: The Role of Artefact Theories in Design Science. General Design Theory Workshop GDT'99, Cambridge, 1999.
- [AnHe87] Andreasen, M.M.; Hein, L.: Integrated Product Development. Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- [Arch65] Archer, L.B.: Systematic method for designers. Reprint, Design Council, London, 1965.

- [ArEC06] Ariyo, O.O.; Eckert, C.M.; Clarkson, P.J.: On the Use of Functions, Behaviour and Structural Relations as Cues for Engineering Change Prediction. In: Proceedings of the Design 2006 - 9th International Design Conference, Dubrovnik/Kroatien, 15.-18.05.2006. Schriftenreihe "Design Society", DS 36, S. 773-781, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2006.
- [AßCo98] Aßmann, G.; Conrat, J.-I.: Modell eines integrierten Änderungsmanagements. In: [LiRe98], 1998.
- [Aßma98] Aßmann, G.: Aktionsfelder des Integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 1: Vermeidung und Vorverlagerung von Änderungen. In: [LiRe98], S.105-131, 1998.
- [Bere89] Berens, N.: Anwendung der FMEA in Entwicklung und Produktion. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1989.
- [Bert96] N.N.: Bertelsmann Neues Lexikon in 10 Bänden. Bertelsmann Lexikon Verlag, Gütersloh, 1996.
- [BiBl07] Bischof, A.; Blessing, L.: Gestaltungsrichtlinien zur Entwicklung flexibler Produkte. In: Meerkamm, H. (Hrsg.): Beiträge zum 18. Symposium Design for X, S. 1-12, 11. und 12. Oktober 2007, Neukirchen, 2007.
- [Bill98] Billinger, A.: Optimierungsbedarf aus der Sicht eines Herstellers. In: [LiRe98], S. 16-24, 1998.
- [BlCh02] Blessing, L.; Chakrabati, A.: A Design Research Methodology. In: Proceedings of Les Sciences de le Conception, 15.-16.03.2002, INSA de Lyon, 2002.
- [BIDM03] Blecker, T.; Dulling, H.; Malle, F.: Kundenkohärente und kundeninhärente Produktkonfiguration in der Mass Customization. In: Industrie Management, 19 (2003), Nr. 1, S. 21-24, GITO-Verlag, Berlin, 2003.

- [Boss07] Bossmann, M.: Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung. Dissertation, Universität des Saarlandes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 38, Saarbrücken, 2007.
- [Bout99] Boutellier, R.: Qualitätsplanung. In: Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement. S. 271-298, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1999.
- [BrMM06] Brealey, R.A.; Myers, S.C.; Marcus, A.J.: Fundamentals of Corporate Finance. McGraw-Hill/Irwin, New York, 2006.
- [BrSc04] Briscoe, D.R.; Schuler, R.S.: International Human Resource Management – Policy and Practice for the Global Enterprise. Routledge Global Human Resource Management Series, Routledge, London, 2004.
- [CDKW07a] Conrad, J.; Deubel, T.; Köhler, C.; Wanke, S.; Weber, C.: Change Impact and Risk Analysis (CIRA) - Combining the CPM/PDD Theory and FMEA-Methodology for an Improved Engineering Change Management. In: International Conference on Engineering Design 2007 (ICED 07), Paris/Frankreich, 28.-31.08.2007, Paper No. 549 (CD-Rom), Ecole Centrale Paris, 2007.
- [CDKW07b] Conrad, J.; Deubel, T.; Köhler, C.; Wanke, S.; Weber, C.: Comparison of Knowledge Representation in PDM and by Semantic Networks. In: International Conference on Engineering Design 2007 (ICED 07), Paris/Frankreich, 28.-31.08.2007, Paper No. 550 (CD-Rom), Ecole Centrale Paris, 2007.
- [Clau98] Clausing, D.P.: Total Quality Development – A Step-by-Step Guide to World Class Concurrent Engineering. ASME Press, New York, 1998.
- [CIEc05] Clarkson, J.; Eckert, C. (Hrsg.): Design Process Improvement – A Review of Current Practice. Springer-Verlag London Limited, London, 2005.

- [CISE01] Clarkson, P.J.; Simons, C.; Eckert, C.: Predicting Change Propagation in Complex Design. In: Proceedings of DETC'01 ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, September 9-12, 2001, ASME, 2001.
- [CoNF00] Cohen, T.; Navathe, S.B.; Fulton, R.E.: C-FAR, change favourable representation. In: Computer-Aided Design, 32 (2000), S. 321-338, Elsevier, Amsterdam, 2000.
- [Conr97] Conrat Niernerg, J.-I.: Änderungskosten in der Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität München, Lehrstuhl für Allgemeine und Industrielle Betriebswirtschaftslehre, 1997.
- [Cros92] Cross, N.: A History of Design Methodology. In: de Vries, M.J.; Cross, N.; Grant, D.P.: Design Methodology and Relationships with Science. NATO ASI Series, Series D: Behavioral and Social Sciences – Volume 71, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Eindhoven, the Netherlands, September 29-October 2, 1992, S. 15 – 28, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1992.
- [Cros93] Cross, N.: Science and Design Methodology – A Review. In: Research in Engineering Design (1993) 5, S. 63-69, Springer-Verlag London Limited, London, 1993.
- [Cube96] Cuber, M.: Entwicklung einer Strategie zur qualitätsgerechten Modellierung des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses. Dissertation, Universität des Saarlandes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 13, Saarbrücken, 1996.
- [DeSW05] Deubel, T.; Steinbach, M.; Weber, C.: Requirement- and Cost-Driven Product Development Process. In: Samuel, A.; Lewis, W. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design 2005 (ICED 05), Melbourne/Australien, 15.-18.08.2005. Schriftenreihe Design Society, DS 35, Paper No. 357.46 (CD-ROM), The Design Society, Melbourne 2005.

- [Deub07] Deubel, T.: Anforderungs-, kosten- und wertgetriebene Steuerung des Produktentwicklungsprozesses. Dissertation, Universität des Saarlandes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 39, Saarbrücken, 2007.
- [DKJR05] Deubzer, F.; Kreimeyer, M.; Junior, T.; Rock, B.: Der Änderungsmanagementreport 2005. CiDaD Working Paper Series, Jahrgang 01, Nr. 01 (2005), Seite 1 – 12, TU München, 2005.
- [DoLa05] Doppler, K.; Lauterburg, C.: Change Management – Den Unternehmenswandel gestalten. Campus Verlag GmbH, Frankfurt/Main, 2005.
- [Dubb07] Dubbel, H.; Grote, K.-H.; Feldhusen, J.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer-Verlag, Berlin, 2007.
- [DZBW06] Deubel, T.; Zenner, C.; Bley, H.; Weber, C.: Adaptation of a new Design Method for the Requirement-Driven Planning of Manufacturing Systems. Proceedings of the 16th CIRP International Design Seminar – Design & Innovation for a Sustainable Society, Kananaskis, Alberta, Canada 16.-19.07.2006 (herausgegeben von P. Gu, D. Xue, A. Ramirez-Serrano, S. Park, & D. Fletcher). Paper No. 10061, p. 529-534 (Full Paper, CD-ROM), Canada, 2006.
- [EcCZ04] Eckert, C.M.; Clarkson, P.J.; Zanker, W.: Change and Customisation in Complex Engineering Domains. In: Research in Engineering Design, 15 (2004), S. 1-21, Springer-Verlag London Ltd., London, 2004.
- [EcPJ03] Eckert, C.M.; Pulm, U.; Jarrat, T.A.W.: Mass Customisation, Change and Inspiration – Changing Designs to Meet New Needs. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED03, Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden, The Design Society, 2003.
- [EdGo65] Eder, W.E.; Gosling, W.: Mechanical System Design. The Commonwealth and International Library: Division Applied Mechanics, Pergamon Press, Oxford, 1965.

- [EgEC07] Eger, T.; Eckert, C.M.; Clarkson, P.J.: Engineering Change Analysis During Ongoing Product Development. In: International Conference on Engineering Design 2007 (ICED 07), Paris/Frankreich, 28.-31.08.2007, Paper No. 27 (CD-Rom), Ecole Centrale Paris, 2007.
- [Ehr107] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2007.
- [EiFr07] Eirenschmalz, A; Freisl, J.: Zum Leben erweckt – Unternehmensleitbild als Orientierungshilfe für alle. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, Jahrgang 52 (2007), Heft 11, S. 24-28, Carl Hanser Verlag, München, 2007.
- [Ever96] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik – Band 1 Grundlagen. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1996.
- [Ever98] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik – Band 2 Konstruktion. VDI-Buch, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1998.
- [EvWS97] Eversheim, W.; Warnke, L.; Schröder, T.: Änderungsmanagement in Entwicklungskooperationen. In: VDI-Z Integrierte Produktion, 139 (1997), Nr. 3, S. 60-63, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- [Fran89] Franke, W.D.: FMEA: Fehlermöglichkeits- und –einflussanalyse. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1989.
- [Freh93] Frehr, H.-U.: Total Quality Management – Unternehmensweite Qualitätsverbesserung: Ein Praxis-Leitfaden für Führungskräfte. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1993.
- [Fren71] French, M.J.: Engineering Design – The Conceptual Stage. Heinemann, London, 1971.
- [Fren85] French, M.J.: Conceptual Design for engineers. Design Council, London, 1985.
- [Fric06] Fricke, E.: Der Änderungsprozess als Grundlage einer nutzerzentrierten Systementwicklung. Herbert Utz Verlag, München, 2006.

- [FrLo97] Fricke, G.; Lohse, G.: Entwicklungsmanagement – Mit methodischer Produktentwicklung zum Unternehmenserfolg. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1997.
- [FrSc05] Fricke, E.; Schulz, A.P.: Design for Changeability (DfC): Principles to Enable Changes in Systems Throughout Their Entire Lifecycle. In: Systems Engineering, Vol. 8, No. 4, 2005, Wiley Periodicals, 2005.
- [Gait06] Gaitanides, M.: Prozessorganisation. In: Handelsblatt Wirtschaftslexikon – Das Wissen der Betriebswirtschaftslehre, Verlag Schäfer-Poeschl, Stuttgart, 2006.
- [Gemm95] Gemmerich, M.: Technische Produktänderungen: Betriebswirtschaftliche und empirische Modellanalyse. Gabler Verlag / Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1995. Zugleich: Dissertation, Universität Passau, 1995.
- [GeSt98] Gerst, M.; Stetter, R.: Aktionsfelder des Integrierten Änderungsmanagements - Aktionsfeld 3: Problem- und Ursachenanalyse. In: [LiRe98], S.154-172, 1998.
- [Glas06] Glaser, H.: Controlling und Kostenmanagementsysteme – Fallstudie zum Target Costing. Vorlesung am Europa-Institut der Universität des Saarlandes, Wintersemester 2006/07. Basiert auf: Deisenhofer, T.: Marktorientierte Kostenplanung auf Basis von Erkenntnissen der Marktforschung bei der AUDI AG. In: Horváth, P. (Hrsg.): Target Costing – Marktorientiert Zielkosten in der deutschen Praxis. S. 93-117, Schäfer-Poeschl, Stuttgart, 1993.
- [Gosl66] Gosling, W.: The Design of Engineering Systems. Heywood & Company, London, 1966.
- [Greg66] Gregory, S.A. (Hrsg.): The Design Method – Symposium, 21.-23.09.1965 in Birmingham. Butterworths, London, 1966.

- [GrGB05] Gries, B.; Gericke, K.; Blessing, L.: How Companies Learn From Design Flaws: Results From an Empirical Study of the German Manufacturing Industry. In: Samuel, A.; Lewis, W. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design 2005 (ICED 05). Melbourne/Australien, 15.-18.08.2005. Schriftenreihe Design Society, DS 35, Paper No. 195.49 (CD-ROM), The Design Society, Melbourne 2005.
- [GrHS98] Gross, D.; Hauger, W.; Schnell, W.: Technische Mechanik 1 Statik. Springer-Verlag, Berlin, 1998.
- [HaAn03] Hansen, C.T.; Andreasen, M.M.: Two Approaches to Synthesis Based upon the Design Theory. In: Chakrabarti, A. (Hrsg.): Engineering Design Synthesis – Understanding, Approaches and Tools. S. 93-108, Springer-Verlag, Heidelberg/New York, 2003.
- [Hans68] Hansen, F.: Konstruktionssystematik – Grundlagen für eine allgemeine Konstruktionslehre. VEB Verlag Technik, Berlin, 1968.
- [HaWe03] Hatchuel, A.; Weil, B.: A New Approach of Innovative Design: An Introduction to C-K-Theory. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED03, Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden, The Design Society, 2003.
- [Heym05] Heymann, M.: „Kunst“ und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts – Zur Geschichte der Konstruktionswissenschaft. Chronos Verlag, Zürich, 2005.
- [Hill97] Hiller, F.: Ein Konzept zur Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung. Dissertation, Universität Kaiserslautern. In: Warnecke, G. (Hrsg.): Produktionstechnische Berichte, Band 28, Kaiserslautern, 1997.
- [HoHe07] Hoischen, H.; Hesser, W.: Technisches Zeichnen – Grundlagen, Normen, Beispiele. Cornelsen Verlag, Berlin, 2007.

- [HSHM06] Hahn, A.; Strickmann, J.; Hartmeier, H.-D.; Meier, H.: Integriertes Projekt- und Änderungsmanagement – Ein Ansatz zur organisatorischen und technischen Abwicklung von Änderungen. In: Industrie Management, 22 (2006), S. 34-38, GITO-Verlag, Berlin, 2006.
- [Hube99] Huber, E.: Sicherheit in der Informationstechnik (IT) – Security. In: Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement. S. 947-960, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1999.
- [HuEd92] Hubka, V.; Eder, W.E.: Einführung in die Konstruktionswissenschaft – Übersicht, Modell, Ableitungen. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1992.
- [Hubk73] Hubka, V.: Theorie der Maschinensysteme – Grundlage einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. Springer Verlag, Berlin, 1973.
- [Hubk76] Hubka, V.: Theorie der Konstruktionsprozesse – Analyse der Konstruktionsstätigkeit. Hochschultext, Springer-Verlag, Berlin, 1976.
- [HuMa02] Hummel, T.; Malorny, C.: Total Quality Management. Erschienen in der Reihe Kaminske, F. (Hrsg.): Pocket Power. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2002.
- [Imai01] Imai, M.: Kaizen – Der Schlüssel zum Erfolg im Wettbewerb. Econ Taschenbuch, Berlin, 2001.
- [JaCE05] Jarratt, T.; Clarkson, J.; Eckert, C.: Engineering change management. In: Clarkson, J.; Eckert, C. (Hrsg.): Design Process Improvement – A Review of Current Practice. Springer-Verlag London Limited, London, 2005.
- [JäBi06] Jänsch, J.; Birkhofer, H.: The Development of the Guideline VDI 2221 – The Change of Direction. In: Marjanovic, D. (Hrsg.): Proceedings of the Design 2006 - 9th International Design Conference, Dubrovnik/Kroatien, 15.-18.05.2006. Schriftenreihe "Design Society", DS 36, S. 45-52, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2006.

- [Jani04] Jania, T.: Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Prozess- und Produktdatenmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung. Dissertation, Universität Paderborn, 2004.
- [Jani06] Jania, T.: Vorausschauendes Änderungsmanagement als Teil der Elektrik-, Elektronik- und Softwareintegration. In: Industrie Management, 22 (2006), S. 51-54, GITO-Verlag, Berlin, 2006.
- [JoAN07] Jorgensen, H.H.; Albrecht, J.; Neus, A.: Making Change Work – Erfolgsfaktoren für die Einführung von Innovationen. Studie der IBM-Deutschland GmbH, Stuttgart, 2007.
- [JoTh63] Jones, J.C.; Thornley, D.G. (Hrsg.): Conference on Design Methods - Papers presented at the Conference on systematic and intuitive methods in engineering, industrial design, architecture and communications, London, Sept. 1962. Pergamon Press, Oxford, 1963.
- [JoZi00] Johne, S.; Zieglowski, M.: Sicherheit per Matrix – Rechnergestützte Systementwicklung mit Matrix-FMEA optimiert Produktentwicklung. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, Jahrgang 45 (2000), Heft 7, S. 876-882, Carl Hanser Verlag, München, 2000.
- [KAPE07] Keller, R.; Alink, T.; Pfeifer, C.; Eckert, C.M.; Clarkson, P.J.; Albers, A.: Product Models in Design: A Combined Use of Two Models to Assess Change Risks. In: International Conference on Engineering Design 2007 (ICED 07), Paris/Frankreich, 28.-31.08.2007, Paper No. 439 (CD-Rom), Ecole Centrale Paris, 2007.
- [Kapu06] Kapust, A.: Fehlerfrei in die Serienproduktion mit der DRBFM Methode. Foliensatz zu einem Vortrag im DGQ Regionalkreis Karlsruhe-Pforzheim-Gaggenau am 03. April 2006.

- [KCWW08] Köhler, C.; Conrad, J.; Wanke, S.; Weber, C.: A matrix representation of the CPM/PDD approach as a means for change impact analysis. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the DESIGN 08 – 10th International Design Conference. May 19. -22. 2008, Cavtat, Dubrovnik, Croatia, DS 48, S. 167-174, The Design Society, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2008.
- [KCWZ08] Köhler, C.; Conrad, J.; Wanke, S.; Zimmermann, J.: Einsatz von Qualitätstechniken in der Sach- und Dienstleistungsentstehung. In: VDI-Z Integrierte Produktion, Jahrgang 150 (2008), Nr. 4, S. 80, Springer-VDI Verlag, Düsseldorf, 2008.
- [KEEC05] Keller, R.; Eger, T.; Eckert, C.M.; Clarkson, P.J.: Visualising Change Propagation. In: Samuel, A.; Lewis, W. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design 2005 (ICED 05). Melbourne/Australien, 15.-18.08.2005. Schriftenreihe Design Society, DS 35, The Design Society, Melbourne 2005.
- [Kers99] Kersten, G.: Fehler vermeiden mit System – Mit rechnergestützter Matrix-FMEA die kritischen Punkte von Produkten und Prozessen finden. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, Jahrgang 44 (1999), Heft 7, S. 874-878, Carl Hanser Verlag, München, 1999.
- [Kess54] Kesselring, F.: Technische Kompositionslehre – Anleitung zum technisch-wirtschaftlichen und verantwortungsbewussten Schaffen, Springer-Verlag, Berlin, 1954.
- [KeTr92] Kepner, C.H.; Tregoe, B.B.: Entscheidungen vorbereiten und richtig treffen – Rationales Management: Die neue Herausforderung. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1992.
- [Klee98] Kleedörfer, R.W.: Aktionsfelder des Integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 5: Änderungsauswirkungserfassung und Änderungsplanung. In: [LiRe98], S. 193-203, 1998.

- [Klee99] Kleedörfer, R.W.: Prozeß- und Änderungsmanagement in der Integrierten Produktentwicklung. Dissertation, Technische Universität München, 1998; erschienen in: Lindenmann, U. (Hrsg.): Reihe Konstruktionstechnik München, Band 29, Shaker Verlag, Aachen, 1999.
- [Koll76] Koller, R.: Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Hochschultext, Springer-Verlag, Berlin, 1976.
- [KoRL07] Kolberg, E.; Reich, Y.; Levin, I.: Express Engineering Change Management. In: International Conference on Engineering Design 2007 (ICED 07), Paris/Frankreich, 28.-31.08.2007, Paper No. 308 (CD-Rom), Ecole Centrale Paris, 2007.
- [Köhl05] Köhler, C.: Präventive Qualitätssicherung in der Common Rail Injektor Fertigung. Diplomarbeit, Robert Bosch GmbH/Universität des Saarlandes, Homburg/Saarbrücken, 2005.
- [KöTC06] Köhler, C.; Träger, G.; Czenkusch, C.: Vom Risiko zum Restrisiko - Modifizierte FMEA-Auswertung verbessert Risikomanagement. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, Jahrgang 51 (2006), Heft 10, S. 45-49, Carl Hanser Verlag, München, 2006.
- [Krüg06] Krüger, W.: Wandel, Management des (Change Management). In: Handelsblatt Wirtschaftslexikon – Das Wissen der Betriebswirtschaftslehre, Verlag Schäfer-Poeschl, Stuttgart, 2006.
- [Kußm01] Kußmaul, H.: Betriebswirtschaftslehre für Existenzgründer – Grundlagen mit Fallbeispielen und Fragen der Existenzgründungspraxis. Verlag Oldenburg, München/Wien, 2001.
- [Linc95] Lincke, W.: Simultaneous Engineering – Neue Wege zu überlegenen Produkten. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1995.
- [LiRe98] Lindemann, U.; Reichwald, R. (Hrsg.): Integriertes Änderungsmanagement. Springer-Verlag, Berlin, 1998.

- [LuTr05] Lucko, S.; Trauner, B.: Wissensmanagement – 7 Bausteine für die Umsetzung in der Praxis. In: Kaminske, G.F. (Hrsg.): Pocket Power. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2005.
- [MaIs02] Martin, M.V.; Ishii, K.: Design for Variety – Developing standardized and modularized product platform architectures. In: Research in Engineering Design, 13 (2002), S. 213-235, Springer-Verlag London Ltd., London, 2002.
- [Matt06] Matthiesen, S.: Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ zum Zusammenhang von Funktion und Gestaltung technischer Systeme. In: Albers, A. (Hrsg.): Forschungsberichte des Instituts für Konstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau der Universität Karlsruhe (TH), Band 6, Karlsruhe, 2002.
- [Mint78] Mintzberg, H.: Patterns in strategy formation. In: Management Science, Vol. 24, No. 9, May 1978, S. 934-948, The Institute of Management Sciences, 1978.
- [Mint87] Mintzberg, H.: The strategy concept I: Five Ps for strategy. In: California Management Review, S. 11-24, Fall 1987.
- [MuKi08] Muir, N.; Kimbell, I.: Discover SAP. Galileo Press, Bonn, 2008.
- [Müll08] Müller, M.: Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie. Dissertation, Universität des Saarlandes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 42, Saarbrücken, 2008.
- [NeFD06] Nedeß, C.; Friedewald, A.; Davids, N.: Workflow-unterstütztes Änderungsmanagement. In: Industrie Management, 22 (2006), S. 19-22, GITO-Verlag, Berlin, 2006.

- [OlSt01] Ollinger, G.A.; Stahovich, T.F.: ReDesignIT – A Constraint-based Tool for Managing Design Chances. In: Proceedings of DETC'01 ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, September 9-12, 2001, ASME, 2001.
- [PaBe77] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre: Handbuch für Studium und Praxis. Springer-Verlag, Berlin, 1977.
- [PaBe07] Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2007.
- [Pahl98] Pahl, G.: Historical Background and Selected Results of Interdisciplinary Research between the Universities of Bamberg, Darmstadt and Munich. In: Frankenberger, E.; Badke-Schaub, P.; Birkhofer, H. (Hrsg.): Designers, the key to successful product development. Proceedings of a conference held in Darmstadt, Germany, December 1997, Springer-Verlag London Limited, London, 1998.
- [PaSc03] Partos, T.; Schröder, P.: Bewährtes in neuer Gestalt – FMEA im Planungsprozess für Produktionsanlagen und –mittel. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, Jahrgang 48 (2003), Heft. 10, S. 1001-1004, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2003.
- [Pfei08] Pfeifer-Nagel, E.: Führungskräfte üben in angeleiteten Teams betriebliche Veränderungen. In: MM Maschinenmarkt – Das Industriemagazin, Heft 4/2008, S. 42-43, Vogel Industrie Medien, Würzburg, 2008.
- [Pfli87] Pflicht, W.: Organisation des technischen Änderungsdienstes. In: DIN Mitteilungen + Elektronorm, Zentralorgan der deutschen Normung, DIN-Mitteilungen 66 1987, Nr. 6, S. 275-282, Beuth-Verlag, Berlin, 1987.
- [Pfli89] Pflicht, W.: Technisches Änderungswesen in Produktionsunternehmen – Ablauforganisation – PPS – Grunddatenverwaltung – Schwachstellenanalyse – Kostenanalyse. VDE-Verlag, Berlin, Offenbach, 1989.

- [PrRR06] Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen managen – Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2006.
- [PVCO03] Palani Rajan, P.K.; Van Wie, M.; Campbell, M.; Otto, K.; Wood, K.: Design for Flexibility – Measures and Guidelines. In: 14th International Conference on Engineering Design (ICED 03), Proceedings of the ICED03, Schriftenreihe Design Society, Stockholm, 2003.
- [Rebs08] Rebschläger, A.: Erweiterung und Evaluierung einer Methodik zur Darstellung der Auswirkungen von Änderungen an Produkten. Studienarbeit, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2008.
- [ReDH05] Rettenbacher, C.; Denkmayr, K.; Herschmann, O.-W.: Entwicklung auf Hochtouren – FMEA als Wissensmanagement-Instrument. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, Jahrgang 50 (2005), Heft 1, Seiten 28-32, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2005.
- [ReLH96] Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement – Ein Kurs für Studium und Praxis. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1996.
- [ReLZ98] Reichwald, R.; Lindemann, U.; Zanner, S.: Mobilisierbare Erfolgspotentiale durch Änderungsmanagement. In: [LiRe98], S. 257-265, 1998.
- [Remm06] Remmert, J.: Integrierte Änderungsprozesse im Maschinen-, Geräte- und Anlagenbau – Gezielte Steuerung und Kontrolle des Gesamtprozesses von der Konstruktion bis zum Ersatzteilwesen. In: Industrie Management, 22 (2006), S. 62-66, GITO-Verlag, Berlin, 2006.
- [Rode70] Rodenacker, W.G.: Methodisches Konstruieren. Konstruktionsbücher, 27, Springer-Verlag, Berlin, 1970.
- [RoKr06] Rogalski, S.; Krahtov, K.: Änderungsmanagement für die zukunftsorientierte Produktion (Teil 1). In: eDM-Report, Nr. 2 2006, S. 40-43, Dressler Verlag, Heidelberg, 2006.

- [RoMa01] Matek, W.; Muhs, D.; Wittel, H.; Becker, M.; Jannasch, D.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Normung, Berechnung, Gestaltung. Vieweg, Wiesbaden, 2001.
- [Roth82] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen – Systematisierung und zweckmäßige Aufbereitung technischer Sachverhalte für das methodische Konstruieren. Springer-Verlag, Berlin, 1982.
- [Roth00] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen – Band I Konstruktionslehre. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2000.
- [Saat01] Saatweber, J.: Absolute Kundenorientierung – Quality Function Deployment (Teil 1). Quality Engineering, 02/2001, S. 50ff., Konradin Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 2001.
- [Sayn84] Saynisch, M.: Konfigurationsmanagement – Entwurfssteuerung, Dokumentation, Änderungswesen. In: Schelle, H. (Hrsg.): Schriftenreihe der Gesellschaft für Projektmanagement. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1984.
- [Schä05] Schäppi, B.: Integrierte Produktentwicklung – Entwicklungsprozesse zielorientiert und effizient gestalten. In: Schäppi, B.; Andreasen, M.M.; Kirchgorg, M.; Radermacher, F.-J.: Handbuch Produktentwicklung, S. 3-27, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2005.
- [Sche98] Scheer, A.-W.: Wirtschaftsinformatik – Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse. Studienausgabe, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1998.
- [Scho00] Scholz, C.: Personalmanagement - Informationsorientierte und verhaltens-theoretische Grundlagen. Verlag Vahlen, München, 2000.
- [Scho06] Schorn, M.: Entwicklung mit System – Wie Toyota von DRBFM profitiert. In: Quality Engineering, Ausgabe 05/2006, S. 16 ff., Konradin-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 2006.

- [ScHG05] Schuh, G.; Harre, J.; Gottschalk, S.: Design for Changeability (DFC) in Product-Oriented Production. In: CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 34 (2005), No. 5, S.439-446, WISU-Verlag, Aachen, 2005.
- [Schu99] Schulze, A.: Statistische Versuchsplanung. In: Masing, W. (Hrsg.): Handbuch Qualitätsmanagement. S. 389-424, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1999.
- [ScKa05a] Schorn, M.; Kapust, A.: Im Fluss – Wie Toyota von DRBFM profitiert. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, Jahrgang 50(2005), Heft 4, S. 56-58, Carl Hanser Verlag, München, 2005.
- [ScKa05b] Schorn, M.; Kapust, A.: DRBFM – Die Toyota-Methode. In: VDI-Z Integrierte Produktion, Jahrgang 147 (2005), Nr. 7/8, S. 67-69, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, 2005.
- [ScKB06] Schmitt, R.; Krippner, D.; Betzold, M.: Geringere Fehlerkosten – höhere Zuverlässigkeit / Mit Mizenboushi Fehler in Entwicklungsprozessen vermeiden. In: QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, Jahrgang 51 (2006), Heft 6, S. 66-68, Carl Hanser Verlag, München, 2006.
- [ScKr06] Scholz-Reiter, B.; Krohne, F.: Langfristig agierende Produktänderungsteams – Effektive Nutzung bestehenden Wissens zur gezielten Umsetzung technischer Produktänderungen in der Anlaufphase. In: Industrie Management, 22 (2006), S. 31-33, GITO-Verlag, Berlin, 2006.
- [ScLü06] Scholz-Reiter, B.; Lütjen, M.: Änderungspropagation in frühen Phasen der Prozessgestaltung. In: Industrie Management, 22 (2006), S. 7-10, GITO-Verlag, Berlin, 2006.
- [SeGB06] Seiler, C.-M.; Grauer, M.; Barten, A.E.: Prozessorientierte Integration des Änderungsmanagements. In: Industrie Management, 22 (2006), S. 47-50, GITO-Verlag, Berlin, 2006.
- [Seid93] Seidenschwarz, W.: Target Costing – Marktorientiertes Zielkostenmanagement. Verlag Franz Vahlen GmbH, München, 1993.

- [Shet02] Shetty, D.: Design for Product Success. SME Society of Manufacturing Engineers, Dearborn/Michigan, 2002.
- [SKNH06] Scholz-Reiter, B.; Krohne, F.; Nyhuis, P.; Heins, M.: Prozessänderungen – Engpassorientierte Realisierung von Anlaufzielgrößen. In: Industrie Management, 22 (2006), S. 15-18, GITO-Verlag, Berlin, 2006.
- [Star05] Stark, J.: Product Lifecycle Management – 21st Century Paradigm for Product Realisation. Springer-Verlag, Berlin, 2005.
- [Stau91] Stauffer, L.A. (Hrsg.): Design Theory and Methodology - DTM'91. ASME, New York, 1991.
- [Stei05] Steinbach, Michael: Systematische Gestaltung von Product-Service-Systems – Integrierte Entwicklung von Product-Service-Systems auf Basis der Lehre von Merkmalen und Eigenschaften. Dissertation, Universität des Saarlandes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 35, Saarbrücken, 2005.
- [Stew81] Steward, D.V.: The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems. In: IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. EM 28, No.3, August 1981, The IEEE Engineering Management Society, Newark, 1981.
- [Stie99] Stiegler, G.: Produktionsplanung und Produktionssysteme im Fahrzeugbau. Manz Verlag, Wien, 1999.
- [Suh90] Suh, N.P.: The Principles of Design. Oxford Series on Advanced Manufacturing, Oxford University Press, New York/Oxford, 1990.
- [Suh01] Suh, N.P.: Axiomatic Design – Advances and Application. Oxford University Press, New York/Oxford, 1990.
- [Suh05] Suh, N.P.: Complexity – Theory and Application. MIT Pappalardo Series in Mechanical Engineering, Oxford University Press, Oxford/New York, 2005.
- [TiMü03] Tietjen, T.; Müller, D.H.: FMEA Praxis – Das Komplettpaket für Training und Anwendung. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2003.

- [TöBG95] Tönshoff, K.; Brüning, J.; Goebel, H.: Qualitative Analyse von Geschäftsprozessen – Einsatz von FTA und FMEA. In: ZWF 90 (1995), Heft 7-8, S. 381 – 384, Carl Hanser Verlag, München, 1995.
- [UIEp04] Ulrich, K.T.; Eppinger, S.D.: Product Design and Development. McGraw Hill/Irwin, New York, 2004.
- [VDI95] Zentrum Wertanalyse der VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Projektgestaltung (Hrsg.): Wertanalyse Idee – Methode – System. Springer-VDI-Verlag, Berlin, 1995.
- [VoRi98] Voigt, P.; Riedel, D.: Aktionsfelder des Integrierten Änderungsmanagements – Aktionsfeld 7: Effiziente Abwicklung von Änderungen. In: [LiRe98], S. 216-236, 1998.
- [VWBZ09] Vajna, S.; Weber, C.; Bley, H.; Zeman, K.: CAx für Ingenieure – Eine praxisbezogene Einführung. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2009.
- [WaCK07] Wanke, S.; Conrad, J.; Köhler, C.: Verhaltensbeschreibende Produktkataloge - Ein Anwendungsbeispiel der Solution Patterns des CPM/PDD Ansatzes. In: Meerkamm, H. (Hrsg.): Design for X – Beiträge zum 18. Symposium. Neukirchen, 11. und 12. Oktober 2007, S. 93-102, The Design Society, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Erlangen, 2007.
- [Wall52] Wallace, P.J.: The Technique of Design. Pitman, London, 1952.
- [Webe05] Weber, C.: CPM/PDD – An Extended Theoretical Approach to Modelling Products and Product Development Processes. In: Bley, H.; Jansen, H.; Krause, F.-L.; Shpitalni, M. (Hrsg.): Tagungsband 2. German-Israeli Symposium on Advances in Methods and Systems for Development of Products and Processes, TU Berlin/Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) 07.-08.07.2005., S. 159-179. Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart, 2005.

- [Webe07] Weber, C.: Looking at „DFX” and “Product Maturity” from the Perspective of a New Approach to Modelling Product and Product Development Processes. In: Krause, F.-L. (Hrsg.): The Future of Product Development. Proceedings of the 17th CIRP Design Conference, S. 85-104, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2007.
- [Webe07a] Weber, C.: What Makes Engineering Design Science „Applied“?. In: AEDS 2007 Workshop, 26 – 27 October 2007, Pilsen/Czech Republic, 2007.
- [Webe08] Weber, C.: How to derive application-specific design methodologies. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Hrsg.): Proceedings of the DESIGN 08 – 10th International Design Conference. May 19. -22. 2008, Cavtat, Dubrovnik, Croatia, DS 48, S. 69-80, The Design Society, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2008.
- [WeDe02] Weber, C; Deubel, T.: Von CAx zu PLM – Überlegungen zur Software-Architektur der Zukunft. VDI-Fachtagung "Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Von CAx zu PLM. Stuttgart 18/19.06.02, Tagungsband Abschnitt 5, VDI, 2002.
- [WeDe02a] Weber, C.; Deubel, T.: Ein neuer Ansatz zur Modellierung von Produkten und Produktentwicklungsprozessen. Workshop Produktmodellierung, TU München, 17.10.2002, München, 2002
- [WeDe03] Weber, C.; Deubel, T.: New Theory-Based Concepts for PDM and PLM. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design 2003 (ICED 03), Schriftenreihe "Design Society", DS 31, Paper No. 1468 (CD-ROM), The Design Society & the Royal Institute of Technology, Stockholm, 2003.

- [WeSB04] Weber, C.; Steinbach, M.; Botta, C.: Properties and Characteristics of Product-Service Systems - An Integrated View. In: Lehtonen, T.; Pulkkinen, A.; Riitahuhta, A. (Hrsg.): Proceedings of 5th Conference NordDesign, Nord-Design 2004 – Product Development in Changing Environment. 18.-20-08.2004, Tampere/Finnland. Tampere University of Technology, Product Development Laboratory, 2004
- [WeWD02] Weber, C.; Werner, H.; Deubel, T.: A Different View on PDM and its Future Potentials. In: Proceedings of the 7th International Design Conference DESIGN 2002, S. 101-112, The Design Society & the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb, 2002.
- [WeWD03] Weber, C.; Werner, H.; Deubel, T.: A Different View on PDM and its Future Potentials. In: Journal of Engineering Design 14 (2003) 4, S. 447-464, Taylor and Francis, Oxford, 2003.
- [WeWe00] Weber, C.; Werner, H.: Klassifizierung von Cax-Werkzeugen für die Produktentwicklung auf der Basis eines neuartigen Produkt- und Prozessmodells. In: Meerkamm, H. (Hrsg.): Tagungsband 11. Symposium "Design for X", Schnaittach, 12.-13.10.2000. S. 126-143, Erlangen, 2000.
- [WeWe01] Weber, C.; Werner, H.: Schlußfolgerungen für "Design for X" (DfX) aus der Perspektive eines neuen Ansatzes zur Modellierung von Produkten und Produktentwicklungsprozessen. In: Meerkamm, H. (Hrsg.): Tagungsband 12. Symposium "Design for X", Neukirchen, 11.-12.10.2001. S. 37-48, Erlangen, 2001.
- [Wild06] Wildemann, H.: Änderungsmanagement, Leitfaden zur Einführung eines effizienten Managements technischer Änderungen. TCW Transfer-Centrum, München, 2006.
- [WLCS95] Ward, A.; Liker, J.K.; Cristiano, J.J.; Sobek, D.K. II: The Second Toyota Paradox: How Delaying Decisions Can Make Better Cars Faster. In: Sloan Management Review, 36:3 (1995:Spring), S. 43-61, Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management, Boston, 1995.

- [WoJR92] Womack, J.P.; Jones, D.T.; Roos, D.: Die zweite Revolution in der Autoindustrie – Konsequenzen aus der weltweiten Studie des Massachusetts Institute of Technology. Campus Verlag, Frankfurt/New York, 1992.
- [WSBD04] Weber, C.; Steinbach, M.; Botta, C.; Deubel, T.: Modelling of Product-Service Systems (PSS) - Based on the PDD Approach. In: Marjanovic, D. (Hrsg.): Proceedings of Design 2004. 8th International Design Conference, Dubrovnik/Kroatien, 18.-21.05.2004, S. 547-554, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, 2004.
- [Zenn06] Zenner, C.: Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung. Dissertation, Universität des Saarlandes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 37, Saarbrücken, 2006.
- [ZeSM04] Zentes, J.; Swoboda, B.; Morschett, D.: Internationales Wertschöpfungsmanagement. Verlag Vahlen, München, 2004.
- [Zimm07] Zimmermann, J.: Qualitätsmanagement in der Sach- und Dienstleistungsentstehung – Stand der Technik und Industriestudie. Studienarbeit, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 2007.

Normen, Richtlinien und Empfehlungen

- [199934EG] Europäische Gemeinschaften (Hrsg.): Richtlinie 1999/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10. Mai 1999 zur Änderung der Richtlinie 85/374/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Haftung für fehlerhafte Produkte. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L141/20-21, Brüssel, 04.06.1999.
- [DIN199-4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN 199 Teil 4 Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen - Änderungen. Beuth Verlag, Berlin, 1981.

- [DIN6789-3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN 6789 Teil 3 Dokumentationssystematik – Änderungen von Dokumenten und Gegenständen, Allgemeine Anforderungen. Beuth Verlag, Berlin, 1990.
- [EN1050] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN EN 1050 Leitsätze zur Risikobeurteilung. Beuth-Verlag, Berlin, 1997.
- [FKM03] Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM) (Hrsg.): Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile aus Stahl, Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffen. VDMA-Verlag, Frankfurt am Main, 2003.
- [ISO9000] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 9000 Qualitätsmanagementsystems – Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2005). Beuth Verlag, Berlin, 2005.
- [ISO9001] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN EN ISO-Norm 9001: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2000). Dreisprachige Fassung EN ISO 9001:2000, Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- [ISO9004] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN EN ISO-Norm 9004: Qualitätsmanagementsysteme – Leitfaden zur Leistungsverbesserung (ISO 9004:2000). Dreisprachige Fassung EN ISO 9004:2000, Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- [ISO10007] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN EN ISO-Norm 10007: Qualitätsmanagement – Leitfaden für Konfigurationsmanagement (ISO 10007:1995). Dreisprachige Fassung EN ISO 10007:1996, 1996, in DIN-Taschenbuch 226 Qualitätsmanagement – Verfahren, Beuth Verlag, Berlin, 2004.
- [ISO15226] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN ISO-Norm 15226: Technische Produktdokumentation, Lebenszyklusmodell und Zuordnung von Dokumenten (ISO 15226:1999). In DIN-Taschenbuch 351 Dokumentationswesen, Beuth Verlag, Berlin, 2002.

- [VDA4965] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) (Hrsg.): Engineering Change Management (ECM). Verband der Automobilindustrie, Frankfurt/Main, 2006.
- [VDA4965-T1] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) (Hrsg.): Engineering Change Management (ECM) – Teil 1 Engineering Change Request (ECR). Verband der Automobilindustrie, Frankfurt/Main, 2005.
- [VDI2206] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Beuth-Verlag, Berlin, 2004.
- [VDI2221] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Beuth-Verlag, Berlin, 1993.
- [VDI2222-1] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2222 – Blatt 1: Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Beuth-Verlag, Berlin, 1997.
- [VDI2223] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Beuth-Verlag, Berlin, 2004.
- [VDI2247] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2247: Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung. Entwurf, Beuth-Verlag, Berlin, 1994.

Produkt- und Presseinformationen sowie Internetquellen

- [4ECM] ILC-Prostep: ⁴ECM – Application for Engineering Change Management. Produktbroschüre der ILC-Prostep GmbH, Bexbach, 2008.
- [RWTH04] Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) der RWTH Aachen und Parametric Technology GmbH (PTC): Innovationskapazität mitteleuropäischer Unternehmen liegt brach - Studie von WZL und PTC zeigt: Auch erfolgreiche Unternehmen setzen neue Produktideen ungenügend um. Presse-Information, München, Aachen, 15. März 2004.

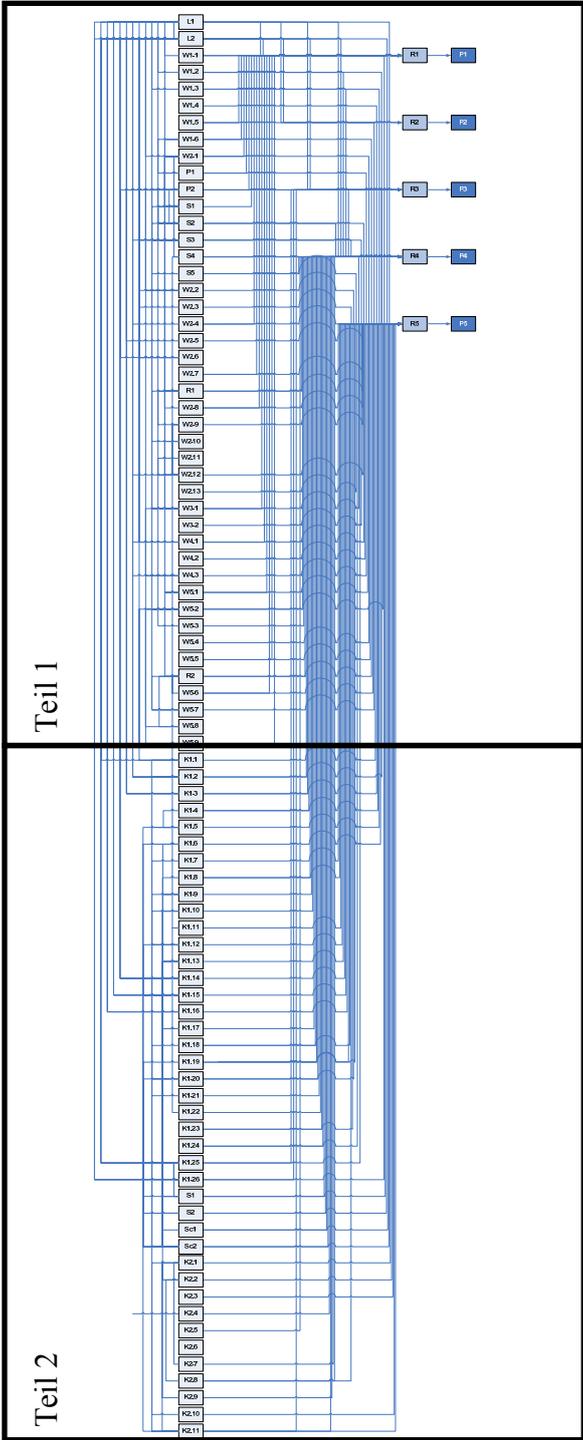
-
- [SFB336] TU München: Homepage des Sonderforschungsbereichs 336 und des Transferbereichs 2: <http://www.mw.tum.de/sfb336/>, online am 01.02.08.
- [SKF04] SKF Gruppe: Hauptkatalog – Das Wälzlager-Handbuch für Studenten. SKF, 2004.
- [WWW1] www.mercateo.de, online am 12.07.08.
- [WWW2] www.metrius.de, online am 12.07.08.

Anhang: Produktmodelle und Analysematrizen

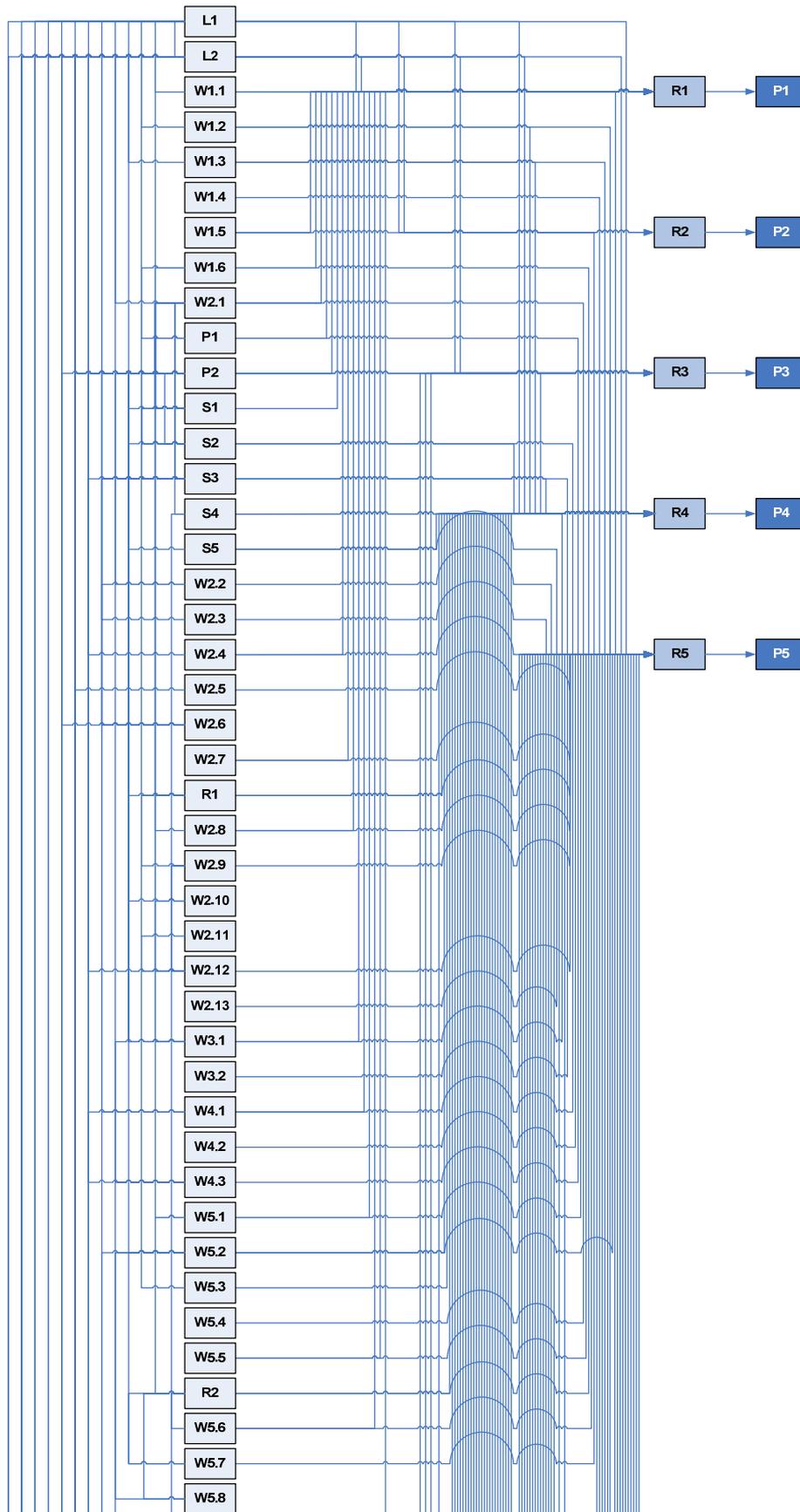
Anhang 1: Überblick über das CPM-Modell der Seilrolle.....	213
Anhang 2: CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 1	214
Anhang 3: CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 2	215
Anhang 4: Überblick über das Matrix-CPM-Modell der Seilrolle	216
Anhang 5: Matrix-CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 1	217
Anhang 6: Matrix-CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 2	218
Anhang 7: Matrix-CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 3	219
Anhang 8: Matrix-CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 4	220
Anhang 9: Überblick der Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA.....	221
Anhang 10: Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA - Teil 1	222
Anhang 11: Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA - Teil 2	223
Anhang 12: Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA - Teil 3	224
Anhang 13: Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA - Teil 4	225
Anhang 14: Crosslink-Matrix Seilrollenkonsole.....	226
Anhang 15: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 1.....	227
Anhang 16: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 1 (Ausschnitt).....	228
Anhang 17: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 2.....	229
Anhang 18: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 2 (Ausschnitt).....	230
Anhang 19: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 3.....	231
Anhang 20: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 3 (Ausschnitt).....	232
Anhang 21: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 1.....	233
Anhang 22: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 1 (Ausschnitt).....	234
Anhang 23: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 2.....	235

Anhang 24: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 2 (Ausschnitt)	236
Anhang 25: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 3	237
Anhang 26: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 3 (Ausschnitt)	238
Anhang 27: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 3	239
Anhang 28: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 3 (Ausschnitt)	240

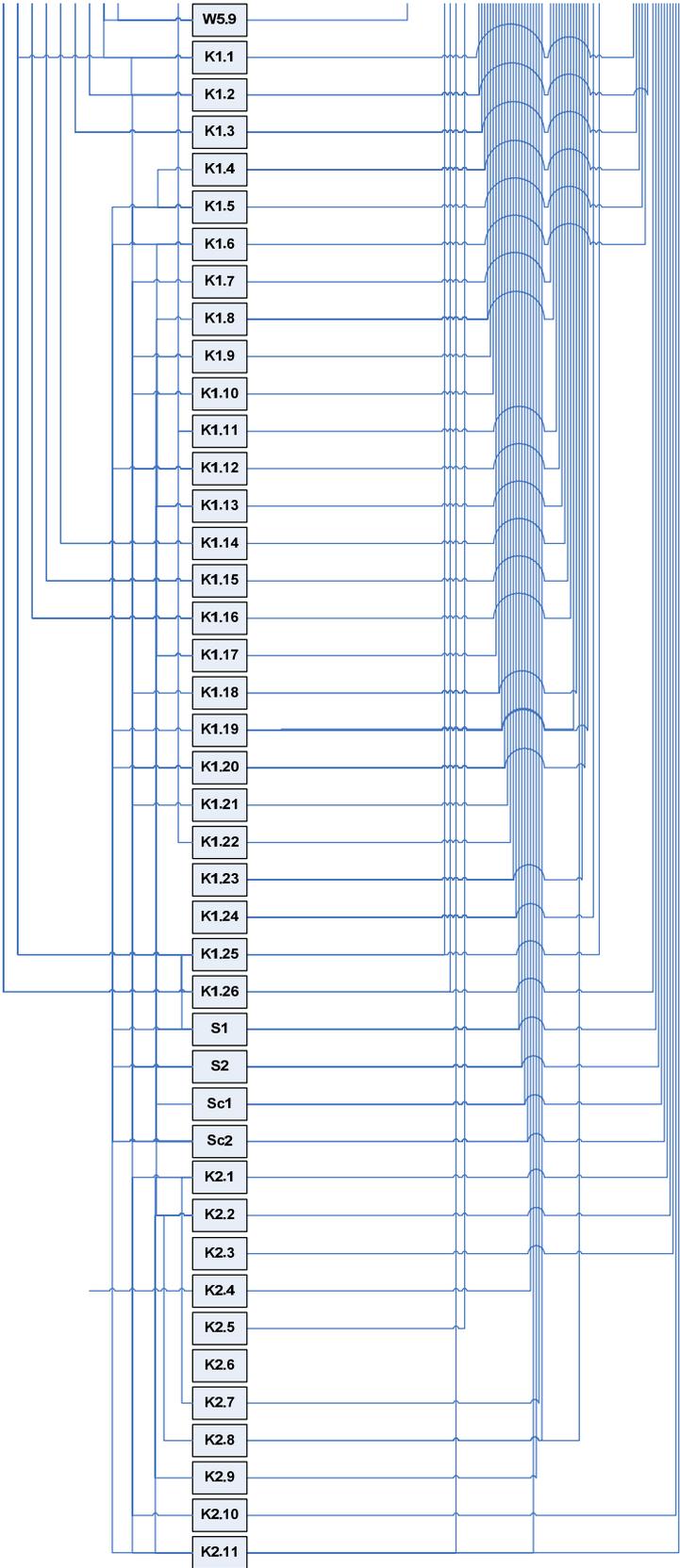
Evaluierung Matrix-CPM/PDD



Anhang 1: Überblick über das CPM-Modell der Seilrolle



Anhang 2: CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 1



Anhang 3: CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 2

Teil 4	Teil 3	Teil 1	<table border="1"> <tr> <th>Werkstoff</th> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table>	Werkstoff																			
Werkstoff	Werkstoff	Werkstoff	Werkstoff	Werkstoff	Werkstoff	Werkstoff	Werkstoff	Werkstoff	Werkstoff														
			<table border="1"> <tr> <td>...</td> </tr> <tr> <td>...</td> </tr> </table>
													
...														
<table border="1"> <tr> <td>...</td> </tr> <tr> <td>...</td> </tr> </table>			
...														
...														

Anhang 4: Überblick über das Matrix-CPM-Modell der Seilrolle

W1.6	W1.5	W1.4	W1.3	W1.2	W1.1	L2	L1	Merkmale	Crosslinks	X	740 MU (rechnerisch)	15.000 / min	Produkt bis auf Konsolengrundplatte demontierbar (80%)	Ist-Deckenbelastung 8.535 N
X			X	X	X	X	X	L1 Loslager SKF 6404 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X
X							X	L2 Festlager SKF 6404 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X
							X	W1.1 Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6		X				X
							X	W1.2 Lg. Wellenabsatz Loslager: 28					X	X
							X	W1.3 Rautiefe Lagersitz: 1,6µm					X	X
								W1.4 Aufzugsfase Loslager: 1 x 45°	X					X
								W1.5 Freistich Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2		X				X
						X	X	W1.6 Wellenmaterial Nr. 1.6773		X				X
							X	W2.1 Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 34		X				X
X								P1 Material Paßfeder: Stahl gehärtet	X	X				X
								P2 Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 8 x 52		X			X	X
X								S1 Material Seilrolle: Stahl		X			X	X
								S2 Außen-Dm. Seilrollenabe: 61					X	X
								S3 Nabenlänge Seilrolle: 61					X	X
								S4 Durchmesser Seilrolle: 180					X	X
								S5 Paßfedernut Seilrollenabe: 3,3 x 10					X	X
								W2.2 Nutlänge Paßfeder: 52						X
								W2.3 Nubbreite Paßfeder: 10 P9						X
								W2.4 Nuttiefe Paßfeder: 5 +0,1	X	X				X
								W2.5 Nutradius Paßfeder: 5						X
								W2.6 Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5						
								W2.7 Freistich Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2		X				X
								R1 Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X				X	X
								W2.8 Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X				X
								W2.9 Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6						X
								W2.10 Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 1: 4,4						
								W2.11 Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61						
								W2.12 Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67						X
								W2.13 Aufzugsfase Seilrolle: 1 x 45°						X
								W3.1 Durchmesser Wellenabsatz 3: 39		X				X
								W3.2 Länge Wellenabsatz 3: 5						X
						X		W4.1 Dm. Wellenabsatz 4: 34		X				X
								W4.2 Länge Wellenabsatz 4: 5						X
								W4.3 Radius Wellenabsatz 4: 2,5						X
						X		W5.1 Dm. Wellenabsatz Festlager: 20 h6		X				X
						X		W5.2 Länge Wellenabsatz Festlager: 28					X	X

Anhang 5: Matrix-CPM-Modell Seilrollenkonsole Teil 1

Evaluierung PD/CIRA

Bezeichnung	1					2					3					4					5					Anzahl	Bemerkung					
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E							
Teil 1																																
Teil 2																																
Teil 3																																
Teil 4																																
L																																
W1																																
W2																																
W3																																
W4																																
W5																																
W6																																
W7																																
W8																																
W9																																
W10																																
W11																																
W12																																
W13																																
W14																																
W15																																
W16																																
W17																																
W18																																
W19																																
W20																																
W21																																
W22																																
W23																																
W24																																
W25																																
W26																																
W27																																
W28																																
W29																																
W30																																
W31																																
W32																																
W33																																
W34																																
W35																																
W36																																
W37																																
W38																																
W39																																
W40																																
W41																																
W42																																
W43																																
W44																																
W45																																
W46																																
W47																																
W48																																
W49																																
W50																																
W51																																
W52																																
W53																																
W54																																
W55																																
W56																																
W57																																
W58																																
W59																																
W60																																
W61																																
W62																																
W63																																
W64																																
W65																																
W66																																
W67																																
W68																																
W69																																
W70																																
W71																																
W72																																
W73																																
W74																																
W75																																
W76																																
W77																																
W78																																
W79																																
W80																																
W81																																
W82																																
W83																																
W84																																
W85																																
W86																																
W87																																
W88																																
W89																																
W90																																
W91																																
W92																																
W93																																
W94																																
W95																																
W96																																
W97																																
W98																																
W99																																
W100																																

Anhang 9: Überblick der Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA

Bedeutung	5	3	1	2	5		
Toleranz	-5 / +10%	+50%	-5%	-5%	+0%	+/-10%	+5%
Priorität	A	C	C	B	B		
Soll-Eigenschaften	Zuglast 650 kg bei Bodenmontage des Motors	Lebensdauer > 500 Mio. Umdrehungen (MU)	Einsatzdrehzahl 5000 / min	zu 100% zerstörungsfreie Demontierbarkeit der Austausch- teile	maximale Flansch- flächenlast 9.500 N	Fehlerfreie Herstell- barkeit der Geometrie inkl. Toleranz (Cpk = 1,33)	Fehlerfreie Montier- barkeit des Produktes 100% (konstruktiv bedingter Ausschuss < 20%)
Delta P absolut	12 kg	+ 240 MU	+10.000 / min	0	-965 N	-0,11	-5%
Delta P relativ	+2%	+48%	+200%	0%	-11%	-10%	-5%
Delta P	OK	IT	IT	OK	OK	IT	OK
Ist-Eigenschaften	Zuglast 662 kg	740 MU (rechner- isch)	Mögliche Einsatz- drehzahl 15.000 / min	Produkt bis auf Konsolen- grundplatte demontierbar	Ist-Flansch- flächenlast 8.535 N	Prozess- fähigkeits- index Cpk =1,2	Konstruktiv bedingter Ausschuss 15%
Externe Bedingungen/ X-Systeme	FKM- Richtlinie, Sicherheit 1,5, Seilablenk- ung 85°, g = 10 N/kg, Flächen- pressung Passfeder 530 MPa, SKF- Vorgaben	SKF- Vorgaben	SKF- Angaben	Standard- werkzeuge	mind. Sicherheit von 800 N	X-System Fertigung	X-System Montage
Relationen	Festigkeits- rechnung, Welle, Lager- rechnung, FEM	Lebens- dauerrech- nung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugänglich- keit der Köpfe	Gewicht Produkt + Maximale Hublast	Fertigungsge- rechte Gestaltung	DfA, Fasen, Fehlinhandlung- sichere Montage (Poka Yoke), Baugruppen- bildung etc.
Merkmale	Crosslinks	X	X	X	X	X	X
Loslager SKF 6404 (C_0 = 15 kN)	X	X	X	X	X		X
Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6		X			X	X	X
Lg. Wellenabsatz Loslager: 28		X			X	X	X
Rautiefe Lagersitz: 1,6µm		X			X	X	X
Aufzugsfase Loslager: 1 x 45°					X	X	X
Freistich Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2		X			X	X	X
Wellenmaterial Nr. 1.6773		X			X	X	
Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 34	X	X			X	X	X
Material (Keine Vorschläge): Stahl gehärtet		X			X		X
Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 8 x 52		X			X		X

Anhang 10: Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA - Teil 1

Material Seilrolle: Stahl		X			X	X		X
Außen-Dm. Seilrollenabe: 61		X			X	X		X
Nabenlänge Seilrolle: 61		X			X	X		X
Innen-Dm. Nabe: 34		X				X		X
(Keine Vorschläge) Seilrollenabe: 3,3 x 10		X			X	X	X	X
Nutlänge Paßfeder: 52						X	X	
Nutbreite Paßfeder: 10 P9						X	X	X
Nuttiefe Paßfeder: 5 +0,1		X				X	X	X
Nutradius Paßfeder: 5						X	X	
Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5							X	X
Freistich Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2		X				X	X	X
Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X				X	X		X
Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X				X	X	
Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6		X				X	X	
Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61		X					X	X
Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67		X				X	X	X
Aufzugsfase Seilrolle: 1 x 45°						X	X	X
Innendurchmesser Lagerdeckel: 72		X				X	X	X
Außendurchmesser Lagerdeckel: 80		X				X	X	X
Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 60		X			X	X	X	
Nutbreite Lagerdeckel: 19		X			X	X	X	X
Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 60		X				X	X	X
Innendurchmesser Lagerbock: 72		X				X	X	X
Nutbreite Lagerbock: 19		X				X	X	X
Material Lagerböcke: Stahl		X		X		X	X	
Material Lagerdeckel: Stahl		X		X		X	X	

Anhang 11: Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA - Teil 2

W2.3	W2.2	S5	S4	S3	S2	S1	P2	P1	W2.1	W1.6	W1.5	W1.4	W1.3	W1.2	W1.1	L	
									x	0			0	+x -0	x		L
																!	W1.1
																+0 -!	W1.2
																!	W1.3
																	W1.4
																!	W1.5
						x		x								x	W1.6
			x				x									(!)	W2.1
						x				x							P1
x	x	x		x	x				!								P2
				x	x			x		x							S1
									+x -(!)								S2
							+0 -(!)	+x -(!)									S3
		x		x	x			x									S4
							(!)										S5
							(!)										W2.2
							(!)										W2.3
							(!)										W2.4
							(!)										W2.5
	(!) -0			(!) -0													W2.6
																	W2.7
									!								R1
																	W2.8
																	W2.9
																	W2.11
																	W2.12
																	W2.13
																!	K1.1
																	K1.2
																(!)	K1.3
																!	K1.4
																(!)	K1.14
																!	K1.15
																!	K1.16
																x	K1.25
																x	K1.26

Anhang 12: Ausgangssituation zur Evaluierung von PD/CIRA - Teil 3

		Seilrollenkonsolen			
		Dm. 150	Dm. 180	Dm. 200	Dm. 250
Soll-Eigenschaften	Zuglast 650 kg bei Bodenmontage des Motors		X	X	X
	Lebensdauer > 500 Mio. Umdrehungen (MU)	X	X	X	X
	Einsatzdrehzahl 5000 / min	X	X	X	
	zu 100% zerstörungsfreie Demontierbarkeit der Austauschteile	X	X	X	X
	maximale Flanschflächenlast 9.500 N	X	X	X	
	Fehlerfreie Herstellbarkeit der Geometrie inkl. Toleranz (Cpk = 1,33)	X	X	X	X
	Fehlerfreie Montierbarkeit des Produktes 100% (konstruktiv bedingter Ausschuss < 20%)	X	X	X	X
Merkmale	Wellenabsatz Dm. 20 h6 x 28 Loslager	X	X	X	X
	Wellenabsatz Seilrolle Dm. 34	X	X	X	X
	Sicherungsring Seilrolle DIN 472 - 34 x 1,5	X	X	X	X
	Lagerdeckel und Konsolennut	X	X	X	X

Anhang 14: Crosslink-Matrix Seilrollenkonsole

Anzahl		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Anzahl</th> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> <th colspan="2">3</th> <th colspan="2">4</th> <th colspan="2">5</th> <th colspan="2">6</th> <th colspan="2">7</th> <th colspan="2">8</th> <th colspan="2">9</th> <th colspan="2">10</th> <th colspan="2">11</th> <th colspan="2">12</th> <th colspan="2">13</th> <th colspan="2">14</th> <th colspan="2">15</th> <th colspan="2">16</th> <th colspan="2">17</th> <th colspan="2">18</th> <th colspan="2">19</th> <th colspan="2">20</th> <th colspan="2">21</th> <th colspan="2">22</th> <th colspan="2">23</th> <th colspan="2">24</th> <th colspan="2">25</th> <th colspan="2">26</th> <th colspan="2">27</th> <th colspan="2">28</th> <th colspan="2">29</th> <th colspan="2">30</th> <th colspan="2">31</th> <th colspan="2">32</th> <th colspan="2">33</th> <th colspan="2">34</th> <th colspan="2">35</th> <th colspan="2">36</th> <th colspan="2">37</th> <th colspan="2">38</th> <th colspan="2">39</th> <th colspan="2">40</th> <th colspan="2">41</th> <th colspan="2">42</th> <th colspan="2">43</th> <th colspan="2">44</th> <th colspan="2">45</th> <th colspan="2">46</th> <th colspan="2">47</th> <th colspan="2">48</th> <th colspan="2">49</th> <th colspan="2">50</th> <th colspan="2">51</th> <th colspan="2">52</th> <th colspan="2">53</th> <th colspan="2">54</th> <th colspan="2">55</th> <th colspan="2">56</th> <th colspan="2">57</th> <th colspan="2">58</th> <th colspan="2">59</th> <th colspan="2">60</th> <th colspan="2">61</th> <th colspan="2">62</th> <th colspan="2">63</th> <th colspan="2">64</th> <th colspan="2">65</th> <th colspan="2">66</th> <th colspan="2">67</th> <th colspan="2">68</th> <th colspan="2">69</th> <th colspan="2">70</th> <th colspan="2">71</th> <th colspan="2">72</th> <th colspan="2">73</th> <th colspan="2">74</th> <th colspan="2">75</th> <th colspan="2">76</th> <th colspan="2">77</th> <th colspan="2">78</th> <th colspan="2">79</th> <th colspan="2">80</th> <th colspan="2">81</th> <th colspan="2">82</th> <th colspan="2">83</th> <th colspan="2">84</th> <th colspan="2">85</th> <th colspan="2">86</th> <th colspan="2">87</th> <th colspan="2">88</th> <th colspan="2">89</th> <th colspan="2">90</th> <th colspan="2">91</th> <th colspan="2">92</th> <th colspan="2">93</th> <th colspan="2">94</th> <th colspan="2">95</th> <th colspan="2">96</th> <th colspan="2">97</th> <th colspan="2">98</th> <th colspan="2">99</th> <th colspan="2">100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="100"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Anzahl</th> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> <th colspan="2">3</th> <th colspan="2">4</th> <th colspan="2">5</th> <th colspan="2">6</th> <th colspan="2">7</th> <th colspan="2">8</th> <th colspan="2">9</th> <th colspan="2">10</th> <th colspan="2">11</th> <th colspan="2">12</th> <th colspan="2">13</th> <th colspan="2">14</th> <th colspan="2">15</th> <th colspan="2">16</th> <th colspan="2">17</th> <th colspan="2">18</th> <th colspan="2">19</th> <th colspan="2">20</th> <th colspan="2">21</th> <th colspan="2">22</th> <th colspan="2">23</th> <th colspan="2">24</th> <th colspan="2">25</th> <th colspan="2">26</th> <th colspan="2">27</th> <th colspan="2">28</th> <th colspan="2">29</th> <th colspan="2">30</th> <th colspan="2">31</th> <th colspan="2">32</th> <th colspan="2">33</th> <th colspan="2">34</th> <th colspan="2">35</th> <th colspan="2">36</th> <th colspan="2">37</th> <th colspan="2">38</th> <th colspan="2">39</th> <th colspan="2">40</th> <th colspan="2">41</th> <th colspan="2">42</th> <th colspan="2">43</th> <th colspan="2">44</th> <th colspan="2">45</th> <th colspan="2">46</th> <th colspan="2">47</th> <th colspan="2">48</th> <th colspan="2">49</th> <th colspan="2">50</th> <th colspan="2">51</th> <th colspan="2">52</th> <th colspan="2">53</th> <th colspan="2">54</th> <th colspan="2">55</th> <th colspan="2">56</th> <th colspan="2">57</th> <th colspan="2">58</th> <th colspan="2">59</th> <th colspan="2">60</th> <th colspan="2">61</th> <th colspan="2">62</th> <th colspan="2">63</th> <th colspan="2">64</th> <th colspan="2">65</th> <th colspan="2">66</th> <th colspan="2">67</th> <th colspan="2">68</th> <th colspan="2">69</th> <th colspan="2">70</th> <th colspan="2">71</th> <th colspan="2">72</th> <th colspan="2">73</th> <th colspan="2">74</th> <th colspan="2">75</th> <th colspan="2">76</th> <th colspan="2">77</th> <th colspan="2">78</th> <th colspan="2">79</th> <th colspan="2">80</th> <th colspan="2">81</th> <th colspan="2">82</th> <th colspan="2">83</th> <th colspan="2">84</th> <th colspan="2">85</th> <th colspan="2">86</th> <th colspan="2">87</th> <th colspan="2">88</th> <th colspan="2">89</th> <th colspan="2">90</th> <th colspan="2">91</th> <th colspan="2">92</th> <th colspan="2">93</th> <th colspan="2">94</th> <th colspan="2">95</th> <th colspan="2">96</th> <th colspan="2">97</th> <th colspan="2">98</th> <th colspan="2">99</th> <th colspan="2">100</th> </tr> </thead></table></td></tr></tbody> </table>																																																																																																				Anzahl		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Anzahl</th> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> <th colspan="2">3</th> <th colspan="2">4</th> <th colspan="2">5</th> <th colspan="2">6</th> <th colspan="2">7</th> <th colspan="2">8</th> <th colspan="2">9</th> <th colspan="2">10</th> <th colspan="2">11</th> <th colspan="2">12</th> <th colspan="2">13</th> <th colspan="2">14</th> <th colspan="2">15</th> <th colspan="2">16</th> <th colspan="2">17</th> <th colspan="2">18</th> <th colspan="2">19</th> <th colspan="2">20</th> <th colspan="2">21</th> <th colspan="2">22</th> <th colspan="2">23</th> <th colspan="2">24</th> <th colspan="2">25</th> <th colspan="2">26</th> <th colspan="2">27</th> <th colspan="2">28</th> <th colspan="2">29</th> <th colspan="2">30</th> <th colspan="2">31</th> <th colspan="2">32</th> <th colspan="2">33</th> <th colspan="2">34</th> <th colspan="2">35</th> <th colspan="2">36</th> <th colspan="2">37</th> <th colspan="2">38</th> <th colspan="2">39</th> <th colspan="2">40</th> <th colspan="2">41</th> <th colspan="2">42</th> <th colspan="2">43</th> <th colspan="2">44</th> <th colspan="2">45</th> <th colspan="2">46</th> <th colspan="2">47</th> <th colspan="2">48</th> <th colspan="2">49</th> <th colspan="2">50</th> <th colspan="2">51</th> <th colspan="2">52</th> <th colspan="2">53</th> <th colspan="2">54</th> <th colspan="2">55</th> <th colspan="2">56</th> <th colspan="2">57</th> <th colspan="2">58</th> <th colspan="2">59</th> <th colspan="2">60</th> <th colspan="2">61</th> <th colspan="2">62</th> <th colspan="2">63</th> <th colspan="2">64</th> <th colspan="2">65</th> <th colspan="2">66</th> <th colspan="2">67</th> <th colspan="2">68</th> <th colspan="2">69</th> <th colspan="2">70</th> <th colspan="2">71</th> <th colspan="2">72</th> <th colspan="2">73</th> <th colspan="2">74</th> <th colspan="2">75</th> <th colspan="2">76</th> <th colspan="2">77</th> <th colspan="2">78</th> <th colspan="2">79</th> <th colspan="2">80</th> <th colspan="2">81</th> <th colspan="2">82</th> <th colspan="2">83</th> <th colspan="2">84</th> <th colspan="2">85</th> <th colspan="2">86</th> <th colspan="2">87</th> <th colspan="2">88</th> <th colspan="2">89</th> <th colspan="2">90</th> <th colspan="2">91</th> <th colspan="2">92</th> <th colspan="2">93</th> <th colspan="2">94</th> <th colspan="2">95</th> <th colspan="2">96</th> <th colspan="2">97</th> <th colspan="2">98</th> <th colspan="2">99</th> <th colspan="2">100</th> </tr> </thead></table>																																																																																																				Anzahl		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99	
Anzahl		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Anzahl</th> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> <th colspan="2">3</th> <th colspan="2">4</th> <th colspan="2">5</th> <th colspan="2">6</th> <th colspan="2">7</th> <th colspan="2">8</th> <th colspan="2">9</th> <th colspan="2">10</th> <th colspan="2">11</th> <th colspan="2">12</th> <th colspan="2">13</th> <th colspan="2">14</th> <th colspan="2">15</th> <th colspan="2">16</th> <th colspan="2">17</th> <th colspan="2">18</th> <th colspan="2">19</th> <th colspan="2">20</th> <th colspan="2">21</th> <th colspan="2">22</th> <th colspan="2">23</th> <th colspan="2">24</th> <th colspan="2">25</th> <th colspan="2">26</th> <th colspan="2">27</th> <th colspan="2">28</th> <th colspan="2">29</th> <th colspan="2">30</th> <th colspan="2">31</th> <th colspan="2">32</th> <th colspan="2">33</th> <th colspan="2">34</th> <th colspan="2">35</th> <th colspan="2">36</th> <th colspan="2">37</th> <th colspan="2">38</th> <th colspan="2">39</th> <th colspan="2">40</th> <th colspan="2">41</th> <th colspan="2">42</th> <th colspan="2">43</th> <th colspan="2">44</th> <th colspan="2">45</th> <th colspan="2">46</th> <th colspan="2">47</th> <th colspan="2">48</th> <th colspan="2">49</th> <th colspan="2">50</th> <th colspan="2">51</th> <th colspan="2">52</th> <th colspan="2">53</th> <th colspan="2">54</th> <th colspan="2">55</th> <th colspan="2">56</th> <th colspan="2">57</th> <th colspan="2">58</th> <th colspan="2">59</th> <th colspan="2">60</th> <th colspan="2">61</th> <th colspan="2">62</th> <th colspan="2">63</th> <th colspan="2">64</th> <th colspan="2">65</th> <th colspan="2">66</th> <th colspan="2">67</th> <th colspan="2">68</th> <th colspan="2">69</th> <th colspan="2">70</th> <th colspan="2">71</th> <th colspan="2">72</th> <th colspan="2">73</th> <th colspan="2">74</th> <th colspan="2">75</th> <th colspan="2">76</th> <th colspan="2">77</th> <th colspan="2">78</th> <th colspan="2">79</th> <th colspan="2">80</th> <th colspan="2">81</th> <th colspan="2">82</th> <th colspan="2">83</th> <th colspan="2">84</th> <th colspan="2">85</th> <th colspan="2">86</th> <th colspan="2">87</th> <th colspan="2">88</th> <th colspan="2">89</th> <th colspan="2">90</th> <th colspan="2">91</th> <th colspan="2">92</th> <th colspan="2">93</th> <th colspan="2">94</th> <th colspan="2">95</th> <th colspan="2">96</th> <th colspan="2">97</th> <th colspan="2">98</th> <th colspan="2">99</th> <th colspan="2">100</th> </tr> </thead></table>																																																																																																				Anzahl		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Anzahl		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

Anhang 15: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 1

Bedienung	5	3	1	2	5				
Toleranz	-5/+10%	+50%	-5%	-8%	+0%	+/-10%	+5%		
Priorität	A	C	C	B	B				
Auslöser Soll-Eigenschaft		Lebensdauer zwischen 50 und 70 MU (= 50 MU +42%)							
Soll-Eigenschaften	Zuglast 650 kg bei Bodenmontage des Motors	Lebensdauer > 500 MU (Schleifungser (MU))	Einsatzdrehzahl 5000 / min	zu 100% zerstörungsfreie Demontierbarkeit der Austauschteile	maximale Flanschbelastung 8.500 N	Fehlerfreie Herstellbarkeit der Spinnerei (inkl. Toleranz Cpk = 1,33)	Fehlerfreie Montierbarkeit des Produktes (inkl. Toleranz Cpk = 1,33) konstruktiv bedingter Ausschuss < 50%		
Delta P absolut	12 kg	+ 678 MU	+110000 / min	0	-855 N	-0,11	-5%		
Delta P relativ	+2%	+1067%	+280%	0%	-11%	-10%	-5%		
Delta P	OK	AT	IT	OK	OK	IT	OK		
Ist-Eigenschaften	Zuglast 673 kg (rechnerisch)	Lebensdauer > 63,25 MU	Einsatzdrehzahl 20.000 / min	Produkt bis auf Konsolengrundplatte demontierbar	maximale Flanschbelastung 8.535 N	Prozessfähigkeitsindex Cpk = 1,2	Konstruktiv bedingter Ausschuss 15%		
Externe Bedingungen X-Systeme	FKM-Richtlinie, Sicherheit 1,5, Seilablenkung 65°, g = 10 N/kg, Flächenpressung Passfedern 530 MPa, SKF-Vorgaben	SKF-Vorgaben	SKF-Katalog	Standardwerkzeuge	mindest Sicherheit von 800 N	X-System Fertigung	X-System Montage		
Relationen	Festigkeitsrechnung Welle, Lagerrechnung, FEM	Lebensdauerrechnung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugänglichkeit der Köpfe	Gewicht Produkt + Maximale Hublast	Fertigungsrichte Gestaltung	DIA, Fasen, Frähhändlung sichere Montage (z.B. Yoke) Blaugruppenbildung etc.		
Lösungsmöglichkeiten (***) / Auswirkungen									
Merkmale	Crosslinks	X	X	X	X	X	X	Primär	Sekundär
Loslager SKF 6204 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X	X	X	Loslager SKF 6204 (C ₀ = 6,55 kN) *
1. Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6		X		X	X	X	X	J.	(nicht betrachtet, da Lösungsmöglichkeit)
2. Lg. Wellenabsatz Loslager: 28		X		X	X	X	X	J.	
3. Rauliefe Lagerstz: 1,6µm		X		X	X	X	X	J.	
4. Aufzugsfase Loslager: 1 x 45°		X		X	X	X	X		
5. Freisch Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2		X		X	X	X	X		
6. Wellenmaterial Nr. 1.6773		X		X	X	X	X		
7. Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 34	X	X		X	X	X	X	d _{s_min} 25,6 > Dm. Wellenabsatz: 30	
Material (Keine Vorschläge): Stahl gehärtet		X		X	X	X	X		
Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 8 x 52		X		X	X	X	X		J.
Material Seilrolle: Stahl		X		X	X	X	X		J.
Außen-Dm. Seilrollennabe: 61		X		X	X	X	X		Außen-Dm. Seilrolle: 54
Nabenlänge Seilrolle: 61		X		X	X	X	X		Nabenlänge Seilrolle: 54
Innen-Dm. Nabe: 34		X		X	X	X	X		Innen-Dm. Nabe: 30
Passfedernut Seilrollennabe: 3,3 x 10		X		X	X	X	X		
1. Nutlänge Paßfeder: 52					X	X	X		
2. Nutbreite Paßfeder: 10 PD					X	X	X		
3. Nuttiefe Paßfeder: 5 +0,1		X			X	X	X		
4. Nutradius Paßfeder: 5					X	X	X		
5. Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5						X	X		
6. Freisch Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2		X			X	X	X		
7. Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X			X	X	X	X		Sicherungsringring Seilrolle: DIN 472 - 30 x 1,5
8. Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X			X	X	X		Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle 28,6
9. Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,8		X			X	X	X		J.
10. Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61		X			X	X	X		Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 54
11. Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67		X			X	X	X		J.
12. Aufzugsfase Seilrolle: 1 x 45°					X	X	X		
13. Innendurchmesser Lagerdeckel: 72		X			X	X	X		Innendurchmesser Lagerdeckel: 47
14. Außendurchmesser Lagerdeckel: 80		X			X	X	X		Außen-Dm. Lagerdeckel: 65
15. Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 60		X			X	X	X		Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 40
16. Nutbreite Lagerdeckel: 19		X			X	X	X		Nutbreite Lagerdeckel: 14
17. Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 60		X			X	X	X		Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 40
18. Innendurchmesser Lagerbock: 72		X			X	X	X		Innendurchmesser Lagerbock: 47
19. Nutbreite Lagerbock: 19		X			X	X	X		Nutbreite Lagerbock: 14
20. Material Lagerbocke: Stahl		X		X	X	X	X		
21. Material Lagerdeckel: Stahl		X		X	X	X	X		
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.		
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.		
Primäre Auswirkungen	Zuglast 673 kg	Lebensdauer 63,25 MU	Grenzdrehzahl 20.000 / min	J.	8k-Deckenbelastung 8.642 N	etwas besser	J.		
Delta P absolut	+23 kg	+13,25 MU	+15.000/min		-855 N				
Delta P relativ	+3,5%	+27%	+300%		-9%				
Delta P primär	OK(+)	OK	IT (-)		IT (-)	IT(+)			
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.		
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.		
Sekundäre Auswirkungen	J.	J.	J.	J.	8k-Deckenbelastung 8.688 N	J.	Verschraubung besser ausbaufähig		
Delta P absolut					-1014,35 N				
Delta P relativ					-12%				
Delta P sekundär					IT(+)		OK		

Anhang 16: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 1 (Ausschnitt)

Bedeutung	5	3	1	2	5			
Toleranz	-5/+10%	+50%	-5%	-5%	+0%	+/-10%	+5%	
Priorität	A	C	C	B	B			
Auslöser Soll-Eigenschaft		Lebensdauer zwischen 50 und 70 MU (= 50 MU +40%)						
Soll-Eigenschaften	Zuglast 650 kg bei Bodenmontage des Motors	Lebensdauer > 500 Mio. Umdrehungen (MU)	Einsetzdrehzahl 5000 / min	zu 100% zerstörungsfreie Demontierbarkeit der Austauschseite	maximale Flanschflachenlast 8.533 N	Fehlerfreie Herstellbarkeit der Geometrie inkl. Toleranz (Cpk = 1,33)	Fehlerfreie Montierbarkeit des Produktes 100% (konstruktiv bedingter Ausschuss < 20%)	
Delta P absolut	12 kg	+ 878 MU	+110.000 / min	0	-985 N	-0,11	-5%	
Delta P relativ	+2%	+1057%	+239%	0%	-11%	-10%	-5%	
Delta P	OK	AT	IT	OK	OK	IT	OK	
ist-Eigenschaften	1,5 kg (rechnerisch)		Mögliche Einsetzdrehzahl 15.000 / min	Produkt bis auf Konsolen Grundplatte demontierbar	mindest Flachenlast 8.533 N	Prozessfähigkeitsindex Cpk = 1,2	Konstruktiv bedingter Ausschuss 15%	
Externe Bedingungen X-Systeme	FKM-Richtlinie, Sicherheit 1,5, Seilablenkung 65°, g = 10 N/kg, Flächenpressung Passfeder 530 MPa, SKF-Vorgaben	SKF-Vorgaben	SKF-Angaben	Standardwerkzeuge	mindest Sicherheit von 800 N	X-System Fertigung	X-System Montage	
Relationen	Festigkeitsrechnung Welle, Lagerrechnung, FEM	Lebensdauerrechnung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugfähigkeit der Klüppe	Gewicht Produkt + Maximale Hublast	Fertigungs- / Montagegestaltung	DFA, Fasen, Feinhandlung sichere Montage (Poka Yoke), Baugruppenbildung etc.	
Merkmale	Crosslinks	X	X	X	X	X	X	Lösungsmöglichkeiten (***) / Auswirkungen
Loslager SKF 6404 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X	X	Primär Loslager SKF 6306 (C ₀ = 16 kN)* Sekundär (nicht betrachtet, da Lösungsmöglichkeit)
Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6		X			X	X	X	Dm. Wellenabsatz Loslager: 30 h6
Lg. Wellenabsatz Loslager: 28		X			X	X	X	J.
Rauliefe Lagerstz: 1,6µm		X			X	X	X	J.
Aufzugsfase Lagerstz: 1 x 45°		X			X	X	X	J.
Freisch Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2		X			X	X	X	J.
Wellenmaterial Nr.: 1.6773		X			X	X	X	J. Wellenmaterial Nr.: 1.4000 **
Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 34	X	X			X	X	X	Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 38
Material (Keine Vorschläge): Stahl gehärtet		X			X	X	X	J.
Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 8 x 52		X			X	X	X	J.
Material Seilrolle: Stahl		X			X	X	X	J.
Außen-Dm. Seilrollenabe: 61		X			X	X	X	J.
Nabenlänge Seilrolle: 61		X			X	X	X	J.
Innen-Dm. Nabe: 34		X			X	X	X	J. Innen-Dm. Nabe: 38
Paßfedernut Seilrollenabe: 3,3 x 10		X			X	X	X	J.
Nuttlänge Paßfeder: 52					X	X	X	J.
Nutbreite Paßfeder: 10 PD					X	X	X	J.
Nuttliefe Paßfeder: 5 +0,1		X			X	X	X	J.
Nutradius Paßfeder: 5					X	X	X	J.
Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5					X	X	X	J.
Freisch Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2		X			X	X	X	J.
Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X				X	X	X	J.
Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X			X	X	X	J.
Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6		X			X	X	X	J.
Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61		X			X	X	X	J.
Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67		X			X	X	X	J.
Aufzugsfase Seilrolle: 1 x 45°					X	X	X	J.
Innendurchmesser Lagerdeckel: 72		X			X	X	X	J.
Außendurchmesser Lagerdeckel: 80		X			X	X	X	J.
Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 60		X			X	X	X	J.
Nutbreite Lagerdeckel: 19		X			X	X	X	J.
Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 60		X			X	X	X	J.
Innendurchmesser Lagerbock: 72		X			X	X	X	J.
Nutbreite Lagerbock: 19		X			X	X	X	J.
Material Lagerbocke: Stahl		X			X	X	X	J.
Material Lagerdeckel: Stahl		X			X	X	X	J.
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
Primäre Auswirkungen	ertragbare Zuglast 2050 kg	Lebensdauer 638 MU	Einsetzdrehzahl 13.000 / min	J.	ist-Flanschflachenlast 8.533 N	unverändert	unverändert	
Delta P absolut	+1.400 kg	+568 Mus	+8.000/min		-987 N			
Delta P relativ	+315%	+900%	+160%		-11%			
Delta P primär	AT(-)	AT(+)	IT(+)		OK			
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
Sekundäre Auswirkungen	ertragbare Zuglast 1100 kg	J.	J.	J.	J.	Cpk = 1,33%		
Delta P absolut	+450 kg				0			
Delta P relativ	+69%				0%			
Delta P sekundär	AT(+)				OK(+++)			

Anhang 18: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 2 (Ausschnitt)

Befehung	5	3	1	2	5	-10%	+6%	
Toleranz	-5/+10%	+50%	-5%	-5%	+0%	-10%	+6%	
Priorität	A	C	C	B	B			
Auslöser Soft-Eigenschaft		Lebensdauer zwischen 50 und 70 MU (+50 MU +42%)						
Soft-Eigenschaften	Zuglast 650 kg bei Bodenmontage des Motors	Lebensdauer > 500 Mio. Umdrehungen (MU)	Einsatzdrehzahl 5000 / min	zu 100% zerstörungsfreie Demontierbarkeit der Austauschseite	maximale Flansch-Richtwert 8.550 N	Fehlerfreie Herstellbarkeit der Geometrie inkl. Toleranz (Cpk = 1,33)	Fehlerfreie Montierbarkeit des Produktes 100% (Bündelaktiv bedingter Ausschuss < 20%)	
Delta P absolut	12 kg	+ 678 MU	+110000 / min	0	-865 N	-0,11	-5%	
Delta P relativ	+2%	+1067%	+280%	0%	-11%	-10%	-5%	
Delta P	OK	AT	IT	OK	OK	IT	OK	
Int-Eigenschaften	Zuglast 650 kg (rechnerisch)	Lebensdauer (rechnerisch)	Mögliche Einsatzdrehzahl 15.000 / min	Produkt bis auf Konsolengrundplatte demontierbar	Flansch-Richtwert 8.550 N	Prozessfähigkeitsindex Cpk = 1,2	Konstruktiv bedingter Ausschuss 15%	
Externes Bedingungs-X-Systeme	FKM-Richtlinie, Sicherheit 1,5, Setlablenkung 65°, g = 10, Kkg, Flächenpressung Passfeder 530 MPa, SKF-Vorgaben	SKF-Vorgaben	SKF-Angaben	Standardwerkzeuge	mind. Sicherheit von 800 N	X-System Fertigung	X-System Montage	
Relationen	Festigkeitsrechnung Welle, Lagerrechnung, FKM	Lebensdauerrechnung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugänglichkeit der Klüppe	Gewicht reiche Maximale Hublast	Fertigungsgeometrische Gestaltung	DIA, Fasen, Frähhändlung, sichere Montage (Poka Yoke), Baugruppenbildung etc.	
Lösungsmöglichkeiten (**) / Auswirkungen								
Merkmale	Crosslinks						Primär	Sekundär
Loslager SKF 6404 (C_0 = 15 kN)	X	X	X	X	X	X	X	Loslager SKF 6205 (C_0 = 7,8 kN)* (nicht betrachtet, da Lösungsmöglichkeit)
1. Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6		X	X	X	X	X	X	Dm. Wellenabsatz Loslager: 25 h6
1. Lg. Wellenabsatz Loslager: 28		X		X	X	X	X	J.
1. Rauliefe Lagerstz: 1,6µm		X		X	X	X	X	
1. Aufzugfase Loslager: 1 x 45°		X		X	X	X	X	
1. Freistich Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0.2		X		X	X	X	X	
1. Wellenmaterial Nr.: 1.6773		X		X	X	X	X	Wellenmaterial Nr.: 1.4000 **
Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 34	X	X		X	X	X	X	J.
Material (Keine Vorschläge): Stahl gehärtet		X		X	X	X	X	J.
Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 8 x 52		X		X	X	X	X	J.
Material Seilrolle: Stahl		X		X	X	X	X	J.
Außen-Dm. Seilrollemaße: 61		X		X	X	X	X	
Nabenlänge Seilrolle: 61		X		X	X	X	X	
Innen-Dm. Nabe: 34		X		X	X	X	X	
Paßfedernut Seilrollemaße: 3,3 x 10		X		X	X	X	X	
1. Nutlänge Paßfeder: 52		X		X	X	X	X	
1. Nutbreite Paßfeder: 10 P9		X		X	X	X	X	
1. Nuttiefe Paßfeder: 5 +0,1		X		X	X	X	X	
1. Nutradius Paßfeder: 5		X		X	X	X	X	
1. Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5		X		X	X	X	X	
* Freistich Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0.2		X		X	X	X	X	
Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X			X	X	X	X	J.
1. Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X		X	X	X	X	
1. Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6		X		X	X	X	X	
1. Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61		X		X	X	X	X	
2. Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67		X		X	X	X	X	
3. Aufzugfase Seilrolle: 1 x 45°		X		X	X	X	X	
Innendurchmesser Lagerdeckel: 72		X		X	X	X	X	Innendurchmesser Lagerdeckel: 52
Außendurchmesser Lagerdeckel: 80		X		X	X	X	X	Außendurchmesser Lagerdeckel: 60
Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 60		X		X	X	X	X	Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 45
Nutbreite Lagerdeckel: 19		X		X	X	X	X	Nutbreite Lagerdeckel: 15
1. Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 60		X		X	X	X	X	Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 45
Innendurchmesser Lagerbock: 72		X		X	X	X	X	Innendurchmesser Lagerbock: 52
3. Nutbreite Lagerbock: 19		X		X	X	X	X	Nutbreite Lagerbock: 15
3. Material Lagerböcke: Stahl		X		X	X	X	X	
3. Material Lagerdeckel: Stahl		X		X	X	X	X	
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
Primäre Auswirkungen	ertragbare Zuglast 1250 kg	Lebensdauer 83 MU	Einsatzdrehzahl 18.000 / min	J.	lit-Flansch-Richtwert 8.579 N	unverändert	unverändert	
Delta P absolut	+600 kg	+33 MU	+13.000/min		-821 N			
Delta P relativ	+92%	+66%	+260%		-10%			
Delta P primär	AT (-)	AT (**)	AT (-)		IT (-)			
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
Sekundäre Auswirkungen	ertragbare Zuglast 700 kg	J.	J.	J.	lit-Flansch-Richtwert 8.558 N	Cpk = 1,33	Verschraubung besser zugänglich	
Delta P absolut	+50 kg				-841 N	0		
Delta P relativ	+7,5%				-11%	0%		
Delta P sekundär	OK (**)				OK	OK (***)	OK	

Anhang 20: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 1 - Lösungsmöglichkeit 3 (Ausschnitt)

Bedeutung	5	3	1	2	5				
Toleranz	-5/-10%	+50%	-5%	-5%	+0%	+/-10%	+5%		
Priorität	A	C	C	B	B				
Auslöser Soll-Eigenschaft									
Zuglast 650 kg bei Bodenmondes Motors	Lebensdauer > 500 Mio. Umdrehungen (MU)	Einsatz- Drehzahl 5000 / min	zu 100% störungs- freie Demontier- barkeit der Austausch- teile	maximale Flächsch- flächenlast 9.500 N	Fehlerfreie Bereit- barkeit der Geometrie inkl. Toleran- z (Cpk = 1,33)	Fehlerfreie Montier- barkeit des Produktes 100% konstruktiv bedingter Ausschuss < 20%			
Delta P absolut	12 kg	+ 240 MU	+10.000 / min	0	-985 N	-0,11	-5%		
Delta P relativ	+2%	+48%	+200%	0%	-11%	-10%	-5%		
Delta P	OK	IT	IT	OK	OK	IT	OK		
Zuglast 652 kg	740 MU (Schweiß- ketz)	Mögliche Drehzahl 15.000 / min	Produkt bis auf Konsolen- grundplatte demontierbar	ist Flächsch- flächenlast 8.535 N	Prozess- fertigungs- index Cpk =1,2	Konstruktiv bedingter Ausschuss 15%			
FKM-Richtlinie, Sicherheit 1,5, Seilblech- leistung 55°, g = 10 N/kg, X-Systeme	SKF- Vorgaben	SKF- Angaben	Standard- werkzeuge	mind. Sicherheit von 800 N	X-System- fertigung	X-System- Montage			
Festigkeits- rechnung, Weite, Lager- rechnung, FEM	Lebens- dauerrech- nung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugfähig- keit der Köpfe	Gewicht Produkt + Maximale Hublast	Fertigungsge- rechte Gestaltung	DFA, Fasen-, Feinhandlung sichere Montage (Plaka Yoke), Baugruppen- bildung etc.			
	Lösungsmöglichkeiten (P*) / Auswirkungen								
Merkmale	Croslinks	X	X	X	X	X	X	Primär	Sekundär
Loslager SKF 6204 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X	X	Loslager SKF 6204 (C ₀ = 6,55 kN) *	(nicht betrachtet, da Lösungsmöglichkeit)
Øm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6	X				X	X	X	J.	
Øg. Wellenabsatz Loslager: 28	X				X	X	X	J.	
Rauliefe Lagersitz: 1,6µm	X				X	X	X	J.	
Aufzugflase Loslager: 1 x 45°						X	X		
Freisch Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2	X				X	X	X		
Wellenmaterial Nr. 1.6773	X					X	X		
Øm. Wellenabsatz Seilrolle: 34	X				X	X	X	d _{u,min} : 25,6 -> Øm. Wellenabsatz: 30	
Material (Keine Vorschläge): Stahl gehärtet	X					X	X		
Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 8 x 52	X				X	X	X		J.
Material Seilrolle: Stahl	X				X	X	X		J.
Außen-Øm. Seilrollenabe: 61	X				X	X	X		Außen-Øm. Seilrolle: 54
Nabenlänge Seilrolle: 61	X				X	X	X		Nabenlänge Seilrolle: 54
Innen-Øm. Nabe: 34	X					X	X		Innen-Øm. Nabe: 30
Paßfedernut Seilrollenabe: 3,3 x 10	X				X	X	X		
Nuttlänge Paßfeder: 52						X	X		
Nutbreite Paßfeder: 10 P9						X	X		
Nuttliefe Paßfeder: 5 +0,1	X					X	X		
Nutradius Paßfeder: 5						X	X		
Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5							X	X	
Freisch Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2	X					X	X	X	
Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X				X	X	X		Sicherungsringring Seilrolle: DIN 472 - 30 x 1,5
Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3	X					X	X		Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 28,6
Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6	X					X	X		J.
Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61	X						X	X	Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 54
Øg. Wellenabsatz Seilrolle: 67	X					X	X	X	J.
Aufzugflase Seilrolle: 1 x 45°						X	X	X	
Innendurchmesser Lagerdeckel: 72	X					X	X	X	Innendurchmesser Lagerdeckel: 47
Außendurchmesser Lagerdeckel: 80	X					X	X	X	Außen-Øm. Lagerdeckel: 65
Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 60	X				X	X	X	X	Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 40
Nutbreite Lagerdeckel: 19	X				X	X	X	X	Nutbreite Lagerdeckel: 14
Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 60	X					X	X	X	Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 40
Innendurchmesser Lagerbock: 72	X					X	X	X	Innendurchmesser Lagerbock: 47
Nutbreite Lagerbock: 19	X					X	X	X	Nutbreite Lagerbock: 14
Material Lagerböcke: Stahl	X		X			X	X	X	
Material Lagerdeckel: Stahl	X		X			X	X	X	
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
Primäre Auswirkungen	Zuglast 673 kg	Lebens- dauer 63,25 MU	Grenz- drehzahl 20.000 / min	J.	ist-Decken- belastung 8.642 N	etwas besser	J.		
Delta P absolut	+23 kg	-436,7	+ 15.000/min		-858 N				
Delta P relativ	+3,5%	-690%	+300%		-9%				
Delta P primär	OK(+)	AT (-)	IT (-)		IT(-)	IT(+)			
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
Sekundäre Auswirkungen	J.	J.	J.	J.	ist-Decken- belastung 8.495 N	J.	J.	Verschraubung besser zusätzlich	
Delta P absolut					-1014,35 N				
Delta P relativ					-12%				
Delta P sekundär					IT(+)			OK	

Anhang 22: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 1 (Ausschnitt)

Bedeutung	5	3	1	2	5				
Toleranz	-5/+10%	+50%	-5%	-5%	+0%	+/-10%	+5%		
Priorität	A	C	C	B	B				
Auslöser Soll-Eigenschaft									
Soll-Eigenschaften	Zugfest 650 kg bei Bodenmonnlage des Motors	Lebensdauer > 500 Mio. Umdrehungen (MU)	Einsatzdrehzahl 5000 / min	zu 100% zerstörungsfreie Demontierbarkeit der Austauschteile	maximale Flächenlast 9.500 N	Fehlerfreie Herstellbarkeit der Geometrie inkl. Toleranz (Cpk = 1,33)	Fehlerfreie Montierbarkeit des Produktes 100% konstruktiv bedingter Ausschuss < 20%		
Delta P absolut	12 kg	+240 MU	+10.000 / min	0	-965 N	-0,11	-5%		
Delta P relativ	+2%	+48%	+200%	0%	-11%	-10%	-5%		
Delta P	OK	IT	IT	OK	OK	IT	OK		
Ist-Eigenschaften	Zugfest 650 kg	10 MU (schwach)	10.000 Einsatzdrehzahl 15.000 / min	Produkt bis auf Konsole grundplatte demontierbar	Flächenlast 8.535 N	Prozessfähigkeitsindex Cpk #1,2	Konstruktiv bedingter Ausschuss 15%		
Externe Bedingungen X-Systeme	FKM-Ringdichtung, Sicherheit 1,5, Seilablenkung 85°, g = 10 N/kg, Flächenpressung Pleasfeder 530 MPa, SKF-Vorgaben	SKF-Vorgaben	SKF-Angaben	Standardwerkzeuge	mind. Sicherheit von 800 N	X-System Fertigung	X-System Montage		
Relationen	Festigkeitsrechnung, Weite, Lagerrechnung, FEM	Lebensdauerrechnung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugfähigkeit der Köpfe	Gewicht Produkt + Maximale Hublast	Fertigungsrechte Gestaltung	DA, Faser, Feinhandlung sichere Montage (Plata Yoke), Baugruppenbildung etc.		
						Lösungsmöglichkeiten (T*) / Auswirkungen			
Merkmale	Crosslinks	X	X	X	X	X	X	Primär	Sekundär
Loslager SKF 6404 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X	X	Loslager SKF 6306 (C ₀ = 16 kN)	(nicht betrachtet, da Lösungsmöglichkeit)
1 Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6		X			X	X	X	Dm. Wellenabsatz Loslager: 30 h6	
2 Lg. Wellenabsatz Loslager: 28		X			X	X	X		
3 Rauiefe Lagerstz: 1,6µm		X			X	X	X		
4 Aufzugsfase Loslager: 1 x 45°		X			X	X	X		
5 Freisch Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2		X			X	X	X		
6 Wellenmaterial Nr.: 1.6773		X			X	X	X		Wellenmaterial Nr.: 1.4000 **
7 Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 34	X	X			X	X	X	Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 38	
8 Material (Keine Vorschläge): Stahl gehärtet		X			X	X	X		J.
9 Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 8 x 52		X			X	X	X		J.
10 Material Seilrolle: Stahl		X			X	X	X		J.
11 Außen-Dm. Seilrollennabe: 61		X			X	X	X		J.
12 Nabentänge Seilrolle: 61		X			X	X	X		J.
13 Innen-Dm. Nabe: 34		X			X	X	X	Innen-Dm. Nabe: 38	
14 Paßfedernut Seilrollennabe: 3,3 x 10		X			X	X	X		J.
15 Nutlänge Paßfeder: 52					X	X	X		
16 Nutbreite Paßfeder: 10 P9					X	X	X		
17 Nutseite Paßfeder: 5 ±0,1		X			X	X	X		
18 Nutradius Paßfeder: 5					X	X	X		
19 Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5					X	X	X		
20 Freisch Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2		X			X	X	X		
21 Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X				X	X	X		J.
22 Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X			X	X	X		
23 Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6		X			X	X	X		
24 Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61		X			X	X	X		
25 Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67		X			X	X	X		
26 Aufzugsfase Seilrolle: 1 x 45°					X	X	X		
27 Innendurchmesser Lagerdeckel: 72		X			X	X	X		J.
28 Außendurchmesser Lagerdeckel: 80		X			X	X	X		J.
29 Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 60					X	X	X		J.
30 Nutbreite Lagerdeckel: 19		X			X	X	X		J.
31 Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 60		X			X	X	X		J.
32 Innendurchmesser Lagerbock: 72		X			X	X	X		J.
33 Nutbreite Lagerbock: 19		X			X	X	X		J.
34 Material Lagerböcke: Stahl		X		X	X	X	X		J.
35 Material Lagerdeckel: Stahl		X		X	X	X	X		J.
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.		
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.		
Primäre Auswirkungen	ertragbare Zugfest 2050 kg	Lebensdauer 838 MU	Einsatzdrehzahl 13.000 / min	J.	Ist-Flächenlast 8.535 N	Unverändert	Unverändert		
Delta P absolut	+1.400 kg	+138 MU	+8.000/min		-967 N				
Delta P relativ	+315%	+27%	+160%		-11%				
Delta P primär	AT(-)	OK	IT(+)		OK				
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	Besser	J.
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	J.	zuspänsparbarer Werkstoff	J.
Sekundäre Auswirkungen	ertragbare Zugfest 1100 kg	J.	J.	J.	J.	Cpk = 1,33%			
Delta P absolut	+450 kg				0				
Delta P relativ	+69%				0%				
Delta P sekundär	AT(+)				OK (++)				

Anhang 24: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 2 (Ausschnitt)

Anhang 25: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Ausschnitt																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Übersicht über die CIA-Matrix																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Zusätzliche Informationen																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Produktmodell</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> <th>13</th> <th>14</th> <th>15</th> <th>16</th> <th>17</th> <th>18</th> <th>19</th> <th>20</th> <th>21</th> <th>22</th> <th>23</th> <th>24</th> <th>25</th> <th>26</th> <th>27</th> <th>28</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Produktmodell 1</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 2</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 3</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 9</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 11</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 12</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 13</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 14</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 15</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 16</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 17</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 18</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 19</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 20</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 21</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 22</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 23</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 24</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 25</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 26</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 27</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktmodell 28</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																												Produktmodell	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	Produktmodell 1	X																												Produktmodell 2		X																												Produktmodell 3			X																											Produktmodell 4				X																										Produktmodell 5					X																									Produktmodell 6						X																								Produktmodell 7							X																							Produktmodell 8								X																						Produktmodell 9									X																					Produktmodell 10										X																				Produktmodell 11											X																			Produktmodell 12												X																		Produktmodell 13													X																	Produktmodell 14														X																Produktmodell 15															X															Produktmodell 16																X														Produktmodell 17																	X													Produktmodell 18																		X												Produktmodell 19																			X											Produktmodell 20																				X										Produktmodell 21																					X									Produktmodell 22																						X								Produktmodell 23																							X							Produktmodell 24																								X						Produktmodell 25																									X					Produktmodell 26																										X				Produktmodell 27																											X			Produktmodell 28																												X	
Produktmodell	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Produktmodell 1	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Produktmodell 2		X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Produktmodell 3			X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Produktmodell 4				X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Produktmodell 5					X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Produktmodell 6						X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Produktmodell 7							X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Produktmodell 8								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Produktmodell 9									X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Produktmodell 10										X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Produktmodell 11											X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Produktmodell 12												X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Produktmodell 13													X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Produktmodell 14														X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Produktmodell 15															X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Produktmodell 16																X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Produktmodell 17																	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Produktmodell 18																		X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Produktmodell 19																			X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Produktmodell 20																				X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Produktmodell 21																					X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Produktmodell 22																						X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Produktmodell 23																							X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Produktmodell 24																								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Produktmodell 25																									X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Produktmodell 26																										X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Produktmodell 27																											X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Produktmodell 28																												X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

Anhang 25: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 3

Bedeutung	5	3	1	2	5				
Toleranz	-5/+10%	+50%	-5%	-5%	+0%	+/-10%	+5%		
Priorität	A	C	C	B	B				
Auslöser Soll-Eigenschaft									
Soll-Eigenschaften	Zuglast 650 kg bei Bodenmonnlage des Motors	Lebensdauer > 500 Mio. Umdrehungen (MU)	Einsatzdrehzahl 5000 / min	zu 100% zerstörungsfreie Demontierbarkeit der Austauschteile	maximale Flächlast 9.500 N	Fehlerfreie Herstellbarkeit der Geometrie mit Toleranz (Cpk = 1,33)	Fehlerfreie Montierbarkeit des Produktes 100% (konstruktiv bedingter Ausschuss < 20%)		
Delta P absolut	12 kg	+240 MU	+10.000 / min	0	-965 N	-0,11	-5%		
Delta P relativ	+2%	+48%	+200%	0%	-11%	-10%	-5%		
Delta P	OK	IT	IT	OK	OK	IT	OK		
Ist-Eigenschaften	Zuglast 800 kg	10 MU (schwach)	10.000 Einsatzdrehzahl 15.000 / min	Produkt bis auf Konsole grundplatte demontierbar	Flächlast 8.535 N	Prozessfähigkeitsindex Cpk =1,2	Konstruktiv bedingter Ausschuss 15%		
Externe Bedingungen X-Systeme	FKM-Ringdichtung, Sicherheit 1,5, Seilablenkung 85°, g = 10 N/kg, Flächenpressung Paßfedern 530 MPa, SKF-Vorgaben	SKF-Vorgaben	SKF-Angaben	Standardwerkzeuge	mind. Sicherheit von 800 N	X-System Fertigung	X-System Montage		
Relationen	Festigkeitsrechnung, Weite, Lagerrechnung, FEM	Lebensdauerrechnung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugfähigkeit der Köpfe	Gewicht Produkt + Maximale Hublast	Fertigungsrechtliche Gestaltung	DA, Fasen, Fehlführung sichere Montage (Platz Yoke), Baugruppenbildung etc.		
						Lösungsmöglichkeiten (1*) / Auswirkungen			
Merkmale	Crosslinks	X	X	X	X	X	X	Primär	Sekundär
Loslager SKF 6404 (C ₀ = 15 kN)	X	X	X	X	X	X	X	Loslager SKF 6205 (C ₀ = 7,8 kN)*	(nicht betrachtet, da Lösungsmöglichkeit)
Dim. Wellenabsatz Loslager: 20 h6		X			X	X	X	Dim. Wellenabsatz Loslager: 25 h6	
Lg. Wellenabsatz Loslager: 28		X			X	X	X		
Rauiefe Lagerstz: 1,6µm		X			X	X	X		
Aufzugsfase Loslager: 1 x 45°		X			X	X	X		
Freistich Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2		X			X	X	X		
Wellenmaterial Nr.: 1.6773		X			X	X	X		Wellenmaterial Nr.: 1.4000 **
Dim. Wellenabsatz Seilrolle: 34	X	X		X	X	X	X		
Material (Keine Vorschläge): Stahl gehärtet		X			X	X	X		
Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 8 x 52		X			X	X	X		
Material Seilrolle: Stahl		X			X	X	X		
Außen-Dm. Seilrollennabe: 61		X			X	X	X		
Nabentlänge Seilrolle: 61		X			X	X	X		
Innen-Dm. Nabe: 34		X			X	X	X		
Paßfedernut Seilrollennabe: 3,3 x 10		X			X	X	X		
Nutlänge Paßfeder: 52					X	X	X		
Nutbreite Paßfeder: 10 P9					X	X	X		
Nutseite Paßfeder: 5 ±0,1		X			X	X	X		
Nutradius Paßfeder: 5					X	X	X		
Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5						X	X		
Freistich Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2		X			X	X	X		
Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5	X				X	X	X		
Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X			X	X	X		
Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6		X			X	X	X		
Abstand Sicherungsringnut Wellenabsatz 3: 61		X			X	X	X		
Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67		X			X	X	X		
Aufzugsfase Seilrolle: 1 x 45°					X	X	X		
Innendurchmesser Lagerdeckel: 72		X			X	X	X	Innendurchmesser Lagerdeckel: 52	
Außendurchmesser Lagerdeckel: 80		X			X	X	X	Außendurchmesser Lagerdeckel: 60	
Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 60					X	X	X	Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 45	
Nutbreite Lagerdeckel: 19		X			X	X	X	Nutbreite Lagerdeckel: 15	
Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 60		X			X	X	X	Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 45	
Innendurchmesser Lagerbock: 72		X			X	X	X	Innendurchmesser Lagerbock: 52	
Nutbreite Lagerbock: 19		X			X	X	X	Nutbreite Lagerbock: 15	
Material Lagerböcke: Stahl		X		X	X	X	X		
Material Lagerdeckel: Stahl		X		X	X	X	X		
geänderte Relationen	J	J	J	J	J	J	J		
geänderte externe Bedingungen	J	J	J	J	J	J	J		
Primäre Auswirkungen	ertragbare Zuglast 1250 kg	Lebensdauer 83 MU	Einsatzdrehzahl 15.000 / min	J	Ist-Flächlast 8.578 N	Unverändert	Unverändert		
Delta P absolut	+600 kg	-417 MU	+13.000/min		-821 N				
Delta P relativ	+92%	-802%	+260%		-10%				
Delta P primär	AT (-)	AT (-)	AT (-)		IT(-)				
geänderte Relationen	J	J	J	J	J	J	J	Besser erspanbarer Werkstoff	J
geänderte externe Bedingungen	J	J	J	J	J	J	J		
Sekundäre Auswirkungen	ertragbare Zuglast 700 kg	J	J	J	Ist-Flächlast 8.568 N	Cpk = 1,33	Verschraubung besser zugänglich		
Delta P absolut	+50 kg				-841 N	0			
Delta P relativ	+7,5%				-11%	0%			
Delta P sekundär	OK (++)				OK	OK (+++)	OK		

Anhang 26: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 2 - Lösungsmöglichkeit 3 (Ausschnitt)

Ausschnitt

Anforderung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Anhang 27: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 3

Bedeutung	5	3	1	2	5		
Toleranz	-5/+10%	+50%	-5%	-8%	+0%	-/+10%	+5%
Priorität	A	C	C	B	B		
Auslöser Soll-Eigenschaft							
Soil-Eigenschaften	Zuglast 650 kg bei Bodenmonnlage des Motors	Lebensdauer > 500 Mio. Umdrehungen (MU)	Einsatzdrehzahl 5000 / min	zu 100% zersörungs-freie Demontierbarkeit der Austausch-teile	maximale Flansch-fachlast 8.500 N	Fehlerfreie Herstellbarkeit der Sonnerie inkl. Toleranz Cpk = 1,33	Fehlerfreie Montierbarkeit des Produktes 100% konstruktiv bedingter Ausschuss < 20%
Delta P absolut	12 kg	+/- 240 MU	+10.000 / min	0	-865 N	-0,11	-5%
Delta P relativ	+2%	+/-48%	+200%	0%	-11%	-10%	-5%
Delta P	OK	IT	IT	OK	OK	IT	OK
Isf-Eigenschaften	Zuglast 662 kg	740 MU (rechnerisch)	Mögliche Einsatzdrehzahl 15.000 / min	Produkt bis auf Konsolen grundplattentauglich	16-Flansch-fachlast 8.535 N	Prozess-fähigkeits-index Cpk = 1,2	Konstruktiv bedingter Ausschuss 15%
Externe Bedingungen X-Systeme	FRM-Richtlinie, Sicherheit 1,5, Seilablenkung 85°, g = 10 N/kg, Flansch-pressung Passfedern S20 MPa, SKF-Vorgaben	SKF-Vorgaben	SKF-Angaben	Standardwerkzeuge	mind. Sicherheit von 800 N	X-System Fertigung	X-System Montage
Relationen	Festigkeitsrechnung, Weile, Lagerrechnung, FEM	Lebensdauerrechnung SKF	SKF-Katalog	Konstruktive Auslegung mit Schrauben / Zugfähigkeit der Köpfe	Gewicht + Maximale Hublast	Fertigungs-gestaltung	DFM, Fasern, Feihandlung sichere Montage (Poka Yoke), Baugruppenbildung etc.
Merkmale	Crosslinks	Lösungsmöglichkeiten (*) / Auswirkungen					
Loslager SKF 6404 (C ₀ = 15 μm)	X	X	X	X	X	X	Primär
1. Dm. Wellenabsatz Loslager: 20 h6	X	X	X	X	X	X	
2. Lg. Wellenabsatz Loslager: 28		X	X	X	X	X	
3. Rauliefe Lagerstz: 1,6 μm		X	X	X	X	X	
4. Aufzugflase Loslager: 1 x 45°		X	X	X	X	X	
5. Freisch Wellenabsatz Loslager: DIN 509-F1x0,2		X	X	X	X	X	
6. Wellenmaterial Nr. 1.6773		X	X	X	X	X	
7. Dm. Wellenabsatz Seilrolle: 34		X	X	X	X	X	
Material (Keine Vorschläge): Stahl gehärtet	X	X	X	X	X	X	
Paßfeder: DIN 6885 - A 10 x 9 x 52		X	X	X	X	X	
Material Seilrolle: Stahl		X	X	X	X	X	
Außen Dm. Seilrollenabe: 61		X	X	X	X	X	
Nabentänge Seilrolle: 61		X	X	X	X	X	
Innen Dm. Nabe: 34		X	X	X	X	X	
Passfedernut Seilrollenabe: 3,3 x 10		X	X	X	X	X	
2 Nuttiefe Paßfeder: 52		X	X	X	X	X	
3 Nutbreite Paßfeder: 10 P9		X	X	X	X	X	
4 Nuttiefe Paßfeder: 5 +0,1		X	X	X	X	X	
5 Nutradius Paßfeder: 5		X	X	X	X	X	
6 Abstand Paßfeder Wellenabsatz 3: 4,5		X	X	X	X	X	
7 Freisch Wellenabsatz Rolle: DIN 509-F1x0,2		X	X	X	X	X	
Sicherungsring Seilrolle: DIN 472 - 34 x 1,5		X	X	X	X	X	
8 Nutdurchmesser Sicherungsring an Seilrolle: 32,3		X	X	X	X	X	
9 Nutbreite Sicherungsring an Seilrolle: 1,6	X	X	X	X	X		
1. Abstand Sicherungsring Wellenabsatz 3: 61	X	X	X	X	X		
2. Lg. Wellenabsatz Seilrolle: 67	X	X	X	X	X		
3. Aufzugflase Seilrolle: 1 x 45°	X	X	X	X	X		
1. Innendurchmesser Lagerdeckel: 72	X	X	X	X	X	X	
2. Außendurchmesser Lagerdeckel: 80		X	X	X	X	X	
3. Bohrungsdurchmesser Lagerdeckel: 60		X	X	X	X	X	
1. Nutbreite Lagerdeckel: 19		X	X	X	X	X	
4. Bohrungsdurchmesser Lagerbock: 60		X	X	X	X	X	
5. Innendurchmesser Lagerbock: 72		X	X	X	X	X	
6. Nutbreite Lagerbock: 19		X	X	X	X	X	
7. Material Lagerbocke: Stahl		X	X	X	X	X	
8. Material Lagerdeckel: Stahl		X	X	X	X	X	
9. Fase Lagerdeckel: 1 x 45°		X	X	X	X	X	
10. Fase Lagerbock: 1 x 45°	X	X	X	X	X		
geänderte Relationen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
geänderte externe Bedingungen	J.	J.	J.	J.	J.	J.	
Primäre Auswirkungen	keine	keine	keine	keine	16-Flansch-fachlast 8.535 N	keine	Montage wird erleichtert, weniger Beschädigungen
Delta P absolut					-865 N		-4%
Delta P relativ					-11%		-4%
Delta P primär					OK		OK(+)
geänderte Relationen							
geänderte externe Bedingungen							
Sekundäre Auswirkungen							
Delta P absolut							
Delta P relativ							
Delta P sekundär							

Anhang 28: CIA-Matrix Evaluierung PD/CIRA Szenario 3 (Ausschnitt)

Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Christian Maria Köhler
Geburtsdatum, - ort: 04. Juni 1980, Saarbrücken
Anschrift: Grubenstraße 7
66787 Wadgassen
E-Mail: koehler.christian@vdi.de
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: Deutsch

SCHULBILDUNG

1986 – 1990 Grundschule Hostenbach
1990 – 1999 Max-Planck-Gymnasium Saarlouis

WEHRDIENST

1999 – 2000
3./ Panzerartillerielehrbataillon 345, Kusel
8./ Nachschubbataillon 310, Neustadt/Hessen
1./ Raketenartillerielehrbataillon 52, Hermeskeil

STUDIUM

2000 – 2005
Diplomstudium Produktionstechnik
Universität des Saarlandes
Abschluss: Diplom-Ingenieur
2006 – 2009
Aufbaustudiengang Europäische Wirtschaft
Europa-Institut der Universität des Saarlandes
Abschluss: Master of Business Administration (MBA)

PROMOTION

2007 – 2009 Promotionsstudium im Bereich Konstruktionstechnik bei Univ.-Professor Dr.-Ing. Christian Weber, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des Saarlandes

BERUFSBEZOGENE TÄTIGKEIT

2000 Praktikum
 Saarstahl AG, Völklingen

2001 Praktika
 Saarstahl AG und Saar-Hartmetall und Werkzeuge GmbH, Völklingen

2002 – 2004 Studentische Hilfskraft
 Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM, Universität des Saarlandes

2004 – 2005 Praktikum und Diplomarbeit
 Robert Bosch GmbH, Homburg

2005 – 2008 Wissenschaftlicher Mitarbeiter
 Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität des Saarlandes

2008 – Interner Berater
 Festo Lernzentrum Saar GmbH, St. Ingbert

Universität des Saarlandes

Schriftenreihe Produktionstechnik
Herausgeber: D. Bähre und H. Bley

ISSN 0945-6244

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände (Stand: Dezember 2009)

- Band 1** Schulte, Michael: *Grundlagen der automatischen funktionsorientierten Klassifizierung technischer Gegenstände im Rahmen intelligenter Konstruktionsunterstützungssysteme (CAD-Systeme)*.
ISBN 3-930429-30-6 (1993)
- Band 2** Schulte, Michael; Stark, Rainer: *Definition und Anwendung höherwertiger Konstruktionselemente (Design Features) am Beispiel von Wellenkonstruktionen*.
ISBN 3-930429-31-4 (1993)
- Band 3** Mischo, Armin: *Modellbasierte Akquisition und Implementierung des technologischen Wissens für die NC-Detailplanung*.
ISBN 3-930429-32-2 (1993)
- Band 4** Rech, Karsten: *Regelungsmodell zur Konzipierung der Informationsverarbeitung in der Produktionslogistik*.
ISBN 3-930429-33-0 (1994)
- Band 5** Stark, Rainer: *Entwicklung eines mathematischen Toleranzmodells zur Integration in (3D-) CAD-Systeme*.
ISBN 3-930429-34-9 (1994)
- Band 6** Dietz, Stefan: *Wissen zur Auswahl von Montagemitteln, seine Aufbereitung und Verarbeitung in CA-Systemen*.
ISBN 3-930429-35-7 (1994)
- Band 7** Muth, Michael: *Repräsentation von Konstruktionswissen unter Verwendung des objektorientierten Paradigmas*.
ISBN 3-930429-36-5 (1994)
- Band 8** Stadelmeyer, Volker: *Entscheidungsunterstützung zur technischen Planung im Fertigungsbereich*.
ISBN 3-930429-37-3 (1994)
- Band 9** Jostock, Jürgen: *Aufbau eines hierarchisch organisierten, wissensunterstützten Fertigungsregelungssystems*.
ISBN 3-930429-38-1 (1994)
- Band 10** Müller, Andreas: *Leitlinie zur Problemdefinition bei der Entwicklung von komplexen Montagesystemen*.
ISBN 3-930429-39-X (1994)

- Band 11** Labisch, Susanna: *Untersuchung des Kaltpressens pulverförmiger Stoffe mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung der Trockenpressung von Sekundärkornmassen.*
ISBN 3-930429-40-3 (1995)
- Band 12** Schmidt, Jürgen: *Untersuchung zur Reinheit spanend bearbeiteter Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung des erzeugenden Prozesses.*
ISBN 3-930429-41-1 (1996)
- Band 13** Cuber, Michael: *Entwicklung einer Strategie zur qualitätsgerechten Modellierung des Entwicklungs-/Konstruktionsprozesses.*
ISBN 3-930429-42-X (1996)
- Band 14** Avgoustinov, Nicolay: *Minimizing the Labour for Exchange of Product Definition Data Among N CAx-Systems.*
ISBN 3-930429-43-8 (1997)
- Band 15** Bär, Thomas: *Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses.*
ISBN 3-930429-44-6 (1998)
- Band 16** Seel, Uwe: *Robotergestützte Zellenkalibrierung als Basis einer Feature-basierten Montageplanung.*
ISBN 3-930429-45-4 (1999)
- Band 17** Britten, Werner: *CAD-basierte Übersetzung geometrischer Toleranzen in vektorielle Darstellungen.*
ISBN 3-930429-46-2 (1999)
- Band 18** Jung, Dieter: *Praxis- und Prozessnahes Optimierungsmodell (PPO-Modell) zur systematischen, kontinuierlichen Verbesserung komplexer industrieller Prozesse*
ISBN 3-930429-47-0 (2000)
- Band 19** Muth, Michael: *CAD-M(COMPUTER AIDED DESIGN using MULTIMEDIA)-Repräsentation und Nutzung von Konstruktionswissen in verteilten Entwicklungsumgebungen.*
ISBN 3-903429-48-9 (2000)
- Band 20** Wuttke, Claas Christian: *Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik.*
ISBN 3-930429-49-7 (2000)
- Band 21** Oltermann, Ralf: *Systematik zur Abschätzung von Fertigungstoleranzen auf Grundlage einer Auswertung der laufenden Fertigung.*
ISBN 3-93042-50-0 (2000)
- Band 22** Werner, Horst: *Integration von CAx-Funktionalitäten in einem neuartigen Konstruktionssystem.*
ISBN 3-930429-51-9 (2001)

-
- Band 23** Behrning, Stefan: *Messungen von Belegungen durch Fertigungshilfsstoffe auf metallenen Werkstücken mittels mIR-Fasersonde.*
ISBN 3-930429-52-7 (2001)
- Band 24** Thome, Oliver: *Durchgängige Erfassung und Verarbeitung von Toleranzinformationen.*
ISBN 3-930429-53-5 (2001)
- Band 25** Junk, Stefan: *Inkrementelle Blechumformung mit CNC-Werkzeugmaschinen: Verfahrensgrenzen und Umformstrategien.*
ISBN 3-930429-54-3 (2003)
- Band 26** Braun, Peter: *Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung des Einflusses von Kühlschmierstoffen auf das Härteverhalten von Einsatzstählen am Beispiel des Kühlschmierstoffs ARAL Sarol 470 EP und der Einsatzstähle C15, 16MnCr5, 9SMnPb28.*
ISBN 3-930429-55-1 (2003)
- Band 27** Rattay, Bernd: *Untersuchung der Einflußgrößen auf die Formfüllung und die Werkzeugbelastungen beim Prägen von Mikrokanalstrukturen in Metallische Bleche.*
ISBN 3-930429-56-X (2003)
- Band 28** Franke, Christina: *Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik.*
ISBN 3-930429-57-8 (2003)
- Band 29** 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems
ISBN 3-930429-58-6 (2003)
- Band 30** Korne, Thomas: *Fertigungsorientierte Analyse und Optimierung von Gruppenarbeit in der Automobil-Endmontage unter besonderer Berücksichtigung von Informationstechnologie und Digitaler Fabrik.*
ISBN 3-930429-59-4 (2004)
- Band 31** Fischer, Nikolaus: *Messungen geringster organischer Belegungen auf diffus reflektierenden Oberflächen mit einem mIR-faseroptischen Prüfkopf.*
ISBN: 3-930429-60-8 (2005)
- Band 32** Bernardi, Markus: *Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes.*
ISBN 3-930429-61-6 (2005)
- Band 33** Ryu, Shi-Bok: *Development of a Microklystrode Vacuum Tube: A Focus on the Improvement of Modeling and Manufacturing Processes.*
ISBN 3-930429-62-4 (2005)
- Band 34** Vielhaber, Michael: *Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus.*
ISBN 3-930429-63-2 (2005)

- Band 35** Steinbach, Michael: *Systematische Gestaltung von Product-Service Systems*. ISBN 3-930429-64-0 (2005)
- Band 36** Blumenau, Jean-Claude: *Lean Planning unter besonderer Berücksichtigung der Skalierung wandlungsfähiger Produktionssysteme*. ISBN 3-930429-65-9 (2006)
- Band 37** Zenner, Christian: *Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung*. ISBN 3-930429-66-7 (2006)
- Band 38** Bossmann, Marc: *Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung*. ISBN 978-3-930429-67-7 (2007)
- Band 39** Deubel, Till: *Anforderungs-, Kosten- und wertgetriebene Steuerung des Produktentwicklungsprozesses*. ISBN 978-3-930429-68-4 (2007)
- Band 40** Oberhausen, Michael: *Der Einsatz laserinduzierter Fluoreszenzmessungen zu Detektion geringster organischer Belegungen auf Oberflächen*. ISBN 978-3-930429-69-1 (2007)
- Band 41** Fritz, Jürgen Ulrich: *Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der Digitalen Fabrik*. ISBN 978-3-930429-70-7 (2007)
- Band 42** Müller, Marco: *Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie*. ISBN 978-3-930429-71-4 (2007)
- Band 43** Kiefer, Jens: *Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau*. ISBN 978-3-930429-72-1 (2007)
- Band 44** Burr, Holger: *Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau*. ISBN 978-3-930429-73-8 (2008)
- Band 45** Köhler, Christian: *Technische Produktänderungen – Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf Basis einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes*. ISBN 978-3-930429-74-5 (2009)