

Reihe Informationsmanagement
im Engineering Karlsruhe

Ann-Katrin Weiser

**Methodik eines holistischen
Variantenmanagements
modularer Produktfamilien**

Grundlagen, Systematik und beispielhafte
Anwendung der VM_{ahead} Methodik

Band 1 – 2018



Scientific
Publishing

Ann-Katrin Weiser

Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien

Grundlagen, Systematik und beispielhafte
Anwendung der VM_{ahead} Methodik

**Reihe Informationsmanagement im Engineering Karlsruhe
Band 1 – 2018**

Herausgeber

Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI)

o. Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova

Eine Übersicht aller bisher in dieser Schriftenreihe
erschienenen Bände finden Sie am Ende des Buchs.

Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien

Grundlagen, Systematik und beispielhafte
Anwendung der VM_{ahead} Methodik

von
Ann-Katrin Weiser

Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie
KIT-Fakultät für Maschinenbau

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Februar 2018
Referenten: Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova
Prof. Dr. Markus Merkel

Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu



*This document – excluding the cover, pictures and graphs – is licensed
under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License
(CC BY-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>*



*The cover page is licensed under a Creative Commons
Attribution-No Derivatives 4.0 International License (CC BY-ND 4.0):
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.en>*

Print on Demand 2018 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 1860-5990

ISBN 978-3-7315-0775-8

DOI 10.5445/KSP/1000081070

**Methodik eines holistischen
Variantenmanagements modularer
Produktfamilien**

Grundlagen, Systematik und beispielhafte
Anwendung der VM_{ahead} Methodik

Zur Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

von der KIT-Fakultät für Maschinenbau des
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
angenommene

Dissertation

von
M. Sc. Ann-Katrin Weiser

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Februar 2018

Hauptreferentin: Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova

Korreferent: Prof. Dr. Markus Merkel

Vorwort der Verfasserin

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als externe Doktorandin bei der Bosch Thermotechnik GmbH. Betreut wurde ich dabei durch das Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Meiner Doktormutter Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova möchte ich besonders Danken. Bei unseren regelmäßigen Gesprächen hat sie große Begeisterung für mein Themenkomplex gezeigt. Durch konstruktive Diskussionen hat sie es stets geschafft, die Arbeit mit voranzutreiben. Es hat mir große Freude bereitet, zu sehen, welches Vertrauen sie in mich und meine Arbeit gesteckt hat. Weiterhin möchte ich mich bei meinem Zweitgutachter Prof. Dr. Markus Merkel von der Hochschule Aalen bedanken, der großes Interesse an meiner Arbeit gezeigt hat.

Meinen drei Betreuern bei Bosch Thermotechnik, Bernd Baasner, Manfred Hosch und Dr. Meike Schlüter, möchte ich ebenfalls großen Dank aussprechen. Sie haben mich während der Erarbeitung meiner Methodik stets gefördert, mir die notwendigen Freiräume gelassen, waren jedoch immer für mich da, wenn ich Hilfe oder einfach ein offenes Ohr benötigte. Ebenso möchte ich allen meinen Kollegen bei Bosch Thermotechnik danken, die mich herzlich aufgenommen haben. Sie haben mich jederzeit bei der initialen Erstellung und Vorstudie meiner Methodik sowie der anschließenden Validierung unterstützt und haben sich stets Zeit für mich genommen. Auch meinen Studenten, die ich während meiner Doktorandenzeit bei Bosch Thermotechnik betreut habe, möchte ich an dieser Stelle danken.

Bei meinen Freunden möchte ich mich ebenfalls bedanken. Sie sind auch in stressigen Zeiten immer für mich da gewesen und hatten stets aufmunternde Worte für mich bereit. Besonders möchte ich mich bei Ann-Kathrin Wietek bedanken, die mit großer Sorgfalt meine englischen Paper Korrektur gelesen hat, auch wenn der Abgabetermin kurz bevorstand. Zuletzt möchte ich meinen Eltern Roswitha und Helmut Weiser sowie meinem Freund Jörn Kramer danken. Sie haben mir in den vergangenen 4 Jahren immer zur Seite gestanden. Besonders das Lektorat diverser Paper und auch der finalen Arbeit hat nicht nur mich, sondern auch sie einige Wochenenden und Abende gekostet. Dies ist nicht selbstverständlich und ich möchte sie wissen lassen, wie unendlich dankbar ich für Ihr Vertrauen und Ihre Hilfe bin.

Ann-Katrin Weiser

Stuttgart, den 19.02.2018

Abstract

Today companies are facing increased complexity, caused by globalization effects, customer's request for individualization and shorter product life cycles. Several strategies exist to control this resulting complexity. A prominent solution to this problem is a modular product architecture. The implementation of a modular structure comes with high effort and cost. Nevertheless, during the application phase these expenditures are compensated by a more efficient handling of a company's internal complexity.

However, a modular structure does not remain fixed throughout its lifetime. Decisions on new modules and module variants have to be made, while simultaneously ensuring commonalities within the modular product family and maintaining the modular design. These new variants can influence a company's complexity managed by a modular structure in an advantageous or disadvantageous way. Moreover these new modules or module variants can harm the modular product architecture by not taking the modular design rules over time into account and by not ensuring a sufficient re-use rate of the newly requested variants. Therefore the three aspects; complexity costs, modular design rules as well as the re-use rate have to be evaluated in variant decisions.

The necessity for such a decision support can be derived from literature and requests from industry. However, when preparing such decisions, insufficient methods exist to ensure lean and maintained modular product architecture over its lifetime and to assess the effects of complexity and calculate with reasonable effort the complexity costs of these new variants. This results in poor decisions based on a lack of transparency. The refinement of the modular product family is based on a partially prepared proposal and consequently, the risk of a subsequent, undesirable increase in complexity and a failure of the modular

architecture is high. Therefore, a new method to support variant decisions on module, module variant and product level has been designed. This method has subsequently been tested and verified at Bosch Thermotechnik GmbH. Based on the support of this method, a sustained modular product family over its life-time can be accomplished.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xv
Abkürzungsverzeichnis	xvii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ausgangssituation und Problemstellung	4
1.3 Zielsetzung der Arbeit	10
1.4 Aufbau der Arbeit	15
2 Grundlagen	19
2.1 Begriffliche Grundlagen	19
2.1.1 Varianten und Vielfalt	19
2.1.2 Komplexität	21
2.1.3 Komplexitätskosten	23
2.1.4 Komplexitäts- und Variantenmanagement	27
2.2 Ursachen der Komplexität	29
2.2.1 Interne und externe Komplexitätstreiber	31
2.2.2 Teufelskreise der Komplexität	33
2.3 Auswirkungen der Komplexität	36
2.3.1 Komplexitätseffekte in der Entwicklung	37
2.3.2 Komplexitätseffekte im Einkauf	39
2.3.3 Komplexitätseffekte in der Produktion und Logistik	40
2.3.4 Komplexitätseffekte in Marketing und Vertrieb	41
2.3.5 Komplexitätsnutzen	42

2.4	Grundlagen der Modularisierung	43
2.4.1	Produktarchitektur allgemein	44
2.4.2	Modulare Produktarchitekturen	47
2.4.3	Einordnung der Modularisierung in das Komplexitätsmanagement	51
2.4.4	Erfolgsfaktoren modularer Produktarchitekturen	53
2.5	Produktentwicklungsprozess	57
2.5.1	Allgemeiner Produktentwicklungsprozess	58
2.5.2	Modulentwicklungsprozess	60
2.6	Zusammenfassung	63
3	Stand der Technik in Wirtschaft und Wissenschaft	65
3.1	Methodenbedarf in der Industrie	66
3.1.1	Relevanz modularer Produktarchitekturen	67
3.1.2	Stellenwert einer stabilen modularen Produktarchitektur	70
3.2	Anforderungen an eine neue Methodik	73
3.2.1	Anforderungen an ein Variantenmanagement	73
3.2.2	Anforderungen hinsichtlich der Charakteristika modularer Produktfamilien	75
3.2.3	Anforderungen an eine Methodik zur Entscheidungsunterstützung	79
3.2.4	Positionierung der Arbeit innerhalb der Designtheorie und -forschung	80
3.3	Methodenanalyse	82
3.3.1	Gesamtanforderungen an eine Methodik	82
3.3.2	Rahmenwerk der Methodenanalyse	83
3.4	Methoden: Sicherstellung stabiler modularer Produktarchitektur	85
3.4.1	Design Structure Matrix	86
3.4.2	Modular Function Deployment	88
3.4.3	Variant Mode and Effect Analysis	90
3.4.4	Design for Adaptability	92

3.4.5	Design for Variety	94
3.4.6	Variant Management Funnel	96
3.4.7	Produktfamilienpflege	98
3.4.8	Modularisierungs-Balanced Scorecard	100
3.5	Methoden: Komplexitätskostenanalyse	102
3.5.1	Complexity Cost Management Approach	103
3.5.2	Kostenorientierte Bewertung modularer Produktfamilien	105
3.5.3	Prozesskostenrechnung	107
3.5.4	Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung	109
3.5.5	Komplexitätskostenanalyse	111
3.5.6	Integriertes Variantenmanagement	113
3.5.7	Activity Based Costing Analysis	115
3.6	Diskussion und Bewertung	116
3.7	Zusammenfassung	120
4	Vorstellung der Methodik	123
4.1	Grundlagen der Methodik	124
4.1.1	Einordnung in den Modulentstehungsprozess	125
4.1.2	Beteiligter Personenkreis der Methodik	126
4.2	Aufbau der Methodik	129
4.2.1	Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung	130
4.2.2	Sicherstellung der modularen Designregeln	136
4.2.3	Verbesserung der Wiederverwendungsrate	139
4.2.4	Gesamtaufbau der Methodik	140
4.3	Vorleistungen der Methodik	145
4.3.1	Definition der Referenzbeispiele	146
4.3.2	Durchführung der Komplexitätsinterviews	149
4.3.3	Erstellung der Strategy-Contribution-Map	155
4.4	Anwendung der Methodik	160
4.4.1	Rahmenwerk der Gesamtmethodik	160
4.4.2	Variantenbewertung	163
4.4.3	Ergebniszusammenfassung und Fazit	172

4.5	Methodenimplementierung	174
4.6	Zusammenfassung	183
5	Validierung der Methodik	187
5.1	Aufgaben und Thesen der Methodik	188
5.2	Validierungsdesign	193
5.2.1	Forschungsdesign	194
5.2.2	Vorgehensweise bei der Datensammlung	196
5.2.3	Vorstellung der Fragebögen	201
5.3	Beschreibung der Fallstudie	207
5.3.1	Beschreibung des Studienfalls	208
5.3.2	Vorstellung der zu bewertenden Variantenentscheidung	210
5.4	Validierung der Vorleistungen der Methodik	213
5.4.1	Validierung der Erstellung der Referenzbeispiele	213
5.4.2	Validierung der Komplexitätsinterviews	217
5.4.3	Validierung der Strategy-Contribution-Map	223
5.4.4	Auswertung der ersten Validierungsphase	225
5.5	Validierung der Anwendung der Methodik	228
5.5.1	Validierung der Variantenbewertung	228
5.5.2	Validierung der Variantenentscheidung	240
5.5.3	Auswertung der zweiten Validierungsphase	244
5.6	Zusammenfassung	250
6	Zusammenfassung und Ausblick	253
6.1	Zusammenfassung	253
6.2	Ausblick	259
A	Anhang	261
A.1	Methodikenaufbau	261
A.2	Fragebögen der Validierung	263
A.3	Grafikenübersicht der Methodenbestandteile	270
	Literatur	287

Abbildungsverzeichnis

1.1	Gründe für Komplexität in Unternehmen	1
1.2	Lebenszyklus modularer Produktarchitekturen	4
1.3	Bedarf eines modularen Variantenmanagements	5
1.4	Aspekte der Problemstellung	9
1.5	Aspekte eines modularen Variantenmanagements	11
1.6	Ableitung der Forschungsfragen der Arbeit	15
1.7	Aufbau der Arbeit	17
2.1	Abgrenzung Komplexitätsbegriff	22
2.2	Gliederung Komplexitätskosten	24
2.3	Eigenschaften Komplexitätskosten	25
2.4	Komplexitätskostenstruktur in der Automobilbranche	27
2.5	Handlungsfelder des Variantenmanagements	29
2.6	Ursachen steigender Komplexität	30
2.7	Interne und externe strukturelle Komplexitätstreiber	32
2.8	Die Komplexitätsfalle	33
2.9	Der marktgetriebene Teufelskreis	34
2.10	Der technikgetriebene Teufelskreis	35
2.11	Transparente Darstellung der Komplexitätsauswirkungen erforderlich	36
2.12	Der Produktlebenszyklus	37
2.13	Die Produktarchitektur	45
2.14	Abgrenzung integraler zu modularer Produktarchitektur	46
2.15	Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen Produkt, Baukasten und Modul	49
2.16	Wesentliche Eigenschaften modularer Produkte	50

2.17	Strategien des Komplexitätsmanagements	51
2.18	Der Produktentstehungsprozess	58
2.19	Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren	59
2.20	Entkoppelter Entwicklungsprozess bei der Modularisierung	61
2.21	Modulentwicklung	62
3.1	Bedarf eines Variantenmanagements modularer Produktfamilien	65
3.2	Gründe einer modularen Produktarchitektur	67
3.3	Monetäre Auswirkungen modularer Strukturen	68
3.4	Branchenanalyse modulare Strategien	69
3.5	Wesentliche Baukastenprozesse zum Freigabe- und Änderungsmanagement	71
3.6	Kompatibilität neuer Module zum Baukasten sicherzustellen	72
3.7	Basis eines Variantenmanagements	74
3.8	Allgemeine Anforderungen an Methodik	75
3.9	Anforderungen an Methodik hinsichtlich der Charakteristika modularer Produktfamilien	79
3.10	Anforderungen an Methodik zur Entscheidungsunterstützung	80
3.11	Positionierung der Arbeit	81
3.12	Gesamtanforderungen an die Methodik	83
3.13	Methodenanalyse	84
3.14	Literaturrecherche: Stabilität modularer Produktfamilien	85
3.15	Vorgehensweise DSM	86
3.16	Design Structure Matrix (DSM)	87
3.17	Modular Function Deployment (MFD))	88
3.18	Module Indication Matrix (MIM) am Beispiel eines Staubsaugers	89
3.19	Variant Mode and Effect Analysis (VMEA) Methode	91
3.20	Design for Adaptability (DFA) Methodik	92
3.21	GVI (a) und CI (b) Indizes Berechnung	95
3.22	Variant Management Funnel	97
3.23	Methode der Produktfamilienpflege	99
3.24	Modularisierungs-Balanced Scorecard	101

3.25	Literaturrecherche: Komplexitätskosten modularer Produktfamilien	103
3.26	Complexity Cost Management Approach	104
3.27	Kostenorientierte Bewertung modularer Produktfamilien	106
3.28	Die Prozesskostenrechnung (PKR)	108
3.29	Kostenfunktion als Nomogramm)	110
3.30	Ablaufschritte der Komplexitätskostenanalyse)	112
3.31	Integriertes Variantenmanagement)	114
3.32	Activity Based Costing Analysis)	115
3.33	Bewertungsschema Methodenmatrix	117
4.1	Einordnung in den Modulentstehungsprozess	126
4.2	Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung	131
4.3	Anwendung des Rahmenwerkes	135
4.4	Bewertung des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur	137
4.5	Verbesserung der Wiederverwendungsrate	140
4.6	Schema der Methodik	141
4.7	Gesamtaufbau der Methodik	143
4.8	Definition der Referenzbeispiele	147
4.9	Durchführung der Komplexitätsinterviews	150
4.10	Vorlage der Tätigkeitsanalyse	152
4.11	Erstellung der Strategy-Contribution-Map	156
4.12	Strategy-Contribution-Map	159
4.13	Vorgehensweise bei Variantenentscheidungen	161
4.14	Szenarien der Weiterentwicklung der modularen Produktarchitektur	161
4.15	Komplexitätsbewertung neuer Variantenszenarien	164
4.16	Strategische Bewertung neuer Variantenszenarien	168
4.17	Einfluss neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur	170
4.18	Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart	172
4.19	Spannungsfeld der Variantenbewertung	173
4.20	Flussdiagramm der Methodenimplementierung	175
4.21	Eingabemaske Methodik	177

4.22	Implementierung der Komplexitätsbewertung	179
4.23	Implementierung der strategischen Bewertung	181
4.24	Implementierung der Auswirkungen auf modulare Struktur	182
4.25	Implementierung des Cockpit Charts	183
5.1	Auswahl des Forschungsdesigns	194
5.2	Auswahl des Fallstudiendesigns	195
5.3	Möglichkeiten der Datensammlung	197
5.4	Skalenform Fragebogen	203
5.5	Fragebogen 1: Struktur der Komplexitätskostenmethode	204
5.6	Fragebogen 1: Durchführbarkeit der Komplexitätskostenmethode	204
5.7	Fragebogen 1: Ergebnisse der Komplexitätskostenmethode	205
5.8	Fragebogen 2: Struktur der Methodik	205
5.9	Fragebogen 2: Durchführbarkeit der Methodik	206
5.10	Fragebogen 2: Ergebnisse der Methodik	206
5.11	Junkers Cerapur 9000i	209
5.12	Schema eines modularen Boilers	209
5.13	Varietenanfrage an das Elektronikmodul	211
5.14	Szenarienvorstellung	212
5.15	Validierung der Erstellung von Referenzbeispielen	214
5.16	Validierung der Komplexitätsinterview-Methode	218
5.17	Validierung der Strategy-Contribution-Map	223
5.18	Starten der Methodik, Eingabemaske	229
5.19	Ausgefüllte Eingabemaske der Variantenbewertung	230
5.20	Komplexitätskostenableitung	232
5.21	Komplexitätskostenbewertung der Alternativszenarien	234
5.22	Auswahl relevanter Strategieelemente	236
5.23	Bewertung des strategischen Einflusses	237
5.24	Bewertung des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur	238
5.25	Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart	241
5.26	Spannungsfeld der Ergebniszusammenfassung	242
A.1	Methodikenaufbau	262

A.2	Fragebogen 1: Titelseite	264
A.3	Fragebogen 1: Fragenkatalog	265
A.4	Fragebogen 1: Schlussseite	266
A.5	Fragebogen 2: Titelseite	267
A.6	Fragebogen 2: Fragenkatalog	268
A.7	Fragebogen 2: Schlussseite	269
A.8	Vergrößerung: Komplexitätsbewertung neuer Variantenszenarien	272
A.9	Vergrößerung: Strategische Bewertung neuer Variantenszenarien	273
A.10	Vergrößerung: Einfluss neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur	274
A.11	Vergrößerung: Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart	275
A.12	Vergrößerung: Eingabemaske Methodik	276
A.13	Vergrößerung: Implementierung der Komplexitätsbewertung . .	277
A.14	Vergrößerung: Implementierung der strategischen Bewertung . .	278
A.15	Vergrößerung: Implementierung der Auswirkungen auf modulare Struktur	279
A.16	Vergrößerung: Implementierung des Cockpit Charts	280
A.17	Vergrößerung: Starten der Methodik	281
A.18	Vergrößerung: Komplexitätskostenbewertung der Alternativszenarien	282
A.19	Vergrößerung: Bewertung des strategischen Einflusses	283
A.20	Vergrößerung: Bewertung des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur	284
A.21	Vergrößerung: Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart	285

Tabellenverzeichnis

1.1	Ursachen neuer Varianten und technischer Änderungen	7
2.1	Auswirkungen neuer Varianten in Forschung und Entwicklung	38
2.2	Auswirkungen neuer Varianten im Einkauf	39
2.3	Auswirkungen neuer Varianten auf Produktion und Logistik	40
2.4	Auswirkungen neuer Varianten in Marketing und Vertrieb	41
2.5	Erfolgsfaktoren modularer Produktarchitekturen	54
2.6	Defizite modularer Produktfamilien	56
3.1	Methodenbewertung Literaturrecherche I	118
3.2	Methodenbewertung Literaturrecherche II	119
4.1	Personenkreis der Methodik	128
5.1	Festlegung der Datensammlung Teil I	199
5.2	Festlegung der Datensammlung Teil II	200
5.3	Fragebogenauswertung Komplexitätsinterviews	220
5.4	Validierungsergebnisse der Methodenvorleistung	226
5.5	Fragebogenauswertung Methodenanwendung	245
5.6	Validierungsergebnisse der Methodenanwendung	247

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
a_{ml}	Dauer des Modullebenszyklus in Jahren
ABC	Activity Based Costing
CAD	Computer-Aided Design (rechnerunterstütztes Konstruieren)
CC(x)	Komplexitätskosten des Referenzbeispiels x
COS	Unternehmensstrategie
DfA	Design for Adaptability
DfV	Design for Variety
DfX	Design for X
DIN	Deutsche Industrienorm
DSM	Design Structure Matrix
etc.	et cetera
F&E	Forschung und Entwicklung
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
I/Os	Ein- und Ausgang
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
$m_{o,i,x}$	Summe aller direkten monetären Aufwände
$m_{r,i,x}$	Summe der laufenden monetären Aufwände
M-BSC	Modularisierungs-Balanced Scorecard
MFD	Modular Function Deployment
MIM	Module Indication Matrix
ModPA	Modulare Produktarchitektur
MU	Geldeinheit
M-variante	Modulvariante

PCB	Printed Circuit Board (Leiterplatte)
PKR	Prozesskostenrechnung
PLM	Produktlebenszyklusmanagement
POS	Portfoliostrategie
PRS	Produktarchitekturstrategie
QFD	Quality Function Deployment
r_i	Abteilungskostensatz der Abteilung i
R&D	Research and Development (Forschung und Entwicklung)
RPK	Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung
$t_{o,i,x}$	Summe aller initialen Aufwände in Stunden
$t_{r,i,x}$	Summe aller wiederkehrenden Aufwände in Stunden
TP	Teilprozess
TU	Zeiteinheit
VBA	Visual Basic für Applikationen
VM _{ahead}	Holistisches Variantenmanagement modularer Produktfamilien
VMEA	Variantenorientierte Produktgestaltung und Effektanalyse
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Die Einführung dieser Arbeit beschäftigt sich zunächst mit dem Bedarf einer neuen Methodik zur Unterstützung von Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien (Abschnitt 1.1). In Abschnitt 1.2 werden die Ausgangssituation und die mit ihr verbundenen Probleme thematisiert. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 1.3 die Zielsetzung der Arbeit abgeleitet. Zuletzt wird in Abschnitt 1.4 der Aufbau der Arbeit vorgestellt.

1.1. Motivation

Unternehmen sehen sich mit den Herausforderungen einer immer größer werdenden Komplexität konfrontiert. Die Ursachen sind vielfältig: Globalisierungseffekte, die Nachfrage nach individuelleren Produkten, verkürzte Produktlebenszyklen und nicht zuletzt die wachsende Bedeutung von Nischenmärkten [LMB09, S. 5 f.]. Eine Übersicht der Gründe ist in Abbildung 1.1 dargestellt.

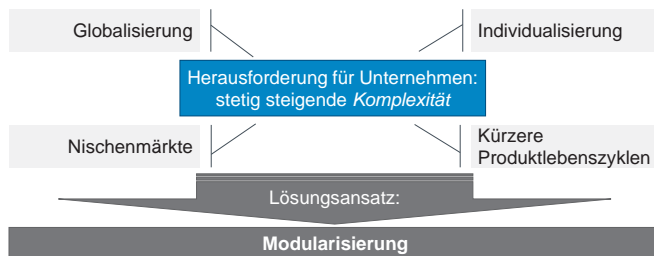


Abbildung 1.1: Gründe für Komplexität in Unternehmen

Die Globalisierung ist der wichtigste Haupttreiber für Komplexität. Globalisierte Märkte ermöglichen, dass Unternehmen ihre Produkte weltweit anbieten können. Dies hat zur Folge, dass Produkte den jeweiligen nationalen sowie regionalen Kundenwünschen und Gesetzgebungen entsprechen müssen, was zu einer erhöhten Produktvarianz führt [Abd08, S. 1; Bro14, S. 1]. Offene Märkte bieten ein vergrößertes Angebot an Produkten, aus denen Käufer wählen können. Ihnen steht die Möglichkeit offen, vielschichtige Informationen über die angebotenen Produkte zu sammeln. Der Wandel von einem Verkäufer- hin zu einem Käufermarkt ist das Resultat [LMB09, S. 5 f.].

Der Wunsch nach verstärkter Individualisierung, in Kombination mit einem entstehenden Käufermarkt, führt zu einer erhöhten Nachfrage nach kundenspezifischen Produkten [LMB09, S. 5 f.]. Die Produktlebenszyklen werden kürzer, was ebenfalls zu einer steigenden Komplexität führt [ESEPSTB13, S. 629]. Viele Geschäftszweige erwirtschaften in der heutigen Zeit mit 20% ihrer Produktvarianten nicht mehr 80% des gesamten Umsatzes¹, das heißt, Nischen haben zunehmend an Bedeutung gewonnen [LMB09, S. 6; And07, S. 1 ff.]. Die steigende Relevanz von Nischenmärkten geht mit einer hohen Anzahl von Varianten einher und hat damit eine erhöhte Komplexität zur Folge. Neben diesen Haupttreibern führen neue Funktionen, die Möglichkeit der Verwendung neuer Materialien und Technologien, der Trend zur Funktionsintegration und Miniaturisierung sowie der Bedarf nach einer stärkeren Differenzierung zu immer komplexeren Produkten und somit auch zu immer komplexeren Unternehmensprozessen [LRZ06, S. 1].

Es existieren diverse Strategien, um der steigenden Komplexität zu begegnen. Ein Konzept, das in den letzten Jahrzehnten stärker in den Fokus rückte, ist die modulare Produktarchitektur [BC06, S. 175]. Hierbei wird eine komplexe Produktfamilie in ihre einzelnen Elemente aufgeteilt, welche dann spezifischen Modulen zugeordnet werden. Die Interaktion der einzelnen Module wird auf möglichst wenige standardisierte Schnittstellen begrenzt [Ski15, S. 1]. Eine effizientere Handhabung der internen Unternehmenskomplexität mittels

¹ Das Pareto Prinzip besagt, dass 20% der Ursachen für 80% des Auswirkungen verantwortlich sind [LMB09, S. 6].

einer modularen Produktarchitektur kann durch deren Charakteristika, modulare Designregeln genannt, begründet werden. Eine modulare Produktarchitektur ist durch eine eins-zu-eins Zuordnung von funktionalen Elementen zu den physischen Komponenten des Produktes sowie durch standardisierte, entkoppelte Schnittstellen zwischen den Komponenten, auch Module genannt, gekennzeichnet [Ulr95, S. 422]. Dadurch wird die Gesamtkomplexität in kleinere, überschaubare Einheiten aufgeteilt, die parallel entwickelt werden können [BC06, S. 1]. Die Nutzung von Kommunalitäten innerhalb der modularen Struktur führt zu einer weiteren Komplexitätsreduzierung.

Der Lebenszyklus einer modularen Produktarchitektur unterteilt sich in zwei Phasen: die Implementierungsphase und die Nutzungsphase. In der ersten Phase wird die modulare Produktarchitektur initiiert und ein initialer Baukasten erstellt. In Phase zwei werden neue Produkte aus dem bestehenden Baukasten aufgebaut. Die Implementierung der modularen Produktarchitektur ist sehr aufwändig. Diese Aufwände werden jedoch in der Nutzungsphase der modularen Struktur durch eine effizientere Komplexitätshandhabung kompensiert [JT05, S. 375]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die modulare Produktarchitektur nicht beständig ist [WBHSO16a, S. 595]. Entscheidungen über neue Module und Modulvarianten, die neue Marktanforderungen erfüllen, müssen getroffen werden. Dabei sind sowohl die modularen Designregeln, als auch Kommunalitäten innerhalb der modularen Produktfamilie sicherzustellen [BBGK15, S. 1 ff.].

Neue Varianten, welche auf Basis einer modularen Produktarchitektur entworfen wurden, können die interne Komplexität des Unternehmens jedoch auf eine vorteilhafte oder nachteilige Weise beeinflussen [BBGK15, S. 9]. Aus diesem Grund müssen die Auswirkungen neuer Module und Modulvarianten wie auch Produktvarianten bewertet werden. Dazu ist ein systematischer Ansatz erforderlich, der eine ganzheitliche Bewertung neuer Variantenkonzepte ermöglicht. Methodische Unterstützung für den Aufbau einer modularen Produktarchitektur ist ausreichend vorhanden [JT05, S. 379]. Die Wissenschaft thematisiert die Nutzungsphase modularer Strukturen allerdings nur unzureichend, obwohl in der Industrie methodische Unterstützung gefordert wird [BBGK15, S. 5;

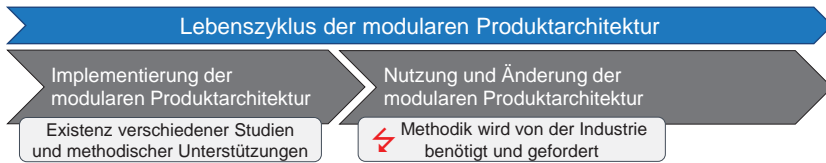


Abbildung 1.2: Lebenszyklus modularer Produktarchitekturen

WBHSO16a, S. 597]. Der Lebenszyklus der modularen Produktarchitektur und der erläuterte Methodenbedarf in der Nutzungsphase ist in Abbildung 1.2 visualisiert.

Die vorliegende Arbeit soll diese Forschungslücke schließen und präsentiert einen Ansatz zur holistischen Bewertung von Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien. Dabei sollen nur Konzepte neuer Module und Modulvarianten Berücksichtigung finden, welche die modulare Struktur über deren Lebensdauer hinweg vorteilhaft weiterentwickeln.

1.2. Ausgangssituation und Problemstellung

Die Implementierung einer modularen Produktarchitektur ist mit hoher fachlicher Kompetenz, großem Koordinationsaufwand und hohen Kosten verbunden. In dieser Phase ist sie kostspieliger als die Entwicklung eines klassischen Designs [JT05, S. 375]. Hintergrund ist, dass bei der Entwicklung des initialen Modulbaukastens die architekturelevanten Anforderungen aller Produkte in den Modulen zu berücksichtigen sind, die diese verwenden [JT05, S. 375 f.; WBO15, S. 1551]. Eine Vielzahl von Methodiken und wissenschaftlichen Arbeiten zur Unterstützung existiert. Aufgrund dessen ist diese Phase in Abbildung 1.3 als unkritisch markiert.

Anschließend kommt die Nutzungsphase der modularen Produktarchitektur. Hier werden neue Produkte durch das Zusammenführen bestehender Module und Modulvarianten aus dem Baukasten aufgebaut [WBO15, S. 1551]. Der initiale Modulbaukasten ist jedoch nur solange ausreichend, wie die Module

den Marktanforderungen der neuen Produkte entsprechen können. Ab einem gewissen Zeitpunkt wird dies nicht mehr der Fall sein. Konzeptentscheidungen über neue Module, Modulvarianten und Produkte, beziehungsweise über technische Änderungen der bestehenden Varianten, müssen getroffen werden (siehe Abbildung 1.3).

Für Variantenentscheidungen benötigt ein Unternehmen ein Kontrollinstrument, um der Gefahr einer ansteigenden Komplexität gerecht zu werden [Sch05, S. 294]. Ohne solch methodische Unterstützung führt dies, basierend auf konventionellen Kostenkalkulationen, zu Variantenentscheidungen ohne Berücksichtigung von Komplexität und ihren Kosten [EKL07, S. 270 f.; WBHSO16a, S. 596]. Eine konsequente Bewertung verschiedener Variantenszenarien [Ald06, S. 231] ist durch unkoordinierte Entscheidungen nicht sichergestellt, die Wiederverwendungsrate wird gefährdet. Darüber hinaus bedrohen ad hoc Entscheidungen die modularen Designregeln, durch die Vernachlässigung einer sorgfältigen Entscheidungs- und Szenarienvorbereitung. Diese Unzulänglichkeiten und ihre Auswirkungen sind in Abbildung 1.3 dargestellt.

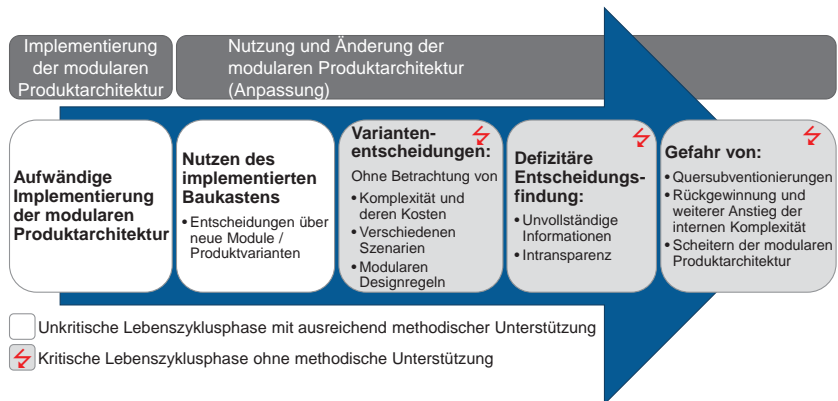


Abbildung 1.3: Bedarf eines modularen Variantenmanagements

Die fehlende Kalkulation von Komplexität und Komplexitätskosten, die nicht vorhandene Betrachtung unterschiedlicher Szenarien sowie die unzureichende Berücksichtigung der modularen Designregeln resultiert im nächsten Schritt zu einer defizitären Entscheidungsfindung. Entscheidungen basieren auf unvollständigen Informationen, da relevante Szenarien nicht berücksichtigt werden und nicht alle Gesichtspunkte für eine Variantenentscheidung beleuchtet worden sind [Ald06, S. 229]. Zudem herrscht mangelnde Transparenz über die Auswirkungen der möglichen Entscheidungsalternativen. Erst mit der Bewertung der entstehenden Komplexität und der zugehörigen Komplexitätskosten lassen sich die Konsequenzen der einzelnen Konzepte auf das Unternehmen überblicken [Boh98, S. 11].

Diese defizitären Entscheidungen resultieren häufig in ungewollten Quersubventionierungen, das heißt, neue Module, Modulvarianten und Produkte scheinen durch nicht verursachungsgerechte Kostenzuordnung rentabler, als sie es in Wirklichkeit sind [Sch05, S. 21]. Diese Intransparenz der Komplexität führt dazu, dass oftmals nicht die Ursachen der Komplexität angegangen werden, also Varianten von vornherein zu verhindern, sondern häufig nur bei den Symptomen der Komplexität angesetzt wird [Sch05, S. 21]. Zudem führt die Vielzahl von Variantenanfragen und Änderungen zu einem Anstieg neuer Teile, die wiederum zusätzliche Prozess- und Produktkosten mit sich bringen. Ein ungewollter Anstieg der internen Komplexität ist das Ergebnis [Wil08, S. 35].

Gründe für neue Varianten und technische Änderungen innerhalb der Lebensdauer der modularen Produktarchitektur sind vielseitig [Wil08, S. 18 ff.]. Diese können durch externe Wirkungen, wie immer kürzer werdende Produkt- und Innovationszyklen, aber auch interne Ursachen, wie das Bemühen um kontinuierliche Verbesserung, hervorgerufen werden [Wil08, S. 2]. Die Ursachen dieser Varianten und technischen Änderungen lassen sich zunächst in zwei Gruppen unterteilen. In die gewollten beziehungsweise bewussten Varianten und technischen Änderungen und in die ungewollten, zu vermeidenden. Die gewollten Varianten werden hervorgerufen durch Qualitätsmängel, Rationalisierungspotentiale und durch das Ziel der Steigerung des Kundennutzens [Gem95, S. 74 ff.; Gil13, S. 65 ff.]. Ungewollte Varianten resultieren aus den

Tabelle 1.1: Ursachen neuer Varianten und technischer Änderungen [Gem95, S. 74 ff.; EKL07, S. 270 f.]

Ursachen neuer Varianten und technischer Änderungen		
Gewollte (bewusste) Ursachen	Qualitätsmängel	<ul style="list-style-type: none"> - Sicherheitsmängel - Qualitätsverbesserung am Produkt - Qualitätsverbesserung am Prozess - Folge einer FMEA
	Rationalisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> - Vereinfachte Fertigung - Logistische Vereinfachung - Direkte Kostenreduktion - Indirekte Kostenreduktion - Folge einer Wertanalyse - Folge von Produktkostenoptimierungen
	Kundennutzensteigerung	<ul style="list-style-type: none"> - Veränderte Normen und Gesetze - Änderungen nach Kundenauftrag - Wertsteigerung des Produktes (subjektiv) - Verkaufsargumente von Marketing / Vertrieb - Technologiefortschritt aus Entwicklersicht
Ungewollte Ursachen	<ul style="list-style-type: none"> - Mangelnde Kooperation und Koordination zwischen den Unternehmensbereichen - Unerwartetes, impulsives Managementverhalten, das unkoordinierte Produktentscheidungen mit sich führt - Chaotische, ungeordnete Änderungsprozesse - Verwendung konventioneller Kostenkalkulationen - Dominanz der Marketingabteilung - Kundenspezifische Lösungen, die als Türöffner dienen 	

Defiziten im technischen beziehungsweise organisatorischen Unternehmensumfeld und sollten möglichst vermieden werden [EKL07, S. 270]. Gründe und Ursachen beider Gruppen sind in Tabelle 1.1 dargestellt.

Gemmerich (1995) ermittelte die Hauptursachen von gewollten technischen Änderungen. Neue Varianten aufgrund von Qualitätsmängeln können Folge von Sicherheitsmängeln oder Qualitätsverbesserungen am Produkt beziehungsweise am Prozess sein oder aus einer FMEA² resultieren. Variantengenerierungen aufgrund eines Rationalisierungspotenzials werden beispielsweise hervorgerufen durch die Möglichkeit einer vereinfachten Fertigung oder ver-

² Die Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (FMEA) ist eine Methode zur entwicklungs- und planungsbegleitenden Analyse eines Systems und dessen Risiken [VDA12, S. 3]

einfachen logistischen Prozessen. Technische Änderungen werden häufig veranlasst durch eine Kundennutzensteigerung basierend auf veränderten Normen und Gesetzen, Änderungen nach Eingang des Kundenauftrages oder Technologiefortschritten [Gem95, S. 76].

Zudem gibt es eine Vielzahl interner Ursachen für die wachsende Anzahl von Varianten, die in Organisationsdefiziten begründet sind. Hierzu zählt eine mangelhafte Kooperation und Koordination zwischen den einzelnen Unternehmensbereichen sowie unerwartetes, impulsives Managementverhalten, das unkoordinierte Produktentscheidungen zur Folge hat. Auch chaotische, ungeordnete Änderungsprozesse, die Verwendung konventioneller Kostenkalkulationen und die Dominanz der Marketingabteilungen führen zu ungewollter Varianz [EKL07, S. 270 f.].

Mit der Modularisierung alleine lassen sich keine Risiken vermeiden, welche mit wiederkehrenden Variantenentscheidungen über die Lebensdauer der modularen Struktur hinweg auftreten. Sie bildet vielmehr den Rahmen für eine effiziente interne Unternehmenskomplexität. Während der Verwendung einer implementierten modularen Produktarchitektur kann es jedoch immer wieder zu Variantenanforderungen kommen, die die interne Komplexität unvorteilhaft ansteigen lässt [WBHSO16b, S. 1437]. Solche Varianten gilt es durch methodische Unterstützung der Nutzungsphase der modularen Produktarchitektur zu verhindern.

Für die Nutzungsphase einer modularen Struktur gibt es jedoch nur wenig methodische Unterstützung, wie bereits erläutert. Doch gerade weil die modulare Struktur und der Modulbaukasten Änderungen unterliegen, wird hier ein Verfahren gefordert, das eine zukunftsfähige, stabile modulare Produktarchitektur sicherstellt [BGK14, S. 124]. Die nachfolgende Problemstellung lässt sich aus dieser Forderung ableiten.

Problemstellung der Arbeit:

Um eine nachhaltig stabile („gepflegte“) modulare Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg sicherzustellen, ist ein Kontrollinstrument zur Beherrschung der Variantenvielfalt gefordert.

Unter dem Begriff 'stabil' wird hier die Sicherstellung einer optimalen internen Komplexität sowie die Einhaltung der modularen Designregeln, über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg, verstanden. Diese Definition ist angelehnt an Bahns, Beckmann, Gebhardt und Krause 2015, die die Zukunftsfähigkeit („Sustainability“) modularer Produktarchitekturen mittels der Sicherstellung von Kommunalitäten beschreiben.

Definition: Stabilität modularer Produktarchitektur

Sicherstellung einer optimalen internen Komplexität sowie Einhaltung der modularen Designregeln über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg.

Die Problemstellung der Arbeit lässt sich weiterhin in fünf Unteraspekte gliedern, wie in Abbildung 1.4 dargestellt. Zunächst muss eine Methodik zur Sicherstellung der Stabilität modularer Produktfamilien eine Entscheidungsunterstützung bieten. Diese muss es ermöglichen die modulare Produktfamilie nur in solch einer Weise weiterzuentwickeln, die vorteilhaft für die interne Unternehmenskomplexität ist. Eine Entscheidungsunterstützung hat dabei alle relevanten Aspekte für solch eine Entscheidung abzudecken und erlaubt somit eine ganzheitliche Betrachtung. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Methodik den Charakteristika der modularen Produktarchitektur gerecht wird. Dazu ist die Sicherstellung der Stabilität der modularen Struktur durch Einhaltung der modularen Designregeln sowie die Sicherstellung einer im Unternehmen optimalen internen Komplexität notwendig. Für die Sicherstellung dieser optimalen Komplexität ist die monetäre Bewertung von Bedeutung.

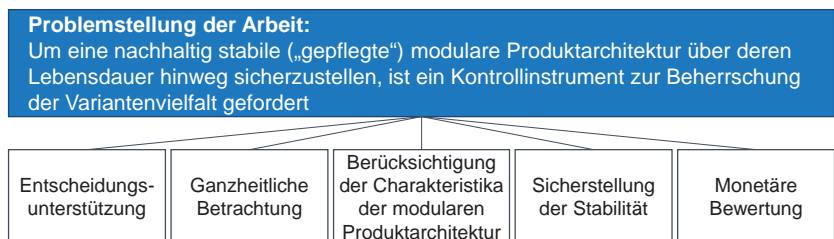


Abbildung 1.4: Aspekte der Problemstellung

Die Anforderungen, die an solch eine methodische Unterstützung gestellt werden und somit zu einer Lösung der beschriebenen Problemstellung führen, werden im nachfolgenden Abschnitt (1.3) vorgestellt.

1.3. Zielsetzung der Arbeit

If you can't measure it, you can't manage it.
Cooper, Kaplan 1996

In der Problemstellung der Arbeit konnte der Bedarf eines Kontrollinstruments zur Beherrschung der Variantenvielfalt während der Betreuung modularer Produktfamilien herausgestellt werden. Methodische Unterstützung zur Bestimmung einer optimalen Variantenvielfalt traditioneller, also integraler, Produktarchitekturen gibt es reichlich. Eine zugeschnittene Methodik, die den Charakteristika modularer Produktarchitekturen gerecht wird und zudem alle relevanten Aspekte zur Entscheidungsfindung berücksichtigt, ist jedoch nicht vorhanden.

Grundlegendes Ziel eines Variantenmanagements ist es, Transparenz über die Auswirkungen von Vielfaltentscheidungen auf das Unternehmen herzustellen und damit eine mit der "Unternehmensstrategie konforme Gestaltung, Lenkung und Kontrolle der Variantenvielfalt"[Hei99, S. 36] zu ermöglichen. Zur Erzeugung der notwendigen Transparenz bei Variantenentscheidungen modularer Strukturen müssen die folgenden drei Aspekte bewertet werden: Kosten und Nutzen möglicher Variantenszenarien, Beitrag zur strategischen Ausrichtung des Unternehmens und Einfluss auf die modulare Produktarchitektur. Diese drei Aspekte sind in Abbildung 1.5 wiedergegeben und werden im nachfolgenden genauer erläutert.

Die Auswirkungen neuer Varianten auf das Unternehmen, durch Komplexitätskosten beziffert, sind für eine Entscheidungsgrundlage unumgänglich. Erst durch erwartete Komplexitätskosten und ebenso erwartetem Nutzen der Szenarien lässt sich ausreichende Transparenz erzeugen [Hei99, S. 35]. Komple-

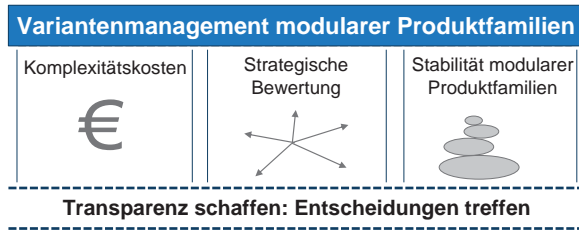


Abbildung 1.5: Aspekte eines modularen Variantenmanagements

xitätskosten sind typischerweise Basis in klassischen Variantenmanagement Methodiken und sind ebenso eine wichtige Variable für Variantenentscheidungen modularer Produktarchitekturen. Dazu werden Komplexitätskosten bei einer Entscheidung dem Nutzen neuer Varianten gegenübergestellt [Hei99, S. 35]. Demnach müssen die resultierenden Gemeinkosten eines Unternehmens, welche durch die Erzeugung und anschließende Betreuung neuer Varianten entstehen, der erwarteten Profitabilität, durch erhöhte Deckungsbeiträge, Umsatzerhöhung oder Produktkosteneinsparungen, gegenübergestellt werden.

Neben den monetären Effekten dient die zusätzliche qualitative Bewertung strategischer Aspekte der besseren Bewertung möglicher Variantenkonzepte [ENS06, S. 647]. Ziel ist es, sicherzustellen, dass zukünftige Varianten im Einklang mit der Unternehmens- und auch Produktstrategie sind [Rau11, S. 5]. Gerade bei modularen Strukturen, mit dem Ziel der Wiederverwendung einzelner Module in verschiedenen Produkten, besteht eine erhöhte Relevanz der Berücksichtigung strategischer Aspekte [WBO15, S. 1552]. Basierend auf dieser Bewertung kann aus verschiedenen Modul- und Modulvariantenkonzepten ein geeignetes ausgewählt werden [Ava07, S. 38].

Weiterhin ist die Beachtung der modularen Designregeln über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg sicherzustellen [BC06, S. 175 ff.]. Nur wenn die neuen Module und Modulvarianten mit den modularen Designregeln kompatibel sind, kann der Erfolg der modularen Produktarchitektur gewährleistet werden [WBHSO16b, S. 1438 ff.]. Eine Bewertung, ob die modularen Designregeln in neuen Modulen oder deren Varianten Beach-

tion finden, muss somit bereits in den frühen Entwicklungsphasen Berücksichtigung finden und ist ein wichtiger Entscheidungsfaktor bei der Auswahl eines geeigneten Variantenkonzeptes. Die reine Betrachtung von Komplexitätskosten kann dieser Anforderung nicht gerecht werden, da die Berücksichtigung der modularen Designregeln nur unzureichend bei der Komplexitätskostenbewertung gewährleistet wird und die Gefahr besteht, dass solch eine gravierende Verletzung unbemerkt bleibt.

Die Verwendung klassischer Variantenmanagement Methodiken, die den Ansprüchen integraler Produktarchitekturen gerecht werden, ist nicht ausreichend für eine modulare Produktfamilie [Ava07, S. 4]. Bereits durch den Bedarf der Berücksichtigung der modularen Designregeln bei Variantenentscheidungen, hebt sich ein modulares von einem klassischen Variantenmanagement ab. Aber auch die Bewertung der Komplexitätskosten und der strategischen Aspekte muss auf die Charakteristika modularer Strukturen angepasst werden. Nur so kann ein Variantenmanagement den Anforderungen modularer Produktarchitekturen entsprechen. Trotz eines gestiegenen Bewusstseins für den Bedarf zugeschnittener Methodiken auf die Anforderungen modularer Produktarchitekturen werden in der Praxis häufig Methodiken klassischer, integraler Produktarchitekturen verwendet [Ava07, S. 4]. Wie jedoch bereits in Abschnitt 1.2 erläutert, ist der Bedarf eines speziell für modulare Produktarchitekturen zugeschnittenen Variantenmanagements von steigender Bedeutung. Das *holistische Variantenmanagement modularer Produktarchitekturen*, VM_{ahead} Methodik genannt, soll diese Lücke schließen.

Der Begriff holistisch beschreibt in diesem Fall den Zustand, dass alle relevanten Aspekte für die vorliegende Entscheidungssituation dargelegt werden und somit eine Variantenentscheidung unter Beleuchtung aller wichtigen Gesichtspunkte vorgenommen werden kann. Diese Definition ist abgeleitet von Lindemann, Maurer und Braun 2009, die sich mit einem holistischen Komplexitätsmanagement beschäftigt haben. Die bereits erläuterten drei Aspekte Komplexitätskosten, strategische Bewertung sowie Sicherstellung der stabilen modularen Produktarchitektur werden für solch eine gesamtheitliche Bewertung herangezogen.

Die vorliegende Arbeit beantwortet die Fragestellung, wie ein Variantenmanagement für modulare Produktarchitekturen aussehen sollte. Ziel ist dabei die Sicherstellung der Operationalisierbarkeit, um eine Anwendung in der Praxis sicherzustellen. Fokus der Arbeit liegt auf einem holistischen Variantenmanagement für die Gebrauchsgüterindustrie. Diese Hauptfragestellung ist in Forschungsfrage F0 zusammengefasst.

F0: Wie kann ein holistisches Variantenmanagement modularer Produktfamilien in der Gebrauchsgüterindustrie operationalisiert werden?

Um diese Hauptforschungsfrage zu beantworten, sind weitere Fragestellungen zu eruieren. Zunächst muss geklärt werden, welche Aspekte für ein holistisches Variantenmanagement relevant sind. In einer Vorauswahl wurden die drei Aspekte Komplexitätskosten, strategische Bewertung und Bewertung der Stabilität der modularen Produktarchitektur definiert. Der Bedarf weiterer Aspekte ist zu bewerten. Dies wird ihm Rahmen der Forschungsfrage F1 betrachtet.

F1: Welche Aspekte sind für ein holistisches Variantenmanagement zu berücksichtigen?

Neben den Aspekten, die relevant für eine Entscheidungsfindung neuer Varianten sind, werden weitere Gesichtspunkte definiert, die aufgrund der Charakteristika modularer Produktarchitekturen zu berücksichtigen sind. Je nach Relevanz sind die in F1 definierten Aspekte an eine modulare Produktarchitektur anzupassen. Der Bedarf von weiteren Aspekten, die relevant bei Variantenentscheidungen modularer Produktarchitekturen sind, ist durch Forschungsfrage F2 zu bewerten.

F2: Welche besonderen Aspekte sind bei modularen Produktfamilien im Zusammenhang mit einem Variantenmanagement zu beachten?

Besonderes Augenmerk muss auf die Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur gelegt werden. Demnach ist in der Forschungsfrage F3 zu untersuchen, inwieweit eine neue Variantenmanagement Methodik die Stabilität sicherstellen kann.

F3: Wie kann die Sicherstellung einer stabilen („gepflegten“) modularen Produktarchitektur in einem Variantenmanagement ermöglicht werden?

Komplexität und deren Kosten sind in klassischen Variantenmanagementmethoden ein wichtiger Bestandteil. Im Rahmen der Forschungsfrage F4 ist zu klären, inwieweit sich die Bewertung der Komplexität bei modularen Produktarchitekturen von integralen Produktarchitekturen unterscheidet. Neben dieser Untersuchung ist eine Operationalisierung der Komplexitätskosten modularer Produktarchitekturen Ziel der Methodik.

F4: Wie kann eine Operationalisierung von Komplexitätskosten modularer Produktfamilien ermöglicht werden?

Es ist zu prüfen, ob neben Komplexitätskosten bei Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien noch weitere Kostenaspekte relevant sind. Die Kalkulation dieser identifizierten Kostenaspekte, respektive finanzielle Nutzenaspekte, muss ebenfalls mit den Besonderheiten modularer Strukturen abgeglichen werden. Dies ist in Forschungsfrage F5 zu erarbeiten.

F5: Welche Kostenauswirkungen sind bei Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien zu betrachten?

Die vorgestellten Forschungsfragen sind in Abbildung 1.6 zusammengefasst. Dabei wurden die einzelnen Forschungsfragen den in Abschnitt 1.2 identifizierten Gesichtspunkten der Problemstellung zugeordnet.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen fügt sich die vorliegende Arbeit in den Schnittstellenbereich von ingenieurwissenschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Forschung ein [Göp98, S. 6; Ski15, S. 6]. Dabei liegt das Hauptaugenmerk im Bereich des Produktentwicklungsprozesses. Die ingenieurwissenschaftliche Forschung konzentriert sich hierbei auf die Weiterentwicklung modularer Produktfamilien über deren Lebensdauer hinweg. Im Fokus steht die Konzeptphase neuer Module und Modulvarianten. Die betriebswirtschaftliche Betrachtung befasst sich mit der Bewertung dieser neuen Varianten im Zuge einer Komplexitätskostenbetrachtung. Dabei ist die Forschung beschränkt auf

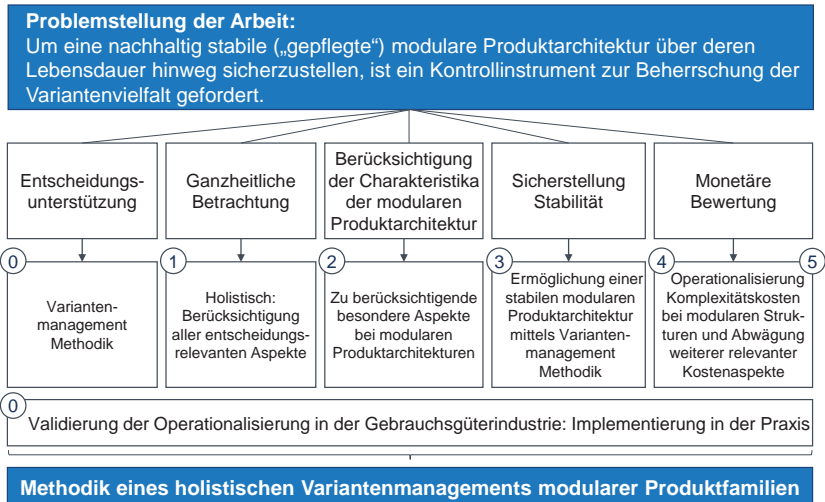


Abbildung 1.6: Ableitung der Forschungsfragen der Arbeit

materielle Produkte deren Komplexitätsmaß eine Modularisierung rechtfertigt und die in industrieller Fertigung hergestellt werden.

1.4. Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit dient zur Beantwortung der in Abschnitt 1.3 vorgestellten Forschungsfragen und wird durch Abbildung 1.7 visualisiert. Zunächst wurde in diesem einleitenden Kapitel die Motivation sowie die Ausgangssituation und Problemstellung der Arbeit, gefolgt von den Zielsetzungen, erläutert. Daran anschließend werden in Kapitel 2 die Grundlagen für die Arbeit erarbeitet. Dabei werden zunächst die für die weitere Arbeit wichtigen begrifflichen Grundlagen definiert. Darauf aufbauend werden die Ursachen und Auswirkungen von Komplexität vorgestellt und der Themenkomplex Modularisierung dargelegt.

In Kapitel 3, Stand der Technik in Wirtschaft und Wissenschaft, wird der Bedarf einer Variantenmanagement Methodik für modulare Produktarchitekturen untersucht. Anschließend werden die Anforderungen, die an ein holistisches Variantenmanagement für modulare Produktarchitekturen gestellt werden, erarbeitet. Basierend darauf werden bestehende Ansätze zur Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur sowie zur Bewertung von Komplexitätskosten eruiert. Abschließend werden diese bestehenden Methoden mit den definierten Anforderungen abgeglichen und bewertet.

Im Anschluss an den Stand der Technik wird im darauffolgenden Kapitel 4, Vorstellung der Methodik, ein Verfahren erläutert, das den Anforderungen an ein holistisches Variantenmanagement, speziell für modulare Produktarchitekturen, gerecht wird. Zunächst werden die Grundlagen der Methodik vorgestellt und hiernach wird deren Aufbau sowie Vorleistungen der Methodik dargestellt. In Folge wird die Anwendung und Implementierung der Methodik in der Unternehmenspraxis aufgezeigt. Im Anschluss wird die Methodik in Kapitel 5, Validierung der Methodik, in der Industriepraxis validiert. Dazu werden zunächst das Validierungsdesign und die Voraussetzungen zur Durchführung der Validierung dargestellt. Anschließend wird die Fallstudie beschrieben und die eigentliche Validierung erläutert.

Im letzten Kapitel 6, Zusammenfassung und Ausblick, wird eine zusammenfassende Betrachtung vorgenommen und mögliche Anknüpfungspunkte werden abgeleitet.



Abbildung 1.7: Aufbau der Arbeit

2. Grundlagen

In Kapitel 2 werden die Grundlagen zur Beantwortung der in Kapitel 1, Einleitung, herausgestellten Forschungsfragen gebildet. Dazu werden einleitend (Abschnitt 2.1) die begrifflichen Grundlagen geklärt. Anschließend werden in Abschnitt 2.2 die Ursachen erhöhter Komplexität in Unternehmen eruiert und darauf aufbauend die Auswirkungen von Komplexität in den verschiedenen Unternehmensbereichen (Abschnitt 2.3) besprochen. In Abschnitt 2.4 wird das Konzept einer modularen Produktarchitektur erläutert, da dieser Methodik zur Komplexitätsbeherrschung in der vorliegenden Arbeit besondere Bedeutung beigemessen wird. Abschließend wird in Abschnitt 2.5 der Produktentwicklungsprozess konventioneller wie auch modularer Produktarchitekturen vorgestellt, um anschließend die Arbeit in diesen einzuordnen.

2.1. Begriffliche Grundlagen

In diesem Abschnitt werden alle für ein besseres Verständnis der Arbeit wichtigen Begriffe definiert. Zunächst werden die Begriffe Variante und Vielfalt erläutert, daran anschließend werden die Termini Komplexität wie auch Komplexitätskosten und Komplexitätsmanagement festgeschrieben und vom Variantenmanagement abgegrenzt.

2.1.1. Varianten und Vielfalt

Varianten werden nach DIN 199 als „Gegenstände ähnlicher Form oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“

[DIN02] definiert. Damit ist eine Variante „eine Abweichung von einem Standard, einer Norm“ [Kir03, S. 42].

Bis hier ist der Begriff Variante noch relativ allgemein gehalten. Heina (1999) erweitert diese Definition um die Produktdimension und definiert eine Variante folgendermaßen: „Unterscheidet sich ein Produkt in mindestens einer Merkmalsausprägung von der Grundversion, liegt eine Variante vor“ [Hei99, S. 5]. Hierbei wird deutlich, dass eine Variante stets nur unter dem Dasein einer weiteren Variante erkennbar und somit nicht „für sich alleine bestimmbar ist“ [Buc12, S. 14].

Definition Variante:

Ist ein Gegenstand (Komponente, Produkt, etc.), der sich in mindestens einer Merkmalsausprägung von einer Grundversion unterscheidet.

Varianten selbst lassen sich gruppieren in Zeit-, Mengen- und Artvarianten [WB92, S. 51 ff.; Bro14, S. 12]. Artvarianten beschreiben die Ungleichheit eines Produktes bezüglich dessen Art. Mengenvarianten sind mittels des gleichen Produktionsprozesses gefertigte, aber in dessen Losgröße schwankende, Produkte. Zuletzt gibt es Zeitvarianten, womit die Veränderlichkeit eines Produktes und dessen Fabrikation über die Zeit zu verstehen ist [WB92, S. 51 ff.; Bro14, S. 12]. Eine weitere Abgrenzung des Variantenbegriffes ist möglich, wird hier jedoch nicht weiter verfolgt.

Der Term Vielfalt oder auch Varianz ist bei Artvarianten zu verwenden. Vielfalt bezeichnet eine Mehrzahl verschiedenartiger Varianten eines Typs [Kir03, S. 43]. Unter Variantenvielfalt wird die „Gesamtheit der vorhandenen Varianten eines Produktes“ [TP14, S. 169] verstanden. Buchholz (2012) erweitert diese Definition, indem sie zwischen „der Anzahl der verschiedenen Produktvarianten“ und „dem Grad ihrer Unterschiedlichkeit“ unterscheidet [Buc12, S. 23]. Der erweiterte Varianzbegriff wird in dieser Arbeit zugrunde gelegt.

Definition Vielfalt:

Beschreibt die Gesamtheit der Varianten eines Gegenstandes und ist charakterisiert durch die Anzahl der verschiedenen Produktvarianten und deren Unterschiedlichkeitsgrad.

Die Variantenvielfalt selbst kann als äußere oder innere Varianz auftreten. Die äußere respektive externe Vielfalt ist die nach außen sichtbare Angebotsvielfalt und somit die für den Kunden wahrgenommene Produktvarianz. In diesem Fall spricht man von nützlicher Varianz, da diese zur Erhöhung der Kundenzufriedenheit beiträgt. Die innere respektive interne Varianz spiegelt die für den Kunden nicht ersichtliche Menge an Prozessen, Komponenten und Baugruppen wider, die zur Realisierung der gewünschten äußeren Varianz benötigt werden. Tendenziell wird diese als schädlich betrachtet [Bay10, S. 20], denn Varianz ist nur dann sinnvoll, wenn sie für den Kunden einen Mehrwert bietet, indem die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten klar erkennbar sind [Ulr95, S. 428]. Ziel eines Unternehmens ist daher eine möglichst geringe interne Varianz bei gleichbleibender oder erhöhter externer Varianz [WBO15, S. 1552; BKBK10, S. 2].

2.1.2. Komplexität

Auch der Begriff Komplexität ist vielfältig. Ein breites Spektrum an Komplexitätsdefinitionen ist in der Wissenschaft vorhanden und verschiedene Disziplinen befassen sich mit dieser Thematik [LMB09, S. 25]. Ein einheitliches Begriffsverständnis gibt es jedoch nicht [Kir03, S. 12]. Abhängig vom jeweiligen Forschungsgebiet variieren die Interpretationen [Sch14, S. 14]. Voraussetzung für eine wissenschaftliche Forschung im Bereich Komplexität ist jedoch eine eindeutige Definition [Blo10, S. 5].

Simon (1962) charakterisiert Komplexität und komplexe Systeme durch die Vielzahl an Systemelementen, die auf eine nicht triviale Art miteinander agieren [Sim62, S. 468]. Damit ist Komplexität eine Eigenschaft eines Systems. Ulrich und Probst (1990) konkretisieren diese Definition. Neben der „Anzahl und Verschiedenheit der Elemente“ in einem System und der „Anzahl und Verschiedenheit der Beziehungen zwischen den Elementen“, spielt die Eigendynamik eines solchen Systems eine entscheidende Rolle [UP90, S. 58 ff.]. Die Autoren definieren Komplexität als „Fähigkeit eines Systems, in einer gegebenen Zeitspanne eine große Anzahl von verschiedenen Zuständen annehmen

zu können“ [UP90, S. 58]. Komplexität beschreibt damit den Sachverhalt, dass ein System, bestehend aus einer Vielzahl von Systemelementen und Beziehungen innerhalb dieser Elemente, „ungeheuer viele Zustände aufweisen kann“ [Mal08, S. 168]. Darauf aufbauend beschreiben Lindemann, Maurer und Braun (2009) Komplexität als Attribut eines Systems, dessen Ausprägungen numerischer, relationaler, variabler, disziplinarischer oder organisatorischer Natur sein können. Sowohl externe als auch interne Faktoren können die Komplexität eines Systems beeinflussen, jedoch können nur die internen Einflüsse kontrolliert werden [LMB09, S. 29 f.]

Zur weiteren Abgrenzung des Begriffes Komplexität ist eine Unterteilung von einfachen, komplizierten sowie relativ und äußerst komplexen Systemen notwendig (Abbildung 2.1). Ein einfaches System besteht aus wenigen Elementen und Einflussgrößen. Die Interaktionen zwischen den einzelnen Bestandteilen ist vorhersehbar und wenig ausgeprägt [Sch14, S. 15]. Komplizierte Systeme bestehen aus einer großen Anzahl an Elementen und Beziehungen zwischen diesen. Das Verhalten des Systems ist noch immer, wie auch beim einfachen System, deterministisch [Sch05, S. 5]. Komplexe Systeme sind durch eine hohe Eigendynamik gekennzeichnet. Eine hohe Vielfalt an Verhaltensmöglichkeiten sind Charakteristika derartiger Systeme. Dabei ist ein relativ komplexes System, welches aus nur wenigen Elementen und Beziehungen zwischen diesen

Vielzahl / Vielfalt hoch gering	Kompliziertes System	Äußerst komplexes System
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Viele Elemente und Beziehungen ▪ Wenige Verhaltensmöglichkeiten ▪ Stabile Wirkungsverläufe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vielzahl von unterschiedlichen Elementen mit vielfältigen Beziehungen ▪ Hohe Vielfalt an Verhaltensmöglichkeiten ▪ Veränderliche Wirkungsverläufe
	Einfaches System	Relativ komplexes System
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wenige Elemente und Beziehungen ▪ Wenige Verhaltensmöglichkeiten ▪ Stabile Wirkungsverläufe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wenige Elemente und Beziehungen ▪ Hohe Vielfalt an Verhaltensmöglichkeiten ▪ Veränderliche Wirkungsverläufe
	gering	hoch
	Veränderung / Eigendynamik	

Abbildung 2.1: Abgrenzung Komplexitätsbegriff [UP90; Sch14, S. 15]

besteht, bereits nicht vollständig beherrschbar [Sch05, S. 5]. Ein äußerst komplexes System weist neben der Eigendynamik zudem noch eine Vielzahl unterschiedlicher Elemente und vielfältige Beziehungen zwischen diesen auf. Das Komplexitätsmaß lässt sich hier durch die Anzahl der Elemente (Multiplizität), den wechselseitigen Beziehungen zwischen den Elementen (Interdependenz) und der Varianz der Elemente (Diversität) bestimmen. Je höher die jeweilige Anzahl, desto komplexer ist ein System [Sch14, S. 15].

Weiterhin ist Komplexität nach Gell-Mann (1996) abhängig vom jeweiligen Betrachtungshorizont. Die wahrgenommene Komplexität kann je nach Betrachtungsebene variieren. So kann ein System von weitem als weniger komplex erscheinen, als bei detaillierter Betrachtung [Blo10, S. 11]. Dieser Aspekt wird für die vorliegende Arbeit nicht weiter verfolgt.

Im Kontext dieser Arbeit ist die Komplexitätsdefinition abgeleitet von den genannten Definitionen. Komplexität wird hier definiert als Ausprägung eines Systems, welches beeinflusst werden kann durch die Anzahl, wie auch Varianz, der Komponenten in einem System sowie den Beziehungen zwischen den Elementen in einem System [WBHSO16a, S. 596 f.].

Definition Komplexität:

Ist eine Ausprägung eines Systems und wird mit steigendem Grad bestimmt durch die wachsende Anzahl der Komponenten und Varianten eines Systems sowie den Beziehungen zwischen den Elementen.

2.1.3. Komplexitätskosten

Wie gerade erläutert, geht eine steigende Komplexität mit einer größer werden Variantenvielfalt einher, welche durch zusätzliche Strukturbeanspruchungen Kosten mit sich bringen [Rat93, S. 20]. Diese Kosten werden Komplexitäts- oder auch Vielfaltskosten genannt. Komplexitätskosten beziffern die zusätzlichen Kosten der indirekten Unternehmensbereiche, die von der Komplexität betroffen sind [TB00, S. 1]. Beispiele für solche vielfaltsinduzierten Gemeinkosten sind Aufwände in der Planung, Verwaltung oder Konstruktion [Cae91,

S. 13]. Dabei können Komplexitätskosten sowohl durch Varianz in den Produkten, als auch in den Produktionsprozessen entstehen [EKLM14, S. 154].

Komplexität und die damit einhergehenden Kosten sind jedoch nur schwer messbar [Ski15, S. 48]. Aus diesem Grund erweitert Battenfeld (2001) die Komplexitätskosten-Definition um den Aspekt einer relativen Betrachtung. Damit werden Komplexitätskosten nicht als monetäre Aufwendungen einer vorherrschenden Komplexität betrachtet, sondern sind vielmehr die Mehrkosten einer zusätzlichen Variante, verglichen mit einem Ausgangskomplexitätsgrad [Bat01, S. 138].

Definition Komplexitätskosten:

Sind die monetären Aufwendungen eines Komplexitätsanstieges verursacht durch eine zusätzliche Variante.

Komplexitätskosten selbst können in direkte und indirekte Aufwendungen untergliedert werden [HP07, S. 655 ff.]. Eine beispielhafte Aufteilung ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Direkte Komplexitätskosten erhöhen die Unternehmensgemeinkosten proportional zum Produkt und sind beispielsweise Anschaffungskosten für Spezialwerkzeuge [HD97, S. 334 ff.; Sys06, S. 78].

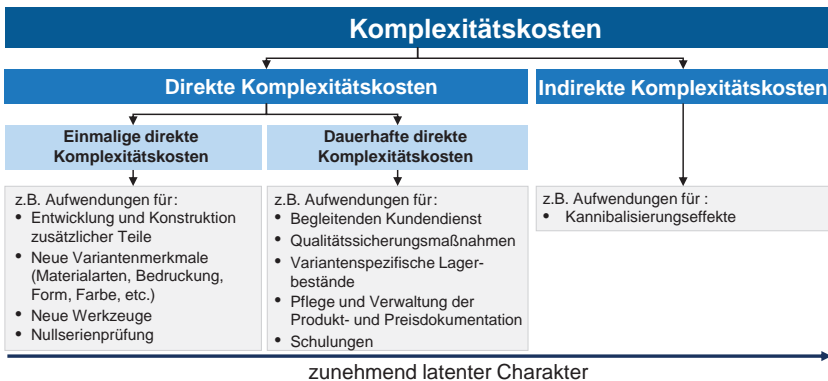


Abbildung 2.2: Gliederung Komplexitätskosten [HD97, S. 334; Bli00, S. 9; Gie10, S. 39]

Indirekte Komplexitätskosten treten in Form von Opportunitätskosten auf, falls Ressourcen im Unternehmen nicht optimal ausgenutzt werden [HD97, S. 334 ff.]. Ein überproportional erhöhter Koordinationsaufwand ist als Beispiel zu nennen [Sys06, S. 79 ff.]. Weiterhin können die direkten Komplexitätskosten in einmalige und fortlaufende Kosten unterteilt werden [Gie10, S. 39]. Einmalige direkte Komplexitätskosten können in Form von Vorlaufkosten auftreten. Dauerhafte Aufwendungen, während ein Produkt in Serie ist, werden als fortlaufende direkte Komplexitätskosten definiert [HD97, S. 334].

Die Handhabung der Komplexitätskosten stellt Unternehmen heutzutage vor große Herausforderungen [Ski15, S. 49]. Dies lässt sich auf die vier Eigenschaften von Komplexitätskosten zurückführen: Die funktionsübergreifende Wirkung, das zeitverzögerte Auftreten, die Kostenremanenz sowie das Auseinanderfallen der Kostenverursachung und des Kostenanfalls [Rat93, S. 23 ff.], wie in Abbildung 2.3 visualisiert.

- **Funktionsübergreifende Wirkung:**

Die Auswirkungen neuer Varianten sind nicht nur in einem Unternehmensbereich ersichtlich, sondern nahezu alle Unternehmensfunktionen sind von den vielfaltsinduzierten Wirkungen betroffen [Rat93, S. 23 f.]. Entscheidungen über neue Varianten werden regelmäßig in der sehr frühen Designphase getroffen, wenn die verschiedenen Unternehmensbereiche von der Varianz noch nicht beeinflusst werden. Doch genau hier liegt das größte Potential auf die Lebenszykluskosten einzuwirken [Fix06, S. 309 f.].

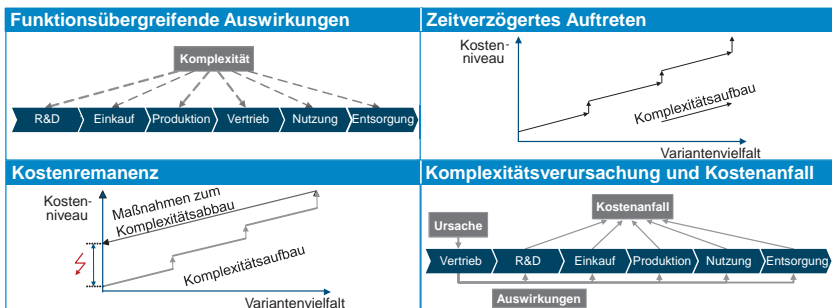


Abbildung 2.3: Eigenschaften Komplexitätskosten [GKK16, S. 119]nach: [Rat93, S. 23 ff.]

- **Zeitverzögertes Auftreten:**

Komplexitätskosten treten zeitverzögert auf. So ist eine zusätzliche Variante nicht problematisch, wenn die Mitarbeiter diese noch handhaben können. Damit können „geringe Änderungen der Vielfalt noch ohne Auswirkungen bleiben“ [Rat93, S. 25]. Sobald jedoch eine kritische Variantenmenge erreicht ist, ist die vorherrschende Vielfalt mit den vorhandenen Ressourcen nicht mehr zu bewerkstelligen. Eine neue Ressource muss zur Verfügung gestellt werden. Diese zeitverzögerten Auswirkungen sind mit einem sprunghaften Aufbau von Ressourcen und somit Kosten verbunden [Rat93, S. 25]. Folglich ist der Aufbau von Komplexitätskosten keine geglättete Funktion, sondern durch sprungfixe Kosten gekennzeichnet [AJ98, S. 13].

- **Kostenremanenz (Asymmetrisch dynamisches Verhalten):**

Komplexitätskosten verhalten sich bei Komplexitätsaufbau und -reduktion asymmetrisch zueinander. Notwendige zusätzliche Strukturen, bedingt durch einen Anstieg der Produktvielfalt, können bei einem Rückgang der Varianz nicht gleichermaßen abgebaut werden [Rat93, S. 25 f.]. Flacht die Komplexität nach einem vorangegangenen Anstieg wieder ab, wird in der Regel nicht mehr das Ausgangskostenniveau erreicht. Dieses Phänomen wird Kostenremanenz genannt [Ski15, S. 50]. Konsequenz ist, dass unnötige Vielfalt bereits im Vorhinein verhindert werden sollte, da der nachträgliche Abbau mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden ist [AJ98, S. 12].

- **Auseinanderfall Komplexitätsverursachung und Kostenanfall:**

Komplexität und ihre Kosten sind dadurch gekennzeichnet, dass der „Verursacher und Kostenträger vielfach nicht identisch sind“ [Rat93, S. 26]. So verursacht beispielsweise eine Variante, die durch den Vertrieb gewünscht wird, ihre Aufwände in der Entwicklung, der Produktion und Logistik sowie dem Kundendienst [Rat93, S. 26]. Somit ist neben dem zeitverzögerten Auftreten auch ein organisatorischer Drift zu erkennen [Ski15, S. 51].

Das gerade vorgestellte Phänomen der funktionsübergreifenden Wirkung lässt sich anhand der Zusammensetzung der Komplexitätskosten in der Automobilbranche verdeutlichen. Abbildung 2.4 zeigt, dass 15-20% der Gesamtkosten eines Unternehmens der Komplexität der Produktvielfalt zurechenbar sind.

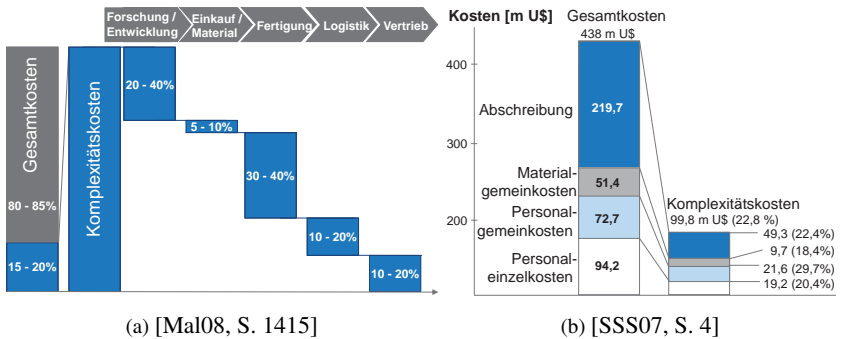


Abbildung 2.4: Komplexitätskostenstruktur in der Automobilbranche

Dabei fallen lediglich 30-40 % der Komplexitätskosten in der Fertigung an, die restlichen 60-70 % treten in den indirekten Bereichen auf [HD97, S. 334]. Die rechte Seite in Abbildung 2.4 visualisiert die Komplexitätskosten eines anonymisierten Automobilherstellers. Hier sind 22,8 % der Kosten der Komplexität zuzuordnen [SSS07, S. 4]).

Das Auftreten der Komplexitätskosten in den indirekten Bereichen erschwert eine Zuordnung zu den einzelnen Varianten. Die fehlende Allokation der Komplexitätskosten hat eine in Unternehmen herrschende Intransparenz der Komplexitätsauswirkungen zur Folge [HD97, S. 334]. Die Beherrschbarkeit der Komplexität gestaltet sich damit sehr schwierig. Ein geeignetes Komplexitäts- und Variantenmanagement kann Abhilfe schaffen.

2.1.4. Komplexitäts- und Variantenmanagement

Nach Schuh (2005) ist das Komplexitätsmanagement die Hauptmanagementaufgabe eines Unternehmens [Sch05, S. 5] und umfasst die „Gestaltung, Steuerung und Entwicklung der Vielfalt des Leistungsspektrums (Produkte, Prozesse und Ressourcen)“ [Sch05, S. 35]. Dabei ist Ziel, die Komplexität in allen Wertschöpfungsstufen so zu erhöhen oder zu dämpfen, dass ein optimales Ver-

hältnis aus maximaler Wirtschaftlichkeit und gleichzeitig maximalem Kundennutzen erreicht wird [Sch05, S. 36; Bay10, S. 24]. Der Einsatz von Komplexitätsmanagementmethodiken ermöglicht es, die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens zu verbessern, bei gleichzeitiger Verringerung der Kosten und Reaktionszeit sowie Anstieg des Kundennutzens [CDSW91, S. 73].

Definition Komplexitätsmanagement:

Ist die Handhabung der Unternehmenskomplexität mit dem Ziel eines optimalen Verhältnisses aus maximaler Wirtschaftlichkeit und gleichzeitig maximalem Kundennutzen.

Unter dem Oberbegriff Komplexitätsmanagement werden seit den 90er Jahren Einzelansätze wie das Lean Management, das Variantenmanagement oder das Systems Engineering entwickelt [Sch12a, S. 141]. Das zum Komplexitätsmanagement zugehörige Variantenmanagement hat zur Aufgabe, einzelne Komplexitätsoptima auf einer granularen Detailebene zu erzielen. Somit befasst sich das Komplexitätsmanagement mit dem ganzheitlichen System, das Variantenmanagement mit Teilsystemen [TP14, S. 18 f.]. Während sich das Komplexitätsmanagement ganz allgemein dem Thema Vielfalt auf verschiedenen Ebenen widmet, zielt das Variantenmanagement auf das Management der Produktvielfalt ab und dient somit der Handhabung einer breiten Produktpalette [Sch05, S. 36].

Übergeordnetes Ziel des Variantenmanagements ist die Beherrschung der Variantenvielfalt und eine damit einhergehende Reduzierung der Komplexitätskosten [FF00, S. 62]. Dazu ist mittels geeigneter Instrumente die vom Produkt ausgehende Komplexität (Komponenten, Teile, etc.) und die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktanforderungen, Produktionsmöglichkeiten etc.) zu handhaben [Kip12, S. 12; Sch05, S. 37].

Definition Variantenmanagement:

Ist die Beherrschung der unternehmensinternen Variantenvielfalt mittels geeigneter Instrumente.

Das Variantenmanagement kann unterteilt werden in das strategische Variantenmanagement und das operative Controlling und Management der Varianten

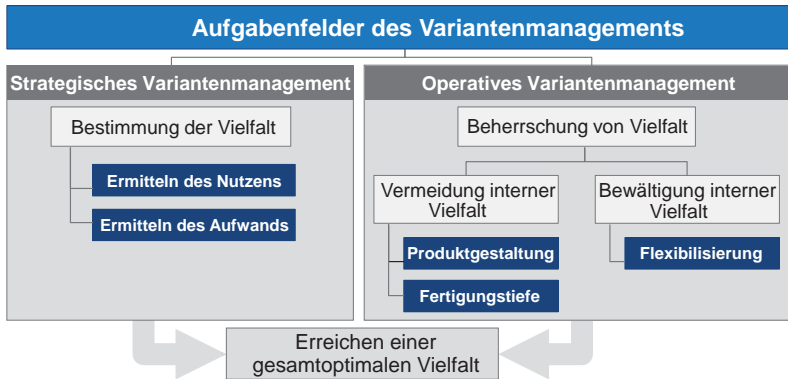


Abbildung 2.5: Handlungsfelder des Variantenmanagements [Kip12, S. 23]

[Bay10, S. 25] (siehe Abbildung 2.5). Die langfristig gewünschte Variantenvielfalt wird mittels des strategischen Variantenmanagements in regelmäßigen Planungszyklen definiert. Mit der Bestimmung der Vielfalt werden die Grundlagen für das operative Variantenmanagement geschaffen [HP07, S. 671]. Im operativen Variantenmanagement ist es Ziel, die im strategischen Variantenmanagement bestimmte Vielfalt zu beherrschen [HP07, S. 672]. Ansätze sind die Vermeidung der internen Vielfalt mittels geeigneter Produktgestaltung, einer angepassten Fertigungstiefe oder die Bewältigung der internen Vielfalt mit einer flexibleren Produktion [Kip12, S. 12 ff.]. Fokus dieser Arbeit ist das strategische Variantenmanagement und damit die Festlegung der gewünschten Vielfalt eines Unternehmens.

2.2. Ursachen der Komplexität

Wie in der Einleitung der Arbeit angesprochen, werden Unternehmen heutzutage mit der Herausforderung einer immer stärker ansteigenden Komplexität konfrontiert [WBO15, S. 1551; Bau14, S. 14]. Gründe sind unter anderen die Globalisierungseffekte, der Wandel von einem Verkäufer- zu einem Käufermarkt, die steigende Relevanz von Nischenmärkten sowie kürzere Produktle-

benszyklen (siehe Abbildung 2.6) [LMB09, S. 5 ff.; Kip12, S. 9 ff.; Wes01, S. 1 ff.; Wil05, S. 34].

Die *Globalisierung* ist einer der Hauptgründe für einen Anstieg der Komplexität [CF91, S. 51 ff.; LMB09, S. 5 ff.]. Der Trend des weltweit freien Handels, auch bedingt durch neue Kommunikationstechnologien, hält weiter an [Kip12, S. 9]. Folge ist ein verschärfter Wettbewerb mit erhöhtem Preisdruck [Wes01, S. 1 ff.]. Der durch die Globalisierung gewachsene freie Handel zwischen den Nationen ermöglicht der Bevölkerung „selbstbestimmt zu leben“ [Kip12, S. 9 f.]. Dies führt zu einer starken Nachfrage individualisierter Produkte und somit zu einem *Wandel von einem Verkäufer- zu einem Käufermarkt* [AJ98, S. 5; Wes01, S. 1 ff.]. Die damit notwendige erhöhte Produktvarianz geht mit einem Komplexitätsanstieg einher [LMB09, S. 5 f.]. Trotz Globalisierung und dem Wunsch nach *Individualisierung* sind die Absatzmärkte von einer zunehmenden Marktsättigung geprägt [Hei99, S. 13 ff.]. Die vollständige Besetzung von *Nischenmärkten* soll in einem qualitativen Wachstum enden. Stagnierende Märkte führen bei Bedienung von Nischenmärkten jedoch zu einem verhältnis-

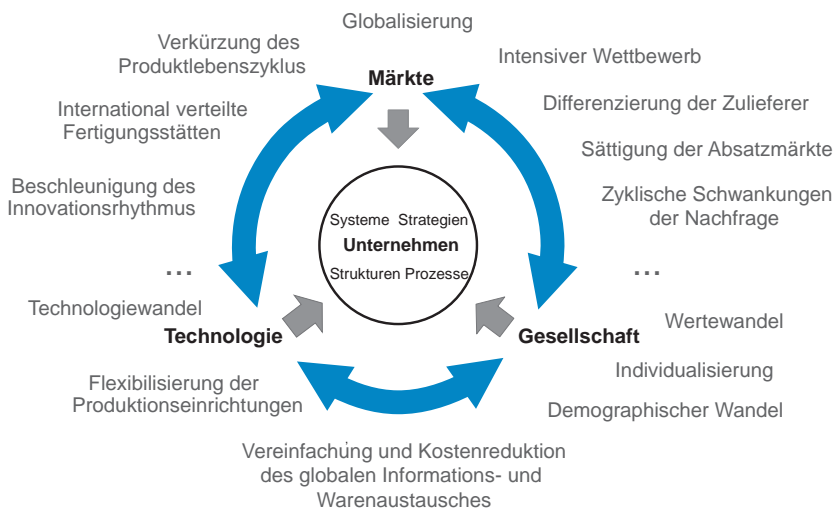


Abbildung 2.6: Ursachen steigender Komplexität [TP14, S. 172; Gro10, S. 8]

mäßig stärkeren Varianten- als Mengenwachstum [Hei99, S. 14]. Der Handel in Nischen führt zu einer hohen Variantenanzahl und damit zu einer erhöhten Komplexität. Weiterhin sehen sich Unternehmen mit einer starken *Innovationsdynamik* konfrontiert. Ergebnis sind verkürzte Produktlebenszyklen und Reaktionszeiten [Wes01, S. 1 ff.], welche in einem Anstieg der Variantenvielfalt enden [Kip12, S. 10].

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Komplexitätstreiber wird in Abschnitt 2.2.1 vorgenommen. Anschließend werden die Teufelskreise der Variantenvielfalt in Abschnitt 2.2.2 vorgestellt.

2.2.1. Interne und externe Komplexitätstreiber

In diesem Abschnitt werden die Treiber der Komplexität genauer untersucht und voneinander abgegrenzt. Dabei können die verschiedenen Treiber der Komplexität mit den Formen der Komplexität gleichgesetzt werden, da die Komplexitätsformen diese gleichermaßen auch bedingen. Komplexität kann zunächst in strukturelle und funktionelle Komplexität unterteilt werden [Kir03, S. 38 ff.].

Die strukturelle respektive objektive Komplexität ist die objektiv wahrgenommene Komplexität in Unternehmen. Sie bezieht sich auf die Anzahl und Diversität der Elemente in einem System und deren Zusammenspiel untereinander [Blo10, S. 14 ff.]. Die funktionale respektive subjektive Komplexität ist die von unterschiedlichen Menschen tatsächlich wahrgenommene Komplexität und differiert somit von Person zu Person [Blo10, S. 14]. Im weiteren Verlauf wird lediglich die strukturelle Komplexität weiter betrachtet. Diese kann in exogene und in endogene Komplexitätstreiber unterteilt werden [Bli00, S. 4 ff.]. Die exogenen Komplexitätstreiber wirken auf das Unternehmen von außen ein und können nicht oder kaum beeinflusst werden. Die endogenen Komplexitätstreiber wiederum resultieren aus dem Unternehmensinneren und können direkt gesteuert werden [Gie10, S. 36]

Die exogenen strukturellen Komplexitätstreiber unterteilen sich in die Markt- und die Gesellschaftskomplexität. Die Marktkomplexität lässt sich in die Nachfrage-, Wettbewerbs-, und Beschaffungskomplexität untergliedern. Die Gesellschaftskomplexität ist getrieben von der Komplexität der Rechtssysteme, wie auch der wirtschaftlichen und politischen Systeme. Auch kulturelle sowie ökologische Faktoren spielen hier eine Rolle [Kir03, S. 39].

Die endogene strukturelle Unternehmenskomplexität setzt sich aus korrelierenden sowie autonomen Komplexitätstreibern zusammen. Die korrelierte Unternehmenskomplexität steht in direktem Zusammenhang mit der Marktkomplexität [Gie10, S. 36 f.]. Sie wird unterteilt in die Kundenstrukturkomplexität, welche beeinflusst ist von der Anzahl heterogener Kunden, in die Programmkomplexität, welche die Sortimentsbreite abbildet, in die Produktkomplexität, definiert aus der Vielzahl und Vielfalt der Materialien und Baugruppen, sowie in die technologische Komplexität, die die Verfügbarkeit von Technologien abbildet [Kir03, S. 40 f.]. Die autonome Komplexität wird von den strukturellen und organisatorischen Gegebenheiten beeinflusst [Gie10, S. 36 f.]. Zu ihr zählen die Produktionsprogrammkomplexität, also die Art und Weise der Wertschöpfung, die Prozesskomplexität und damit die wertschöpfenden Prozesse, die Organisationskomplexität, welche den Grad der

	Exogene Komplexitätstreiber	Endogene Komplexitätstreiber
Komplexitätstreiber	<p>Marktkomplexität:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nachfragekomplexität • Wettbewerbskomplexität • Beschaffungskomplexität <p>Gesellschaftskomplexität:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Politik • Wirtschaft • Recht • Ökologie • Kultur 	<p>Korrelierte Unternehmenskomplexität:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kundenstrukturkomplexität • Programmkomplexität • Produktkomplexität • Technologische Komplexität <p>Autonome Unternehmenskomplexität:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produktionsprogrammkomplexität • Prozesskomplexität • Organisationskomplexität • Komplexität der Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollsysteme

Abbildung 2.7: Interne und externe Komplexitätstreiber [Kir03, S. 41; Sch14, S. 17]

Arbeitsteilung definiert, sowie die Komplexität der Informations-, Planungs-, Steuerungs-, und Kontrollsysteme [Kir03, S. 40 f.]. Die verschiedenen Komplexitätstreiber sind in Abbildung 2.7 dargestellt.

Per se ist Komplexität durch die Anzahl der Elemente und deren Verbindungen zueinander definiert. Doch auch schon die Arten der Komplexität selbst sind nicht trivial, wie an der Vielzahl verschiedener Formen und Treiber zu erkennen ist.

2.2.2. Teufelskreise der Komplexität

Komplexität ist vielfältig und ist in der heutigen Welt stets existent. Bei einem unzureichenden Komplexitätsmanagement kann es dabei zu den sogenannten Teufelskreisen der Komplexität kommen. Adam und Johannwille (1998) sehen Unternehmen in der Komplexitätsfalle. Die Individualisierungswünsche der Kunden und der Wandel zu einem Käufermarkt führt zu hoher Unsicherheit und großer Dynamik in Unternehmen. Um dieser Herausforderung entgegen-

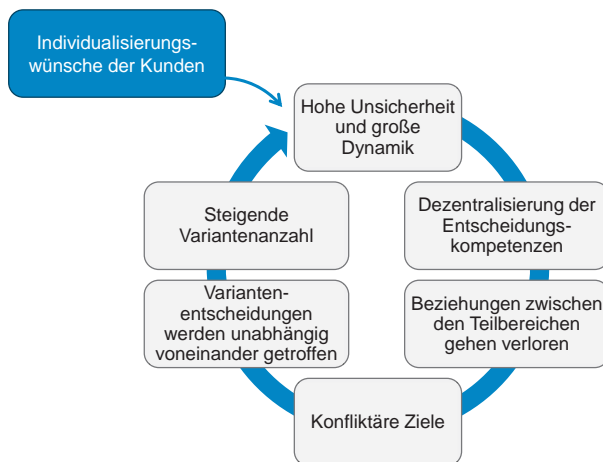


Abbildung 2.8: Die Komplexitätsfalle

zuwirken, neigen Unternehmen zu einer Dezentralisierung der Entscheidungskompetenzen. Dabei gehen bei Entscheidungen die Beziehungen zwischen den verschiedenen Teilbereichen verloren, was wiederum zu konfliktären Zielen führen kann. Dies hat zur Folge, dass Variantenentscheidungen, auf Basis eigener Prämissen, unabhängig voneinander getroffen werden. Die Auswirkungen der Alternativen auf andere Unternehmensbereiche werden nicht berücksichtigt. Diese getroffenen Entscheidungen und resultierenden Varianten führen zu einer noch größeren Unsicherheit und Dynamik. Das Unternehmen befindet sich in der Komplexitätsfalle [AJ98, S. 5 ff.], welche in Abbildung 2.8 visualisiert ist.

Neben der durch organisatorische Änderungen hervorgerufenen Komplexitätsfälle sind der markt- sowie technikgetriebene Teufelskreis der Variantenvielfalt von Bedeutung. Der marktgetriebene Teufelskreis veranschaulicht die Wirkung der Erschließung von Nischenmärkten, bedingt durch Marktsättigung sowie Preiswettbewerbe, auf ein Unternehmen [Bay10, S. 41 ff.]. Die Bedienung der Nischenmärkte führt zu einem Anstieg der inneren Komplexität und somit zu erhöhten Komplexitätskosten [Pil06, S. 134 ff.]. Zum Ausgleich des Komplexitätskostenanstiegs erhöhen Unternehmen ihre Preise, was wiederum zu einem Verlust der Wettbewerbsfähigkeit führt. Weitere Versuche zur Erschlie-

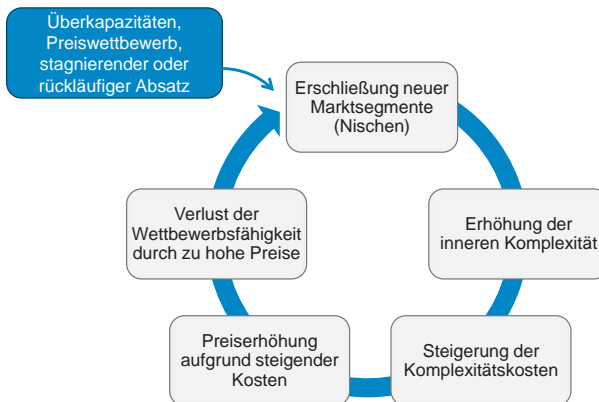


Abbildung 2.9: Der marktgetriebene Teufelskreis [Bay10, S. 42]

ßung von Nischenmärkten sollen diesen Trend stoppen. Dabei geraten Unternehmen noch tiefer in den Teufelskreis [Bay10, S. 41 ff.]. Die Gefahr eines Todes auf Raten, hervorgerufen durch eine Spirale von Ausweichmanövern, ist unumgänglich [Sch05, S. 15; Rom93, S. 36]. Den marktgetriebene Teufelskreis zeigt Abbildung 2.9.

Der marktgetriebene Teufelskreis basiert auf der These, dass Unternehmen die gestiegene Komplexität und somit die Komplexitätskosten durch erhöhte Preise kompensieren, was wiederum zu einer Verringerung der Wettbewerbsfähigkeit führt. Die sukzessiv erhöhte Komplexität wird jedoch aufgrund ihrer zeitverzögerten Wirkung ab einem bestimmten Zeitpunkt nicht mehr beherrschbar sein [Bay10, S. 44 ff.]. Die Anpassung der Produktion respektive die Einführung von komplexitätsbeherrschenden Maßnahmen, wie eine Modularisierung oder Standardisierung, macht die vorherrschende innere Komplexität handhabbar und ermöglicht sogar, dass Unternehmen kostengünstig oder -frei neue Varianten erzeugen können [Ald06, S. 226 ff.; Bay10, S. 44 ff.]. Diese neuen Varianten zeigen ihre Auswirkungen wiederum erst zeitverzögert, der Komplexitätsgrad wird schleichend erhöht [AJ98, S. 12]. Die vermeintlich kostenfreien Varianten können ab einem gewissen Punkt ebenfalls nicht mehr gehandhabt werden, erhöhte Kapazitäten beziehungsweise weitere komplexi-

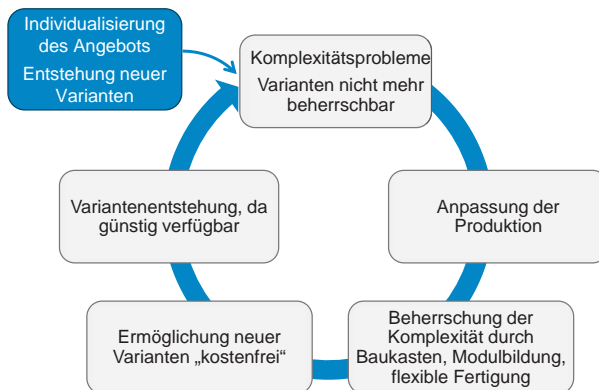


Abbildung 2.10: Der technikgetriebene Teufelskreis [Bay10, S. 43]

tätsbeherrschende Maßnahmen sind erforderlich. Das Unternehmen befindet sich im technikgetriebenen Teufelskreis, der in Abbildung 2.10 dargestellt ist.

Ein erster Schritt zur Vermeidung von Teufelskreisen der Komplexität ist eine transparente Darstellung der Folgen neuer Varianten im Unternehmen. In Abschnitt 2.3, Auswirkungen der Komplexität, werden dazu die Effekte von Komplexität in den einzelnen Unternehmensbereichen dargestellt.

2.3. Auswirkungen der Komplexität

Die Ursachen steigender Variantenvielfalt sind divers, wie in Abschnitt 2.2 dargestellt. Die geforderten neuen Varianten sind jedoch nicht kostenfrei, sondern haben erhebliche Auswirkungen auf ein Unternehmen (Abbildung 2.11). Damit Unternehmen der Gefahr in den Teufelskreis der Komplexität abzurutschen entgegenwirken können, ist Transparenz über die Komplexitätseffekte notwendig. In Kombination mit einem geeigneten Komplexitäts- und Variantenmanagement ist die in einem Unternehmen vorherrschende Komplexität handhabbar.

Die Auswirkungen der gestiegenen Variantenvielfalt werden in den folgenden Abschnitten aufgezeigt. Vielfalt selbst wird hauptsächlich im Vertrieb und der Entwicklung festgelegt [Buc12, S. 185], hat jedoch auch auf alle anderen Unternehmensbereiche erhebliche Auswirkungen. Da diese Komplexitätseffekte in den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus unterschiedlich ausfal-

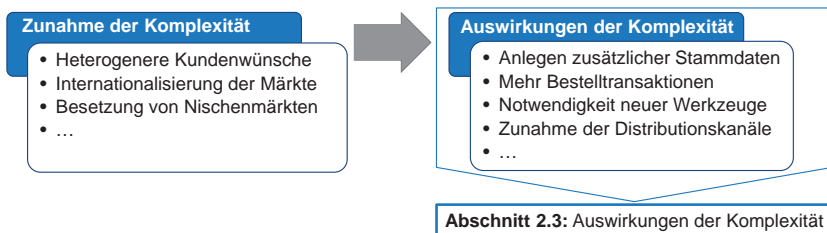


Abbildung 2.11: Transparente Darstellung der Komplexitätsauswirkungen erforderlich

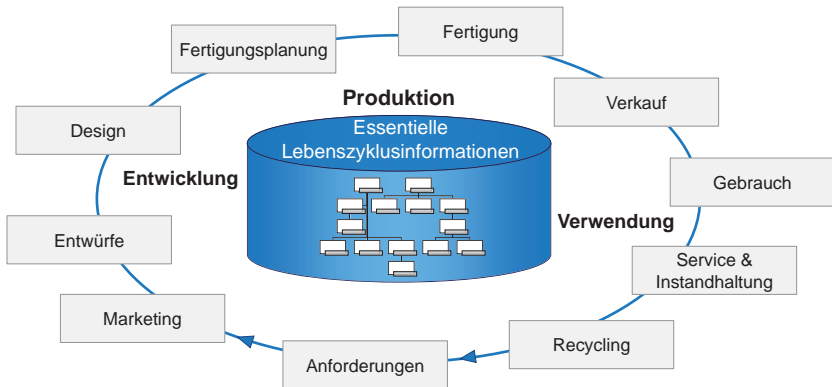


Abbildung 2.12: Der Produktlebenszyklus [Ovt10, S. 1269]

len, werden die verschiedenen ausgewählten Unternehmensbereiche getrennt voneinander betrachtet. Nachfolgend werden die einzelnen Auswirkungen entlang des Produktlebenszyklus, welcher in Abbildung 2.12 visualisiert ist, dargestellt.

2.3.1. Komplexitätseffekte in der Entwicklung

Forschung und Entwicklung sind nur für 6 % der Kosten eines Produktes verantwortlich, obwohl hier bereits die Grundlage für 70 % der gesamten Kosten gelegt werden [VDI87, S. 3; EKL07, S. 13]. Die Kosten in Forschung und Entwicklung werden im nachfolgenden Abschnitt untersucht und die Auswirkungen gesteigerter Variantenvielfalt auf diesen Bereich beleuchtet. Die verschiedenen Effekte sind in Tabelle 2.1 dargestellt.

Mit Einführung neuer Varianten kommt es zu einem erhöhten Entwicklungsaufwand [Wüp13, S. 135 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.; TP14, S. 172 ff.]. Weiterhin müssen diese Varianten im Laufe des Produktlebenszyklus angepasst und modifiziert werden [Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.]. Eine problematischere Entwicklungskoordination und erschwerte Priorisierung von Projekten sind die Folge [Wüp13, S. 135 ff.].

Tabelle 2.1: Auswirkungen neuer Varianten in Forschung und Entwicklung [Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.; TP14, S. 172 ff.; Lin94, S. 120 ff.]

Auswirkungen neuer Varianten in Forschung und Entwicklung	
Forschung und Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> - Zunehmender Entwicklungsaufwand - Zunahme der Varianten und Produktänderungen - Problematischere Entwicklungskoordination und erhöhter Abstimmungsbedarf - Erschwerte Priorisierung von Projekten - Konstruktion der neuen Teile - Erstellung und Verwaltung zusätzlicher technischer Unterlagen - Pflege der zusätzlichen Teileumfänge (Änderungsdienst) - Problem der horizontalen und vertikalen Integration mit zahlreichen Neu- und Änderungskonstruktionen - Zusätzliche Versuche und Tests - Aufwändigere Normung, Typung und Standardisierung - Risiko von Parallelentwicklungen - Anlegen neuer Stücklisten und Stammdaten - Erstellung zusätzlicher Musterteile und Prototypen - Erstellung von Zeichnungen für Werkzeugänderungen - Erstellen und Verwalten zusätzlicher Produktdokumentationen

Die für die erhöhte Variantenvielfalt benötigten neuen Teile müssen konstruiert und zugehörige technische Unterlagen erstellt und verwaltet werden [Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.; Lin94, S. 120 ff.]. Dabei sind zusätzliche Versuche sowie Tests durchzuführen und neue Stücklisten sowie Stammdaten anzulegen. Darüber hinaus ist der Bedarf weiterer Musterteile und Prototypen notwendig [Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Lin94, S. 120 ff.]. Das Risiko von Parallelentwicklungen, bedingt durch eine verringerte Transparenz, steigt. Erhöhter Abstimmungsbedarf ist notwendig, um dies auszugleichen. Die horizontale sowie vertikale Integration wird schwieriger [Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Lin94, S. 120 ff.].

2.3.2. Komplexitätseffekte im Einkauf

Auch im Einkauf sind die Folgen einer gestiegenen Produktvarianz bemerkbar, wie in Tabelle 2.2 dargestellt.

Die wachsende Komplexität der Bedarfsermittlung macht sich im Einkauf durch eine höhere Anzahl an Bestellvorgängen und kleineren Beschaffungseinheiten bemerkbar. Neben der Notwendigkeit neuer Lieferanten beziehungsweise der Erweiterung von Lieferantenvereinbarungen zeigt sich auch ein vermehrter Bedarf an Verhandlungsgesprächen. Der Teilekauf selbst wird kostspieliger [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Fis08, S. 188 ff.; Lin94, S. 120 ff.]. Auch die Gefahr von Fehldispositionen erhöht sich, bedingt durch die Zersplitterung der Beschaffungsmärkte. Eine umfangreichere Kontrolle der Lieferungen ist die Folge [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.]. Die gestiegene Komplexität macht sich somit in den Gemeinkosten der Einkaufsabteilungen bemerkbar, ist aber auch in den direkten Produktpreisen, durch geringere Skaleneffekte und damit erhöhte Einkaufspreise, erkennbar [TP14, S. 172 ff.].

Tabelle 2.2: Auswirkungen neuer Varianten im Einkauf [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.; Lin94, S. 120 ff.]

Auswirkungen neuer Varianten im Einkauf	
Einkauf	<ul style="list-style-type: none"> - Wachsende Komplexität der Materialbedarfsermittlung - Höhere Anzahl an Bestellvorgängen - Kleinere Beschaffungseinheiten - Erweiterung der Liefervereinbarungen und Auswahl neuer Lieferanten - Größere Gefahr von Fehldispositionen - Umfangreichere Kontrolle der Lieferungen - Zunehmende Zersplitterung der Beschaffungsmärkte - Höhere Anzahl an Verhandlungsgesprächen mit Lieferanten - Höhere Einstandspreise durch kleinere Stückzahlen - Aufwändigere Auslaufplanung - Geringere Skaleneffekte bei hoher Variantenvielfalt

2.3.3. Komplexitätseffekte in der Produktion und Logistik

Die Komplexitätsauswirkungen lassen sich besonders in der Produktion und den logistischen Abläufe beobachten, da diese sehr sensibel auf eine erhöhte Variantenvielfalt reagieren [HP07, S. 656 f.]. Die verschiedenen Effekte sind in Tabelle 2.3 dargestellt.

Die logistischen Anlieferungsprozesse werden durch gestiegene Komplexität aufwändiger, die Anzahl der Lagerpositionen wächst, was einen erhöhten Platzbedarf zur Folge hat. Das führt zu gestiegenen Kapitalbindungskosten, welche das Unternehmen belasten [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.]. Die in der Entwicklung initiierte Komplexität macht sich in der Produktion durch eine aufwändigere Materialfluss- und Fertigungssteuerung bemerkbar. Wechselnde Engpässe im Produktionsbereich sind die Folge. Die Fertigungsstufen und Verpackungsvarianten nehmen zu, bei gleichzeitigem Anstieg der Rüstvor-

Tabelle 2.3: Auswirkungen neuer Varianten auf Produktion und Logistik [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.; Lin94, S. 120 ff.;]

Auswirkungen neuer Varianten auf Produktion und Logistik	
Produktion und Logistik	<ul style="list-style-type: none"> - Steigende Komplexität der Materialflusssteuerung - Zunehmende Anzahl an Rüstvorgängen durch kleinere Losgrößen - Höhere Anzahl an Lagerpositionen und erhöhter Platzbedarf - Wechselnde Engpässe im Produktionsbereich - Steigende Verwechslungsgefahr beim Einbau von Komponenten beziehungsweise Gefahr von Montagefehlern - Wachsende Komplexität der Qualitätssicherung im Fertigungs- und Montagebereich - Höhere Werkzeugkosten durch Spezialwerkzeuge für Exoten - Häufung unterschiedlicher Modell- und Variantenanläufe - Geringere Produktivität - Höhere Kapitalbindungskosten - Zunahme der Fertigungsstufen und Verpackungsvarianten - Kompliziertere Austaktung der Montageeinrichtungen - Aufwändigere logistische Anlieferungsprozesse

gänge durch kleinere Losgrößen [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.; Lin94, S. 120 ff.]. Eine erhöhte Teilevielfalt führt zu einem Anstieg der Verwechslungsgefahr von Komponenten, der Qualitätssicherungsprozess wird aufwändiger und die Austaktung der Montageeinrichtungen gestaltet sich schwieriger [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Lin94, S. 120 ff.]. Eine insgesamt geringere Produktivität ist das Ergebnis [Buc12, S. 29 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; HP07, S. 655 ff.; Fis08, S. 188 ff.].

2.3.4. Komplexitätseffekte in Marketing und Vertrieb

Zuletzt werden die Komplexitätseffekte in Marketing und Vertrieb betrachtet. Diese sind in Tabelle 2.4 aufgelistet.

Tabelle 2.4: Auswirkungen neuer Varianten in Marketing und Vertrieb [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.;]

Auswirkungen neuer Varianten in Marketing und Vertrieb	
Marketing und Vertrieb	<ul style="list-style-type: none"> - Höhere Komplexität in Verkaufsschulungen - Größere Gefahr von Fehlern in der Auftragsabwicklung - Höhere Komplexität des Marketing-Mix - Komplexität und Informationsdichte der äußeren Varianz steigt - Größerer Aufwand für die Ausbildung sowie die Ausrüstung des Kundendienstes - Zunahme der Kundenaufträge, Akquisitions- und Kundenbetreuungsvorgänge - Aufwändigere Preisbildung und Auftragsbearbeitung - Erhöhte Marketing- und Sonderaktionen - Zusätzliche Kundendienstunterlagen

Die vom Vertrieb gewünschte Variantenvielfalt [Buc12, S. 185] hat auch dort negative Auswirkungen. Ein großes Produktportfolio führt zu einer hohen Komplexität des Marketing-Mix. Dies hat komplexere Verkaufs- und Kundendienstschulungen zur Folge [Buc12, S. 29 ff.; Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.]. Zusätzliche Kundendienstunterlagen werden benötigt und aufwändigere Marketing- sowie Sonderaktionen sind notwendig. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Informationsdichte der äußeren Varianz steigt [Wüp13, S. 135 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Bay10, S. 53 ff.; Rat93, S. 20 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Fis08, S. 188 ff.]. Zusätzlich wird die Preisbildung und Auftragsabwicklung aufwändiger, wobei Fehler auftreten können [Buc12, S. 29 ff.; Kir03, S. 44 ff.; Zsi16, S. 183 ff.; Sch94, S. 132 ff.; Fis08, S. 188 ff.].

Neben den betrachteten Bereichen wirkt sich ein Anstieg der inneren Unternehmenskomplexität auch auf andere Abteilungen, wie beispielsweise das Rechnungswesen oder die After-Sales Abteilung, aus. Auf eine detaillierte Betrachtung dieser anderen Bereiche wird hier jedoch verzichtet.

2.3.5. Komplexitätsnutzen

Von den Auswirkungen einer gestiegenen Variantenvielfalt und einer damit einhergehenden hohen internen Komplexität darauf zu schließen, dass Komplexität um jeden Preis vermieden werden sollte, wäre voreilig, denn Komplexität hat durchaus positive Eigenschaften [LMB09, S. 10 ff.]. So ist nach dem Gesetz der geforderten Varietät nach Ashby (1957) ein gewisses Maß an interner Komplexität sogar notwendig, um der äußeren Komplexität begegnen zu können [Ash57, S. 206 ff.; Hei99, S. 31]. Will ein Unternehmen wettbewerbsfähig bleiben, muss ein bestimmtes Komplexitätsniveau vorhanden sein [Sch14, S. 20].

Es ist Grundaufgabe eines Unternehmens Produkte am Markt anzubieten. Eine hohe Produkt- und Modellvarianz ermöglicht es, den verschiedenen Kundenanforderungen gerecht zu werden, was zu einer Nutzensteigerung und somit zu einer Umsatzerhöhung führt [Sch05, S. 25 ff.; LMB09, S. 10]. Dabei darf

das Produktprogramm nicht statisch bleiben, nur durch neue Produkte kann die Wettbewerbsfähigkeit sichergestellt werden [MTU97, S. 88]. Diese verschiedenartigen Produkte können effizient in einer gemeinschaftlichen Produktion entstehen, Skaleneffekte sind die Folge [Lös01, S. 185 ff.].

Die Produktkomplexität dient weiterhin als Plagiatsschutz [WABGL07, S. 50 ff.]. Eine kontrollierte Komplexität ermöglicht es, Anpassungen am Produkt vornehmen zu können, ohne dass Wissen über das Produkt selbst preisgegeben wird [LM07, S. 352]. Daneben bewerkstelligt Komplexität auch ein gewisses Maß an Risikomanagement. Werden bestimmte Komponenten aufgrund von Lieferverzögerungen oder regionaler Krisen nicht rechtzeitig geliefert, ermöglicht die intern aufgebaute Komplexität Flexibilität. Redundante Zulieferer, die zunächst Komplexität erzeugen, können in solchen Situationen enormen Nutzen bieten [GA05, S. 4].

Folglich ist Komplexität per se nichts Schlechtes. Das Problem für Unternehmen ist die Unfähigkeit, diese Komplexität zu managen und zu kontrollieren. Geeignete Komplexitätsmanagement-Ansätze sind notwendig, um dieser Managementaufgabe gerecht zu werden. Die Modularisierung, als eine mögliche Komplexitätsmanagementmethode, ist aufgrund ihrer hohen Relevanz in der Praxis von besonderer Bedeutung für diese Arbeit und wird daher im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt.

2.4. Grundlagen der Modularisierung

Unternehmen sehen sich der Herausforderung einer immer größer werdenden Produktvielfalt und damit einem Anstieg der internen Unternehmenskomplexität gegenüber gestellt. Die Konsolidierung des Produktportfolios ist kein geeigneter Ansatz mit dieser Aufgabe umzugehen [BKBK10, S. 1 f.]. Vielmehr ist eine intelligente Handhabung der internen Komplexität einer der Haupterfolgsfaktoren von Unternehmen. Die Modularisierung, als Methode des Komplexitätsmanagements, ermöglicht es, ein effektives Verhältnis aus externer zu interner Komplexität anbieten zu können [BKBK10, S. 1 f.]. Diese spezielle

Art der Produktstrukturierung hat in den vergangenen Jahrzehnten immer stärker an Bedeutung gewonnen [MG03, S. 204; BC06, S. 175; Kop14, S. 113] und ist auch im Fokus dieser Arbeit.

Hierzu wird zunächst die Produktarchitektur allgemein vorgestellt (Abschnitt 2.4.1) und anschließend eine Abgrenzung der integralen zur modularen Produktarchitektur vorgenommen. Im Anschluss wird die Modularisierung im Detail erläutert (Abschnitt 2.4.2) und innerhalb des Komplexitätsmanagements eingeordnet (Abschnitt 2.4.3). Zuletzt werden die Erfolgsfaktoren der Modularisierung dargelegt (Abschnitt 2.4.4).

2.4.1. Produktarchitektur allgemein

Die Produktarchitektur ist nach Ulrich (1995) ein Schema, das die Funktionen eines Produktes dessen physischen Komponenten zuordnet. Im Detail heißt das, dass die Produktarchitektur durch die folgenden Punkte charakterisiert ist: (1) die Ausgestaltung der Funktionselemente, (2) die Zuordnung der Funktionselemente zu den physischen Komponenten und (3) die Spezifikation der Schnittstellen zwischen den interagierenden physischen Komponenten [Ul95, S. 420]. Weiterhin definieren Ulrich und Eppinger (2000), dass die Produktarchitektur zur Aufgabe hat, die physischen Basiskomponenten ('building blocks') nach ihrer Funktion und den Schnittstellen zum Gesamtprodukt zu beschreiben [UE00, S. 182]. Damit umfasst die Beschreibung der Produktarchitektur die Anzahl der beinhalteten Komponenten, die Interaktion und den Aufbau dieser Komponenten sowie die Vorgabe, wie diese benutzt werden [Fix05, S. 346].

Darauf aufbauend besteht nach Feldhusen, Grote, Göpfert und Tretow (2013) die Produktarchitektur aus unterschiedlichen Perspektiven. Die Funktionsstruktur beschreibt die funktionelle Weise des Produktes und zeigt die Dekomposition der Gesamtfunktion, der Teilfunktionen sowie deren Beziehungen auf. Die Produktstruktur, als zweite Dimension, spiegelt die physische Beschreibung des Produktes wider und stellt somit die technisch-physischen Komponenten eines Produktes dar. Die Transformation dieser beiden Perspek-

tiven, also die Beschreibung des Zusammenhanges derselben, resultiert in der Produktarchitektur. Die Zusammenführung der Funktionsstruktur und Produktstruktur mittels Transformation ist in Abbildung 2.13 dargestellt.

Den vorgestellten Definitionen ist gleich, dass die Produktstruktur ein Teilaspekt der Produktarchitektur ist. Erixon (1998) wiederum verwendet die Begriffe Produktstruktur und Produktarchitektur synonym und definiert diese als Darstellung der Elemente eines Produktes und deren Beziehungen zueinander [Eri98, S. 6]. In dieser Arbeit wird die Produktstruktur jedoch als Teilmenge der Produktarchitektur betrachtet und ist wie folgt definiert:

Definition Produktarchitektur:

Ist die Interaktion von Funktionsstruktur und Produktstruktur eines Produktes.

Nach dieser von Ulrich (1995) abgeleiteten Definition besitzt jedes individuelle Produkt eine Produktarchitektur, aber auch eine Produktfamilie kann eine Produktarchitektur haben. Die Produktfamilienarchitektur ist charakterisiert durch eine gemeinsame Anordnung von Elementen, eine einheitliche Zuordnung der Funktionen zu den physischen Komponenten sowie standardisierte Interaktionen zwischen diesen Komponenten [MI02, S. 214].

Die Produktarchitektur lässt sich typisieren in integrale und modulare Produktarchitekturen. Eine integrale Produktarchitektur ist durch eine komplexe, uneindeutige Zuordnung der Funktionen zu den physischen Elementen sowie stark ausgeprägte, gekoppelte Schnittstellen gekennzeichnet [Ulr95, S. 422].

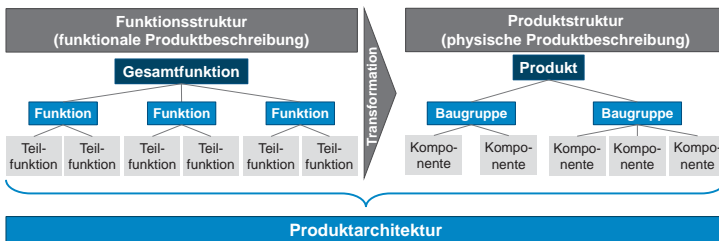


Abbildung 2.13: Die Produktarchitektur [FGGT13, S. 256]

Definition integrale Produktarchitektur:

Ist eine Produktarchitektur mit einer starken Abhängigkeit der Subsysteme untereinander sowie einer uneindeutigen, komplexen Zuordnung von Funktionen zu physischen Komponenten.

Bei der modularen Produktarchitektur sind die Funktionen eindeutig den physischen Baugruppen zugeordnet. Die Schnittstellen zwischen den einzelnen Baugruppen sind schwach oder gar nicht gekoppelt [Ulr95, S. 422]. Die modulare Produktarchitektur ist somit durch eine Autonomie ihrer Subsysteme, Module genannt, gekennzeichnet. Aus dieser Eigenschaft folgt, dass es bei einer kurzfristigen Betrachtung möglich ist, die einzelnen Module isoliert voneinander zu handhaben [Göp98, S. 30 ff.]. Abbildung 2.14 verdeutlicht die Abgrenzung integraler zu modularen Produktarchitekturen.

Definition modulare Produktarchitektur:

Ist eine Produktarchitektur mit einer losen Kopplung zwischen den einzelnen Subsystemen und einer eindeutigen Zuordnung von Funktionen zu physischen Komponenten.

Typ der Systemarchitektur	Verhältnis externer zu interner Beziehungsstärke	Beispiel
System zerfällt in Subsysteme	$B_{\text{extern}} \approx 0$	
Modulare Systemarchitektur	$B_{\text{extern}} \ll B_{\text{intern}}$	
Integrale Systemarchitektur	$B_{\text{extern}} < B_{\text{intern}}$	
Inadäquate Systemstruktur	$B_{\text{extern}} \approx B_{\text{intern}}$	
Inadäquate Systemstruktur	$B_{\text{extern}} > B_{\text{intern}}$	
Legende:	B_{extern} = externe Beziehungen (zwischen Subsystemen) B_{intern} = interne Beziehungen (innerhalb von Subsystemen)	 — starke Beziehung — mittelstarke Beziehung — schwache Beziehung

Abbildung 2.14: Abgrenzung integraler zu modularer Produktarchitektur [Kop14, S. 118; Göp98, S. 32]

2.4.2. Modulare Produktarchitekturen

Aufbauend auf dem begrifflichen Verständnis integraler und modularer Produktarchitekturen werden zunächst Module sowie Modulvarianten und anschließend Plattformen und Baukästen vorgestellt. Dieses einheitliche Verständnis ermöglicht eine spätere genaue Abgrenzung verschiedener Variantenszenarien modularer Produktfamilien und ist somit essentiell für ein Variantenmanagement modularer Produktarchitekturen.

Ein Modul ist nach Feldhusen und Gebhardt (2008) ein nach fertigungstechnischen und funktionalen Gesichtspunkten eingegrenztes Subsystem mit dem Ziel einer vom Gesamtsystem unabhängigen Konstruktion, Entwicklung, Fertigung und Prüfung [FG08, S. 38]. Ponn und Lindemann (2011) erweitern diese Definition um die Notwendigkeit geeigneter, standardisierter Schnittstellen zwischen den Subsystemen [PL11, S. 260]. Davon abgeleitet definiert Bursac (2016) ein Modul als ein „technisches Subsystem, das sich durch andere technische Subsysteme ersetzen lässt, so dass die Menge aller Funktionen oder Attribute des technischen Systems variiert wird“ [Bur16, S. 49]. Konsens dieser Definitionen ist die klare Abgrenzung des Subsystems von dem Gesamtsystem, die Unabhängigkeit der einzelnen Subsysteme sowie die klar definierten Schnittstellen zwischen den Subsystemen. Basierend auf den genannten Definitionen wird ein Modul in dieser Arbeit folgendermaßen definiert:

Definition Modul:

Ist ein nach funktionalen wie auch fertigungstechnischen Gesichtspunkten klar abgegrenztes, unabhängiges und austauschbares Subsystem mit klar definierten Schnittstellen zu anderen Subsystemen.

Der Begriff Modulvariante ist, trotz seiner häufigen Verwendung in wissenschaftlichen Arbeiten, nicht so leicht abzugrenzen, da er nur in wenigen Fällen definiert wird. Nach Kasparek, Roth, Lozano und Lindemann (2015) ist eine Modulvariante „eine Instanz eines Modules, welche sich in mindestens einer Ausprägung von anderen Modulen unterscheidet“ [KRLL15, S. 378]. Dabei verwenden die Autoren eine eigene Definition, da keine etablierten Begrifflichkeiten zur Verfügung standen. Schuh, Arnoscht und Aleksic (2012) oder

Förg, Karrer-Müller und Kreimeyer (2016) verwenden den Begriff Modulvariante auch in ihren Arbeiten, jedoch ohne eine spezifische Erläuterung. Die von Kasperek, Roth, Lozano und Lindemann (2015) verwendete Begrifflichkeit passt jedoch in den Kontext der anderen Autoren. Die Autoren Du, Jiao und Tseng (2001) wiederum sprechen nicht von Modulen, sondern von Modultypen und beschreiben die mittels Kommunalitäten charakterisierte Gruppierung als Modulvariante eines spezifischen Modultyps [DJT01, S. 6]. Somit wird auch hier die Modulvariante vom Modul abgeleitet. Diese Definition ist jedoch weitgreifender und definiert eine Modulvariante als zu einem bestimmten Typ eines Moduls zugehörig. Diese Begriffserweiterung wird auch in dieser Arbeit verwendet.

Definition Modulvariante:

Ist eine Modifikation eines Moduls, welches sich in mindestens einer Ausprägung von einem anderen Modul des gleichen Modultyps unterscheidet.

Zur weiteren Eingrenzung des Modulbegriffs werden nun auch der Baukasten und die Plattform definiert, da diese mit der Modularisierung direkt in Verbindung gebracht werden und als Sonderfälle dieser anzusehen sind [FG08, S. 37 ff.; Bur16, S. 48 ff.].

Ponn und Lindemann (2011) beschreiben einen Baukasten als ein System, bei dem durch eine möglichst geringe Zahl an Bausteinen, also Bauteilen oder Baugruppen, eine möglichst große Anzahl an Produktvarianten erzeugt werden kann [PL11, S. 261]. Schuh (2015) erweitert diesen Begriff um standardisierte Schnittstellen, durch welche eine vielfältige Kombinierbarkeit und somit eine effiziente Variantenerzeugung erreicht werden kann [Sch15, S. xvii].

Definition Baukasten:

Ist ein System bestehend aus einer möglichst geringen Anzahl an Bausteinen mit standardisierten Schnittstellen, durch deren Kombinationen ein möglichst großes Produktportfolio erschafft werden kann.

Auch die Plattform ist ein Sonderfall der Modularisierung [PL11, S. 260 f.]. Nach Meyer und Lehnerd (1997) ist eine Plattform eine Gruppe von Subsystemen

men und Schnittstellen, die eine gemeinsame Struktur bilden. Auf Grundlage dieser Struktur können verschiedene, derivate Produkte effizient entwickelt und produziert werden [ML97, S. 39]. Lindemann, Maurer und Braun (2009) definieren eine Plattform weniger detailliert als Elemente oder Subsysteme, die zusammen eine gemeinsame Basis verschiedener Produkte bilden [LMB09, S. 182]. Die von Meyer und Lehnerd genannte Basis wird von Bursac (2016) weiter spezifiziert als Menge von Subsystemen, „die in unterschiedlichen technischen Systemen unverändert zum Einsatz“ kommen [Bur16, S. 51].

Definition Plattform:

Ist eine Gruppe von Subsystemen und Schnittstellen, die unverändert in verschiedenen Produkten zum Einsatz kommt.

In Abbildung 2.15 wird der Zusammenhang aus Produkt, Baukasten sowie Modul schematisch dargestellt. Der Baukasten wie auch das Produkt haben je eine eigene Struktur, welche jeweils durch Wechselwirkungen gekennzeichnet sind. Das Produkt kann aus Elementen des Baukastens sowie aus Nicht-Bausteinen bestehen. Der Baukasten setzt sich aus verschiedenen austauschbaren Modulen und Bausteinen, für die es keine Alternative gibt, zusammen.

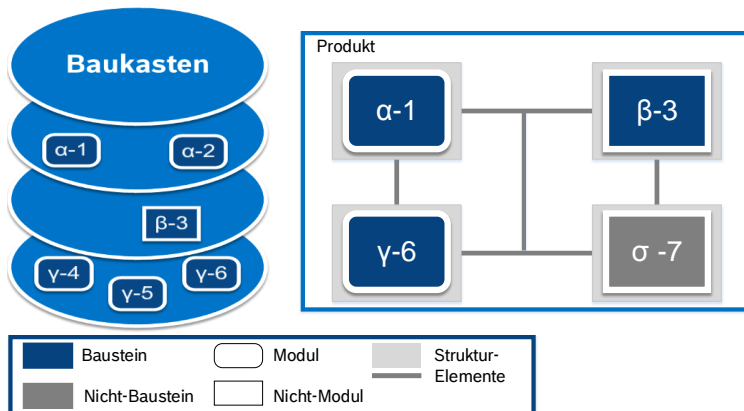


Abbildung 2.15: Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen Produkt, Baukasten und Modul [Bur16, S. 55]

Treten diese alternativlosen Bausteine in allen Produkten auf, spricht man von einer Plattform [Bur16, S. 54 f.]. In den nachfolgenden Ausführungen wird der allgemeine Begriff Modularisierung verwendet, eine separate Abgrenzung zu einem Baukastensystem oder zu einer Plattform wird nicht vorgenommen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Begriff der Modularität eine graduelle Eigenschaft besitzt. Es gibt keinen absolut messbaren Punkt, ab dem von einem modularen Produkt zu sprechen ist [GKK16, S. 122 f.]. Vielmehr ist es möglich, das Modularitätsmaß eines Produktes an bestimmten Gesichtspunkten fest zu machen. So hat Salvador (2007) fünf Eigenschaften modularer Produkte definiert, welche in Abbildung 2.16 dargestellt sind [Sal07, S. 221 ff.]:

1. **Entkopplung:**

Deutlich geringere Wechselwirkungen zwischen den Modulen, als zwischen den Komponenten innerhalb eines Moduls.

2. **Komponenten Kombinierbarkeit:**

Erzeugung verschiedener Produktvarianten durch Modulkombinationen

3. **Komponenten Kommunalität:**

Wiederverwendung standardisierter Komponenten und Module

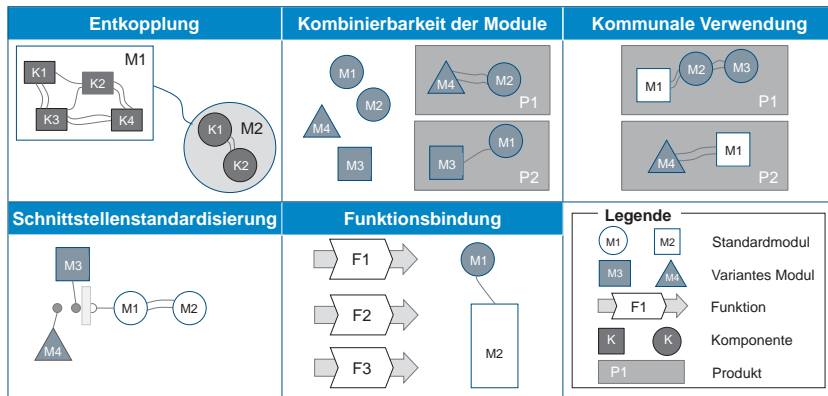


Abbildung 2.16: Wesentliche Eigenschaften modularer Produkte [GKK16, S. 122; Ble11, S. 14]

4. Schnittstellenstandardisierung:

Standardisierung der intermodularen Schnittstellen

5. Funktionsbindung:

Feste Zuordnung von Teilfunktionen des Produktes zu den Modulen

Diese Eigenschaften modularer Produkte ermöglichen eine effiziente Entwicklung und Produktion neuer Produkte.

2.4.3. Einordnung der Modularisierung in das Komplexitätsmanagement

Bevor im Nachfolgenden auf die detaillierten Erfolgsfaktoren modularer Produktarchitekturen eingegangen wird, um daraus die steigende Relevanz in der Praxis abzuleiten, wird die Modularisierung zunächst in das übergeordnete Komplexitätsmanagement eingeordnet. Nach Wildemann (2009) ist zwischen drei Basisstrategien des Komplexitätsmanagements zu differenzieren: der Komplexitätsreduzierung, -beherrschung sowie -vermeidung [Wil09, S. 75 ff.]. Diese Strategien sind in Abbildung 2.17 dargestellt.

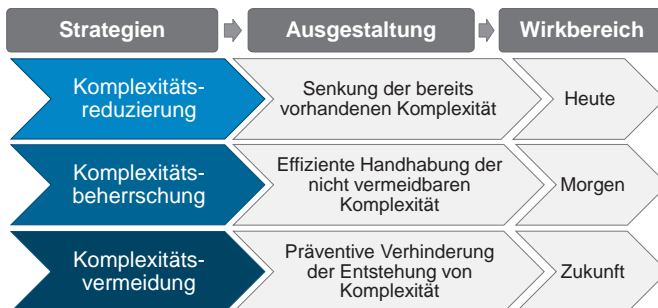


Abbildung 2.17: Strategien des Komplexitätsmanagements [Wil09, S. 76]

Die Strategie der **Komplexitätsreduzierung** zielt auf eine „Senkung der bereits vorhandenen Komplexität“ [Wil09, S. 77], mittels Reduktion der Vielzahl und Vielfalt der einzelnen Elemente und deren Verknüpfungen innerhalb eines Systems, ab [Sch14, S. 20 f.]. Fokus der Maßnahmen liegt auf einer Kürzung von reduzierbaren Komplexitätsbestandteilen, wie beispielsweise Produkt- oder Servicevarianten mit unzureichender Akzeptanz am Markt [Mey07, S. 33 ff.]. Die Reduktion heute bestehender Komponenten, Varianten oder Prozesse hat ihren Wirkungsbereich in der Gegenwart [Wil09, S. 76 ff.]. Die Implementierung einer modularen Produktarchitektur führt beispielsweise zu einer Reduzierung der Komplexität [Sch14, S. 20 f.].

Die Taktik der **Komplexitätsbeherrschung** hat eine „effiziente Handhabung der nicht vermeidbaren Komplexität“ zum Ziel [Wil09, S. 78]. Prinzipiell soll damit ein optimaler Ausgleich zwischen der internen Unternehmenskomplexität und den externen Komplexitätsanforderungen erreicht werden [WP97, S. 359 f.; Mey07, S. 33 ff.]. Maßnahmen zur morgigen effizienteren Handhabung heutiger nicht vermeidbarer Varianten und Prozesse, mittels angepasster Organisations- und Fertigungsstrukturen sowie einer Optimierung der Entwicklungs- und Wertschöpfungskette, sind Bestandteil dieser Strategie [Wil09, S. 76 ff.]

Die zukunftsgerichtete **Komplexitätsvermeidung** ist als dritte Strategie des Komplexitätsmanagements zu nennen. Eine präventive Vermeidung von Komplexität vor ihrer Entstehung ist das Ziel [Wil09, S. 79]. Dabei sollen zukünftige Anforderungen in den heutigen Prozessen und Strukturen bereits soweit berücksichtigt werden, dass Komplexität von vornherein vermieden wird [Mey07, S. 34]. Modulare Produkte, modulare Organisationsstrukturen sowie modulare Prozesse ermöglichen, durch die Aufspaltung eines Ganzen in Module, eine Integration von Änderungen durch die Anpassung einzelner, direkt beeinflusster Module. Komplexität wird damit bereits vor ihrer Entstehung unterbunden [Mey07, S. 34; Sch14, S. 20].

Die drei genannten Strategien des Komplexitätsmanagements lassen sich in der Praxis nicht so klar voneinander trennen, was zu Überschneidungen führt. Dies ist auch am Konzept der Modularisierung ersichtlich. Die Methode wird

sowohl im Bereich der Komplexitätsreduzierung als auch bei der Strategie der Komplexitätsvermeidung genannt [Sch14, S. 20 f.]. Während der Implementierung der modularen Produktarchitektur wird das existierende Produktportfolio analysiert und in einzelne Module sowie deren Varianten aufgespalten [WBO15, S. 1552]. Nicht benötigte Komponenten und Varianten können bereits in diesem Schritt eliminiert werden. Ziel der anschließenden Nutzungsphase der modularen Produktarchitektur ist, zukünftige Komplexität zu vermeiden. Dazu bietet die Modularisierung ein Rahmenwerk für eine effizientere Handhabung der internen Komplexität, was der Komplexitätsvermeidung dient.

2.4.4. Erfolgsfaktoren modularer Produktarchitekturen

Auf Basis der in Abschnitt 2.4.2 vorgestellten fünf spezifischen Charakteristika modularer Produktarchitekturen besitzen diese, im Gegensatz zu integralen Produktarchitekturen, eine Reihe von Vorteilen, welche nachfolgend beschrieben werden und in Tabelle 2.5 dargestellt sind. Wie im vorherigen Abschnitt 2.3 werden die positiven Effekte den einzelnen Lebenszyklusphasen, angelehnt an Hackl und Krause (2016), zugeordnet.

Die Haupterfolgsfaktoren modularer Strukturen zeigen sich in den Bereichen Entwicklung sowie Produktion und Logistik. Modulare Produktarchitekturen ermöglichen eine Parallelisierung der Entwicklung und damit kürzere Entwicklungszyklen [FGGT13, S. 261 f.; CO14, S. 131; BC06, S. 175 ff.]. Der Entwicklungsaufwand selbst wird durch die Verwendung bereits entwickelter Module in neuen Produktvarianten verringert [FGGT13, S. 261 f.; CO14, S. 131; San95, S. 375; HO05, S. 20 ff.]. Neue Funktionalitäten müssen nur in einzelnen Modulen integriert werden, die restlichen Module können unverändert weiter verwendet werden. Insofern es zu Änderungen am Produkt, aufgrund von Funktionserweiterungen, Qualitätsthemen oder dergleichen, kommt, sind diese Änderungen auf einzelne Module begrenzt, die anderen Module können in ihrer ursprünglichen Form bestehen bleiben [Zer14, S. 301; HO05, S. 20 ff.].

Tabelle 2.5: Erfolgsfaktoren modularer Produktarchitekturen [FGGT13, S. 261 f.; Zer14, S. 301; LYT07, S. 6; CO14, S. 131; BC06, S. 175 ff.; San95, S. 142; HO05, S. 20 ff.;

Erfolgsfaktoren modularer Produktarchitekturen	
Forschung und Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> - Parallelisierung der Entwicklung - Geringerer Entwicklungsaufwand durch Verwendung existierender Module mittels einheitlicher Schnittstellen - Vereinfachter Funktionstest im Entwicklungsprozess - Eventueller Änderungsaufwand begrenzt
Einkauf	<ul style="list-style-type: none"> - Konkurrierende Anbieter ermöglichen bessere Verfügbarkeit und günstigere Preise - Skaleneffekte
Produktion und Logistik	<ul style="list-style-type: none"> - Geringerer Montageaufwand und höhere Produktivität - Skalen- und Lernkurveneffekte - Vereinfachter Austausch von fehlerhaften Modulen - Produkterweiterung ohne produktionstechnische Veränderung - Fehlerreduzierung durch Prüfung der Module vor dem Einbau - Auftragsneutrale (Vor-) Fertigung und Montage - Geringeres Technologiegefälle in der Produktion - Reduzierte Durchlaufzeit - Geringerer Steuerungs- und Dispositionsaufwand - Kontinuierlicher Material- und Informationsfluss
Marketing und Vertrieb	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung der Produktfunktionalität durch Modulanpassung - Transparentes Variantenspektrum - Kürzere Lieferzeiten - Erhöhte Produktqualität
Nutzung und Service	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzierung der Komponentenvielfalt (Ersatzteile) - Montage und Demontage durch den Nutzer - Vereinfachte Reparatur durch Austausch defekter Module

In der Produktion und Logistik ermöglichen modulare Strukturen eine Kostensenkung sowie geringere Fehlerraten durch Skalen- und Lernkurveneffekte [FGGT13, S. 261 f.; CO14, S. 131]. Fehler werden reduziert, indem Module bereits vor dem Einbau geprüft werden können [FGGT13, S. 261 f.; LYT07, S. 6; CO14, S. 131]. Kommunalitäten und einheitliche Schnittstellen ermöglichen eine höhere Produktivität [Zer14, S. 301; CO14, S. 131] sowie kürzere Durchlaufzeiten [Zer14, S. 301]. Die weitestgehend standardisierten und dezentralisierten Module führen zu einer auftragsneutralen (Vor-) Ferti-

gung sowie Montage [Zer14, S. 301]. Produktänderungen und -erweiterungen kommen meist ohne produktionstechnische Anpassungen aus, da die Montage der Produkte durch den Zusammenbau von Modulen erfolgt. Diese können einzeln vormontiert und anschließend mittels standardisierter Schnittstellen kombiniert werden [FGGT13, S. 261 f.; Zer14, S. 301].

Auch in den anderen Unternehmensbereichen hat die Modularisierung ihre Vorteile. Im Einkauf ermöglicht eine modulare Produktarchitektur durch Komunalitäten eine bessere Verfügbarkeit der Teile [FGGT13, S. 261 f.]. Hinzu kommen günstigere Einkaufspreise durch Skaleneffekte [HO05, S. 20 ff.]. In Marketing und Vertrieb können die Produkte mit kürzeren Lieferzeiten angeboten werden [Zer14, S. 301; CO14, S. 131; HO05, S. 20 ff.] und das bei gleichzeitig erhöhter Produktqualität [LYT07, S. 6]. Das angebotene Variantenspektrum wird durch klare Funktionsabgrenzungen transparenter [Zer14, S. 301]. Bei Bedarf neuer Produkte mit erweiterter Funktionalität werden nur einzelne Module getauscht, Schulungen können somit leichter durchgeführt werden [FGGT13, S. 261 f.; San95, S. 142; HO05, S. 20 ff.]. Die Modularisierung ermöglicht in der Nutzungs- und Servicephase eine Reduzierung der Komponentenvielfalt im Ersatzteilefall [FGGT13, S. 261 f.; CO14, S. 131]. Die Reparatur ist vereinfacht durch den Austausch defekter Module im Ganzen [FGGT13, S. 261 f.]. Der Nutzer kann die Module unter Umständen sogar selbst (de-) montieren [FGGT13, S. 261 f.; Zer14, S. 301].

Neben all diesen Erfolgsfaktoren hat die modulare Produktarchitektur jedoch auch ihre Defizite, welche es vor der Implementierung abzuwägen gilt. Diese Unzulänglichkeiten sind in Tabelle 2.6 dargestellt.

Zunächst sei die aufwändige Konstruktion und Spezifizierung standardisierter intermodularer Schnittstellen, welche Grundvoraussetzung der modularen Produktarchitektur sind, zu nennen [FGGT13, S. 261 f.; JT05, S. 375; ER15, S. 399 f.]. Aber auch die Pflege von Baukästen ist kostspielig [FGGT13, S. 261 f.; LYT07, S. 6; HO05, S. 20 ff.]. Modulare Architekturen benötigen einen vielfach höheren Abstimmungsaufwand sowie eine bessere Expertise als klassische, integrale Produktarchitekturen. Ursache ist, dass die einzelnen Module die Anforderungen einer Vielzahl an Produkten, die auf diesen Modu-

len basieren, berücksichtigen müssen [JT05, S. 275]. Dabei fällt ein Großteil der Aufwände in der Implementierungsphase der modularen Produktarchitektur an. Idealerweise werden diese höheren Initialaufwände in der Nutzungsphase aufgewogen [JT05, S. 275].

Weiterhin neigen modulare Produkte dazu, dass sie größer, schwerer und weniger energieeffizient sind [HO05, S. 20 ff.]. Eine fehlende Produktintegrität [FGGT13, S. 261 f.] sowie suboptimale Produktleistung [FGGT13, S. 261 f.; CO14, S. 131; HO05, S. 20 ff.], bei gleichzeitiger Überspezifizierung [HO05, S. 20 ff.], kann die Folge sein. Ein Vorteil der modularen Produktarchitektur ist die Vorprüfung auf Modulebene, jedoch kann eine fehlerfreie Vorprüfung keine Gesamtproduktfunktionalität garantieren, ganzheitliche Tests sind weiterhin notwendig [FGGT13, S. 261 f.]. Das Risiko flächendeckender Fehler ist bei modularen Strukturen deutlich erhöht [FGGT13, S. 261 f.]. Gibt es bei einer bestimmten Modulvariante ein Problem und wird diese Variante in verschiedenen Produkten verbaut, dann sind alle diese Produkte fehlerhaft.

Tabelle 2.6: Defizite modularer Produktfamilien [FGGT13, S. 261 f.; LYT07, S. 6; CO14, S. 131; JT05, S. 375; HO05, S. 20 ff.; ER15, S. 399 f.;]

Defizite modularer Produktarchitekturen	
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">- Aufwändige Konstruktion und Spezifikation der Schnittstellen- Erstellung und Pflege von Baukästen ist aufwändig- Überspezifizierung- Modulare Produkte unter Umständen größer, schwerer und weniger energieeffizient- Fehlende Produktintegrität- Suboptimale Produktleistung- Moduleinzelprüfung garantiert nicht Gesamtproduktfunktion- Risiko von flächendeckenden Fehlern- Geringere (Produkt-) Differenzierung- Beschränkung der Reparatur auf Modulaustausch- Statische Produktarchitektur erschwert bahnbrechende Innovationen

Die Wiederverwendung bestehender Module in verschiedenen Produkten schränkt die Produktdifferenzierung ein, welche jedoch von Unternehmen explizit gewollt ist [FGGT13, S. 261 f.; LYT07, S. 6; HO05, S. 20 ff.]. Ziel eines Unternehmens ist eine möglichst effiziente innere Modularisierung bei gleichzeitiger Erweiterung der äußeren Differenzierung zwischen den eigenen Produkten und denen von Wettbewerbern. Auch die Beschränkung der Reparaturmöglichkeiten auf den Modultausch [FGGT13, S. 261 f.] oder die Erschwerung der Realisierung bahnbrechender Innovationen durch die statische Produktarchitekturvorgabe [CO14, S. 131] seien als Nachteile modularer Architekturen genannt.

Aus dem Erfolg der modularen Produktarchitektur in den letzten Jahrzehnten lässt sich schließen, dass die Vorteile modularer Architekturen bei einem Großteil der Unternehmen die Nachteile überwiegen. Dennoch muss ein Unternehmen die Abwägung selbst vornehmen. Ist die Kernkompetenz eines Unternehmens die Entwicklung kleiner, integrierter Produkte mit einer starken Differenzierung zwischen diesen, so ist eine Modularisierung unter Umständen nicht die beste Lösung. Liegt das Hauptaugenmerk jedoch auf dem Angebot einer großen Produktvielfalt mit konkurrierenden Produktmerkmalen und einem hohen Kostendruck, können die genannten Erfolgsfaktoren dominieren.

2.5. Produktentwicklungsprozess

Neue Varianten werden innerhalb des Produktentwicklungsprozesses initiiert. Deshalb ist eine genaue Darstellung der einzelnen Phasen dieses Prozesses notwendig, um den Ansatzpunkt eines Variantenmanagements zu definieren. Dazu wird zunächst der allgemeine Produktentwicklungsprozess vorgestellt. Fokus der vorliegenden Arbeit ist ein Variantenmanagement modularer Produktfamilien. Eine Abgrenzung des Modulentwicklungsprozesses vom allgemeinen Produktentwicklungsprozess ist sinnvoll. Auf dieser Basis ist es möglich die frühe Phase der Modulentwicklung und damit den Ansatzpunkt des Variantenmanagements zu definieren.

2.5.1. Allgemeiner Produktentwicklungsprozess

Der Produktentwicklungsprozess beschreibt die Vorgehensweise bei der Erschaffung von Produkten, vom Verfahren der Konzeptfindung bis hin zum Serienanlauf [Sei05, S. 6 f.]. Je nach Autor wird der Produktentwicklungsprozess dem Produktentstehungsprozess gleichgesetzt, indem er den vollständigen Prozess von der anfänglichen Produktidee bis hin zum fertigen Produkt umfasst [BG16, S. 402], oder nur als Teil dessen angesehen wird und erst in Kombination mit der Produkterprobung und der Produktherstellung den Gesamtprozess abbildet [TP14, S. 166 f.]. In dieser Arbeit wird der Produktentwicklungsprozess ebenfalls als Teilaspekt des Produktentstehungsprozesses verstanden, wie in Abbildung 2.18 dargestellt.

Die Produktentwicklung, als Teil der Produktentstehung, lässt sich nach Thiebes und Plankert (2014) in vier Phasen unterteilen:

1. Planung und Klärung der Entwicklungsaufgabe
2. Konzeptualisierung
3. Entwurfsphase
4. Detaillierung

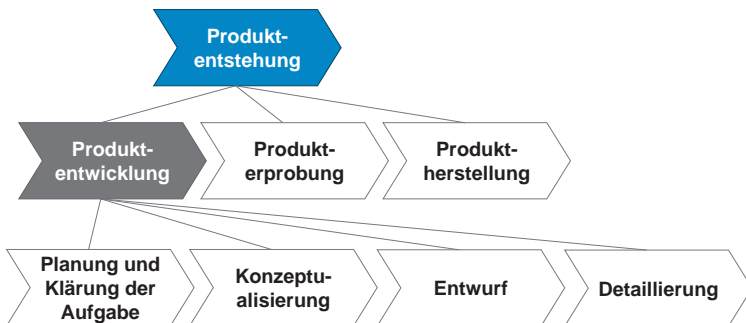


Abbildung 2.18: Der Produktentstehungsprozess [TP14, S. 167]

In der Planung und Klärung der Entwicklungsaufgabe werden zunächst die Anforderungen an das Produkt festgelegt. In der Konzeptphase wird das grundlegende Wirkprinzip, mittels eines Vergleichs verschiedener Lösungsalternativen, dargelegt. In der anschließenden Entwurfsphase werden die einzelnen Elemente des Produktes definiert und in der Detaillierungsphase abschließend ausgearbeitet [TP14, S. 167].

Ein generelles Vorgehen für die Entwicklung und Konstruktion von Produkten bietet die *VDI-Richtlinie 2221 "Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte"*, welche in Abbildung 2.19 dargestellt ist. Das Gesamtvorhaben wird hier in sieben einzelne Arbeitsschritte unterteilt, welche wiederum den bereits genannten vier Phasen zugeordnet werden können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass jeder der einzelnen Arbeitsschritte vollständig oder teilweise sowie einmalig oder mehrmals iterativ durchlaufen werden kann [VDI93, S. 9]. Die einzelnen Schritte der Produktentwicklung

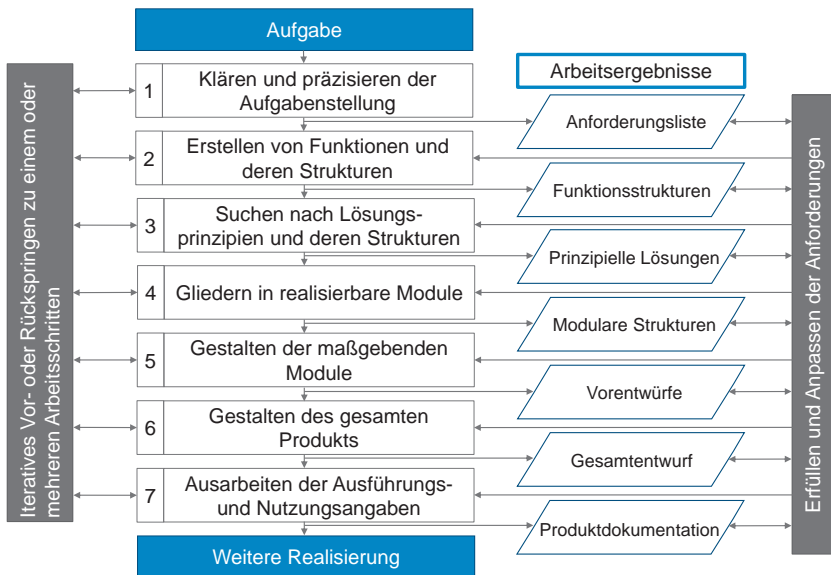


Abbildung 2.19: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren [VDI93, S. 9]

und des Produktentstehungsprozesses werden dabei nicht alleine von der Entwicklung durchlaufen. Es sind ebenfalls eine Vielzahl an Querschnittsfunktionen beteiligt [BG16, S. 403].

Ein Variantenmanagement sollte in der möglichst frühen Phase der Produktentwicklung angewandt werden, da hier erst ein Bruchteil der späteren Kosten entstanden, jedoch das Kostenbeeinflussungspotential am größten ist [EKL07, S. 112]. Unter der frühen Phase der Produktentwicklung wird die Phase zwischen der Initiierung des Projektes und der Bewertung der Produktspezifikationen verstanden. Die Produktspezifizierung beinhaltet die verwendete Technologie, die Übernahme- und Neuentwicklungsanteile, eine Bewertung der Produzierbarkeit, die notwendigen Ressourcen und die technischen sowie ökonomischen Risiken [Bur16, S. 45]. Diese Informationen werden als Eingangsgrößen für die Bewertung verschiedener Lösungsalternativen und somit für ein Variantenmanagement verwendet.

2.5.2. Modulentwicklungsprozess

Im Gegensatz zu integralen Produktarchitekturen, für welche der allgemeine Produktentwicklungsprozess gilt, ist bei einer modularen Produktarchitektur von einem Modulentwicklungsprozess die Rede, welcher vom Entwicklungsprozess des Gesamtproduktes entkoppelt werden sollte. Damit können bahnbrechende Innovationen und technische Quantensprünge in neuen Modulen umgesetzt werden, ohne jedoch auf dem (zeit-) kritischen Pfad des Entwicklungsprojektes laufen zu müssen [Kop14, S. 156 f.]. Der entkoppelte Entwicklungsprozess ist grafisch in Abbildung 2.20, am Beispiel eines Fahrzeugherstellers, dargestellt.

Die weitestgehend voneinander entkoppelten Module haben zum Ziel, vorgeprüft in einem „Regal“, auch Baukasten genannt, für die Entwicklungsprojekte zur Verfügung zu stehen. Durch standardisierte Schnittstellen zu anderen Modulen und eine eindeutige Funktionszuordnung kann das meist komplexe Innenleben des jeweiligen Moduls autonom entwickelt werden [PB07, S. 227].

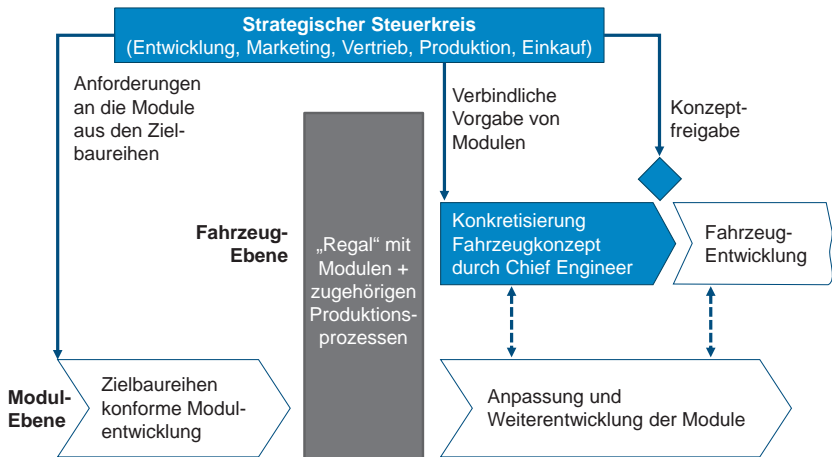


Abbildung 2.20: Entkoppelter Entwicklungsprozess bei der Modularisierung [Kop14, S. 156]

Die Produktentwicklungsprojekte selbst haben zur Aufgabe, die im „Regal“ zur Verfügung gestellten Module, produktspezifisch zu adaptieren und in das Gesamtprodukt zu integrieren [Kop14, S. 156].

Die Module selbst können als funktionsorientierte Black-Boxes („functional black boxes“) angesehen werden, welche separat zu entwickeln und zu testen sind. Bei jedem Modul wird zunächst idealerweise ein Standardmodul entwickelt, welches im Entwicklungsprojekt des Gesamtproduktes projektspezifisch adaptiert wird [WFBCB11, S. 1]. Die eigentliche Modulentwicklung kann, wie auch der allgemeine Entwicklungsprozess, in vier Phasen unterteilt werden [Wut12, S. 14 f.] (Abbildung 2.21):

1. Modulstrategie (Planung und Klärung der Entwicklungsaufgabe)
2. Modulkonzepte erarbeiten (Konzeptualisierung)
3. Modulkonzepte konsolidieren (Entwurfsphase)
4. Ausarbeiten des Standardmoduls (Detaillierung)

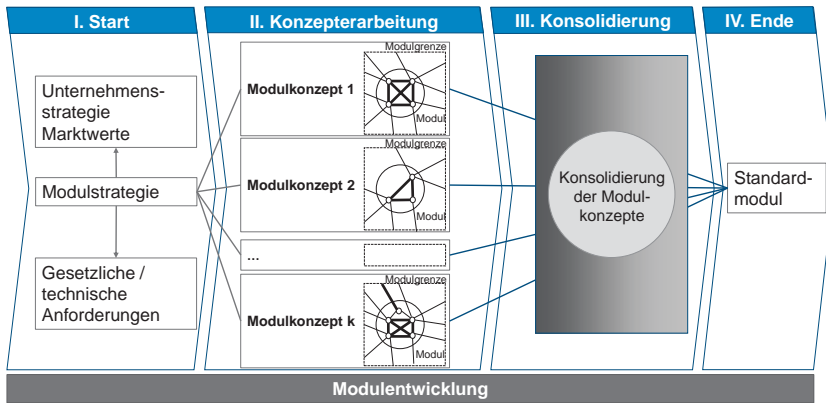


Abbildung 2.21: Modulentwicklung [Wut12, S. 15]

In der ersten Phase ist zunächst die Modulstrategie zu erarbeiten, aus welcher die klaren Anforderungen an das neue Modul hervorgehen [Wut12, S. 14 ff.]. Dazu ist es notwendig, in einem übergeordneten strategischen Planungsprozess, nicht nur eine Roadmap für die Gesamtproduktentwicklung zu erstellen, sondern auch für die Modulentwicklungsprojekte selbst [Kop14, S. 156 f.]. Diese Roadmap, kombiniert mit den technischen, gesetzlichen und kundenseitigen Anforderungen, wird in einem Modul-Lastenheft dokumentiert [Wut12, S. 14 ff.].

In der zweiten Phase werden verschiedene Modulkonzepte erarbeitet. Diese werden in der dritten Phase entworfen, beurteilt und konsolidiert, so dass schlussendlich ein Modulkonzept verbleibt. In der vierten Phase wird das verbliebene Modulkonzept im Detail zu einem Standardmodul ausgearbeitet. Dieses muss in der Lage sein, in sämtliche eingeplante Entwicklungsprojekte integriert zu werden [Wut12, S. 14 ff.].

Wichtig ist, dass die Standardmodule im Optimalfall dann entwickelt werden, wenn die eigentlichen Produktentwicklungsprojekte noch nicht gestartet sind. Diese Phase ist durch sehr hohe Unsicherheit gekennzeichnet und eine Entscheidung für das richtige Modulkonzept wird meist basierend auf Schätzun-

gen, anstelle von richtigen Berechnungen, getroffen [WFBCB11, S. 1 f.]. Ziel eines Variantenmanagements für modulare Produktarchitekturen ist es jedoch, in dieser frühen Phase anzusetzen und eine Entscheidungsunterstützung zu liefern.

2.6. Zusammenfassung

In diesem Kapitel 2 wurden die Grundlagen der vorliegenden Arbeit aufgebaut. Dazu wurde zunächst die begriffliche Basis gebildet, indem die Termini Variante und Vielfalt, Komplexität, Komplexitätskosten sowie Komplexitäts- und Variantenmanagement definiert wurden. Darauf aufbauend wurden die Ursachen, sowohl intern als auch extern, von steigender Komplexität erläutert und die Gefahr der Teufelskreise der Komplexität dargelegt.

Anschließend wurden die Auswirkungen von Komplexität auf das Unternehmen vorgestellt, welche als Ansatzpunkt der späteren Komplexitätsbewertung dienen. Dazu wurden die Komplexitätseffekte in den Abteilungen Entwicklung, Einkauf, Produktion, Logistik, Marketing und Vertrieb skizziert.

Im Anschluss daran wurden die Grundlagen der Modularisierung vorgestellt, da dieser Methode des Komplexitätsmanagements besondere Bedeutung beigemessen wird. Hierzu wurde die Produktarchitektur ganz allgemein vorgestellt und davon die Charakteristika modularer Produktarchitekturen abgeleitet. Weiterhin wurden die Erfolgsfaktoren, aber auch mögliche Defizite, modularer Produktarchitekturen beleuchtet.

Zuletzt wurde in diesem Grundlagenkapitel der Produktentwicklungsprozess dargelegt. Dieser wurde zunächst allgemein skizziert und anschließend wurde die Vorgehensweise bei einem Modulentwicklungsprozess eruiert. Auf dieser Basis kann die Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien im Entwicklungsprozess positioniert werden.

Im nachfolgenden Kapitel 3 wird der Stand der Technik in Wirtschaft und Wissenschaft thematisiert. Dazu wird zunächst der Bedarf einer zugeschnit-

tenen Methodik in der Industrie dargelegt und darauf aufbauend die Anforderungen an eine Methodik abgeleitet. Anschließend können verschiedene existierende Methoden aus der Wissenschaft betrachtet und mit den Anforderungen an eine Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien abgeglichen werden.

3. Stand der Technik in Wirtschaft und Wissenschaft

Das Thema Komplexitätsmanagement und vor allem die Modularisierung gewinnt, wie bereits erläutert, immer mehr an Bedeutung. Aufgrund dieser steigenden Relevanz sind unterstützende Methoden in diesem Bereich von besonderem Interesse für die Praxis. Dabei lässt sich die Modularisierung sowohl der Strategie der Komplexitätsreduzierung als auch der Strategie der Komplexitätsvermeidung zuordnen [Sch14, S. 20 f.] (siehe Abbildung 3.1). Basierend auf dieser Zuordnung sind unterschiedliche unterstützende methodische Ansätze von Interesse.

Während der Implementierung der modularen Produktarchitektur wird das existierende Produktportfolio analysiert und in einzelne Module sowie dessen Varianten aufgespaltet [WBO15, S. 1552]. Nicht benötigte Komponenten und Varianten können bereits in diesem Schritt eliminiert werden. Dieser Schritt fällt somit in den Bereich der Komplexitätsreduzierung. Für diese Phase ist eine Vielzahl an Methoden zur Unterstützung in der industriellen Praxis vor-

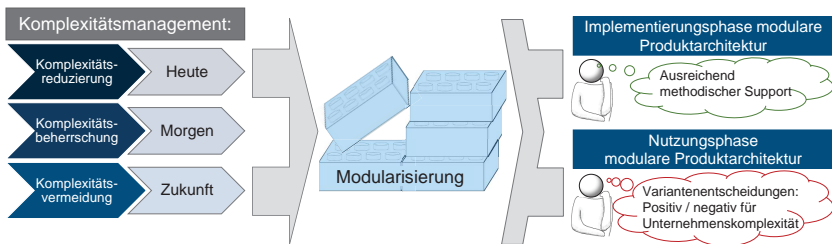


Abbildung 3.1: Bedarf eines Variantenmanagement modularer Produktfamilien

handen [JT05, S. 377; WBHSO16b, S. 1435], so dass dieser Bereich nicht weiter betrachtet wird.

Ziel der anschließenden Nutzungsphase der modularen Produktarchitektur ist, zukünftige Komplexität zu vermeiden. Dazu bietet die Modularisierung ein Rahmenwerk für eine effizientere Handhabung der internen Komplexität und kann damit der Strategie der Komplexitätsvermeidung zugeordnet werden. Kommt es während der Nutzungsphase jedoch zu Variantenanfragen, die mit dem initialen modularen Baukasten nicht abgedeckt werden können, muss entschieden werden, ob und wie diesen Anfragen zu begegnen ist. Denn diese Entscheidungen können vorteilhaft oder suboptimal für die interne Unternehmenskomplexität sein [BBGK15, S. 9]. Der Bedarf solch einer Entscheidungsunterstützung ist in Abbildung 3.1 ersichtlich.

Ziel dieses Kapitels ist, zu untersuchen, welche Anforderungen an solch eine Entscheidungsunterstützung gestellt werden und inwieweit bestehende Methoden in der Wissenschaft diesen Anforderungen gerecht werden. Dazu wird zunächst der Bedarf einer entsprechenden Methodik in der Praxis aufgezeigt (Abschnitt 3.1). Anschließend werden in Abschnitt 3.2 die verschiedenen Anforderungen, die an eine gesamtheitliche Methodik für ein Variantenmanagement modularer Produktfamilien zu stellen sind, abgeleitet. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 3.3 die Vorgehensweise der Analyse bestehender Methoden erläutert. In den Abschnitten 3.4 und 3.5 werden - auf der vorher geschaffenen Basis - bestehende wissenschaftliche Methoden vorgestellt. Zuletzt werden in Abschnitt 3.6 die vorgestellten Methoden hinsichtlich der Anforderungen, die an ein holistisches Variantenmanagement modularer Produktfamilien gestellt werden, bewertet und der Bedarf einer neuen Methodik wird abgeleitet.

3.1. Methodenbedarf in der Industrie

Ein wichtiger Anspruch an eine Methodik ist die Anwendbarkeit in der Industrie. Doch nicht nur die prinzipielle Durchführbarkeit ist wichtig. Nur wenn der

Bedarf einer Methodik aus der Praxis abgeleitet werden kann, ist eine spätere Verwendung zu erwarten. Dazu wird in diesem Kapitel zunächst die Relevanz modularer Produktarchitekturen und anschließend der Stellenwert einer stabilen modularen Produktarchitektur in der Industrie vorgestellt.

3.1.1. Relevanz modularer Produktarchitekturen

In den letzten Jahren ist die Komplexität in der Industrie stark angestiegen. Die Produktvarianz hat sich in den letzten 15 Jahren mehr als verdoppelt, während die Dauer des durchschnittlichen Produktlebenszyklus um 25% zurückgegangen ist [Ber12a, S. 4]. Methoden des Komplexitätsmanagements erlauben es, mit diesen Herausforderungen weitestgehend effizient umzugehen. So könnten Maschinenbauunternehmen durch Anwendung geeigneter Komplexitätsmanagementmaßnahmen weltweit 39 - 54 Milliarden Euro einsparen [Ber12a, S. 4]. Als einer der vier Hauptansätze zur Komplexitätsreduzierung wird in einer Studie von Roland Berger (2012) das Thema Produktstrukturierung, und damit die Methoden Modularisierung und Standardisierung, aufgezeigt.



Abbildung 3.2: Gründe einer modularen Produktarchitektur [Ber12b, S. 15]

In einer weiteren Studie von Roland Berger aus 2012 wurden 50 Unternehmen nach den Gründen befragt, weshalb eine modulare Produktarchitektur als eine der wichtigsten Methoden im Bereich Komplexitätsmanagement angesehen wird. Die Antworten sind in Abbildung 3.2 dargestellt. Einer der Haupttreiber für eine modulare Strategie sind Kosten, sowohl direkte, im Sinne von Produktkosten, wie auch indirekte, über Komplexitätsreduzierungen und letztlich über geringere Entwicklungsausgaben. Aber auch andere Treiber, wie verkürzte Entwicklungszyklen oder eine verbesserte Produktqualität, sind von Bedeutung [Ber12b, S. 15].

In einer Studie von Schuh, Lenders, Arnoscht und Rudolf (2010) wurde explizit nach den monetären Auswirkungen durch den Einsatz von Baukästen gefragt. Es haben 95% der teilnehmenden Unternehmen angegeben, dass der Einsatz eines Baukastens zu etwa 20% geringeren Gesamtkosten führt. Zudem stimmten 80 - 90% der Befragten zu, dass geringere Montage- und Fertigungskosten durch Baukästen erzielt werden. Die Reduzierung der Material-, Logistik- sowie Entwicklungskosten haben knapp 60% der Befragten bestätigt [SLAR10, S. 11]. Jedoch gaben auch 24% der Unternehmen an, dass sie in der Entwicklung keine nennenswerte Kostensenkung sehen, sondern eher mit erhöhten Kosten rechnen mussten [SLAR10, S. 11]. Die gesamten Ergebnisse sind in Abbildung 3.3 dargestellt.

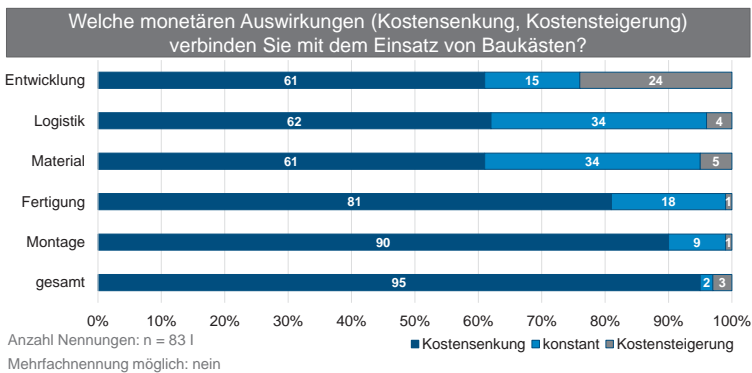


Abbildung 3.3: Monetäre Auswirkungen modularer Strukturen [SLAR10, S. 11]

Insbesondere in der Automobilbranche wurden in den letzten Jahren hohe Summen in Standardisierung und Modularisierung investiert [Ber12a, S. 9]. Die Produktvarianz ist hier von 1997 bis 2012 um 70% gestiegen, während die durchschnittliche Dauer des Produktlebenszyklus um 9% gesunken ist [Ber12a, S. 9]. Unternehmen in der Maschinenbaubranche haben erst später mit einer Standardisierung und Modularisierung begonnen. Dies spiegelt sich im durchschnittlichen Anstieg der Produktvarianz wider, die im genannten Zeitraum um 157% gestiegen ist. Die Dauer des Produktlebenszyklus ist sogar um 24% innerhalb von 15 Jahren zurückgegangen [Ber12a, S. 9]. Der Verlauf der Unternehmenskomplexität beider Branchen, bedingt durch die unterschiedlichen Einstiegszeitpunkte in modulare Strukturen, ist in Abbildung 3.4 dargestellt.

Modulare Produktarchitekturen haben eine steigende Relevanz in der Praxis. Der fortgeschrittene Status modularer Produktarchitekturen in der Automobilindustrie lässt darauf schließen, dass diese Branche eine Modularisierung erfolgreich etabliert hat und weitere methodische Unterstützung nicht zwingend benötigt wird. Unternehmen anderer Branchen, wie zum Beispiel der Maschinenbauindustrie, implementieren erst nach und nach modulare Strukturen. Dabei adaptieren sie verschiedene Konzepte und Werkzeuge aus der

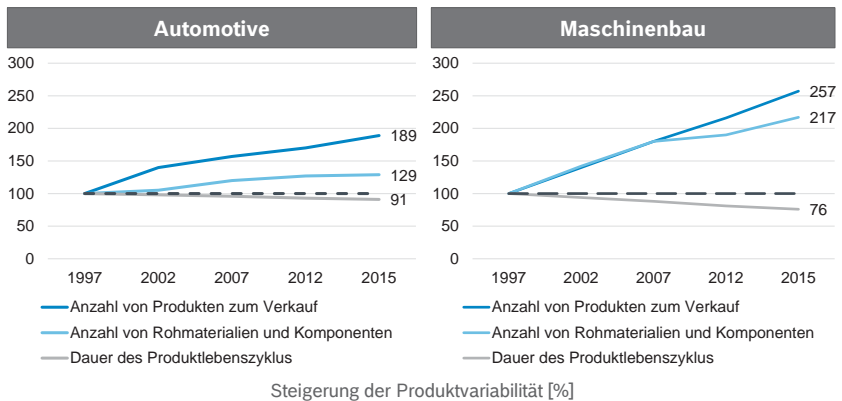


Abbildung 3.4: Branchenanalyse modulare Strategien [Ber12a, S. 9]

Automobilindustrie. Für diese Unternehmen ist allerdings eine auf ihren Unternehmensbereich zugeschnittene Methodik von Relevanz. Die in dieser Arbeit betrachtete Methodik zur Unterstützung modularer Produktfamilien soll nun vorrangig für die Gebrauchsgüterindustrie entwickelt werden.

3.1.2. Stellenwert einer stabilen modularen Produktarchitektur

In den vorausgegangenen Kapiteln konnte der Eindruck entstehen, dass durch die Einführung einer modularen Produktarchitektur automatisch die interne Unternehmenskomplexität in gewünschtem Umfang sinkt. Jedoch ist „nicht jeder eingeführte Baukasten [...] ein guter Baukasten“ [Sch12b, S. 6]. Darüber hinaus ist die Weiterentwicklung eines Baukastens, und damit der modularen Struktur, nicht immer vorteilhaft für die Unternehmenskomplexität.

Erfolgreiche Unternehmen halten die Varianz ihres Produktbaukastens gering [SLAR10, S. 6]. Ein bewusster Umgang mit der Einführung neuer Modul- und Produktvarianten ist essentiell, denn diese können die Komplexität eines Baukastens unkontrolliert steigen lassen [SRSS14, S. 20]. Doch gerade dieser bewusste Umgang mit neuen Modulen und Änderungen an Modulen stellt Unternehmen vor eine große Herausforderung. Beckmann, Gebhardt und Krause (2014) haben in einer Studie mit Industrieteilnehmern herausgefunden, dass eine der sieben Hauptschwierigkeiten, die mit modularen Produktfamilien einhergehen, die langfristige Sicherstellung einer nachhaltig stabilen modularen Produktarchitektur ist [BGK14, S. 124]. Nur durch die kontinuierliche Betrachtung von Modulvarianz, Produktvarianz und den Kommunalitäten sowie der Sicherstellung der modularen Designregeln kann diese Stabilität erzielt werden.

In einem Konsortial-Benchmarking mit 127 Teilnehmern wurden Unternehmen hinsichtlich ihrer Baukastenprozesse zum Freigabe- und Änderungsmanagement befragt [SRSS14, S. 21]. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.5 wiedergegeben. 62% der erfolgreichen Unternehmen haben einen Entschei-

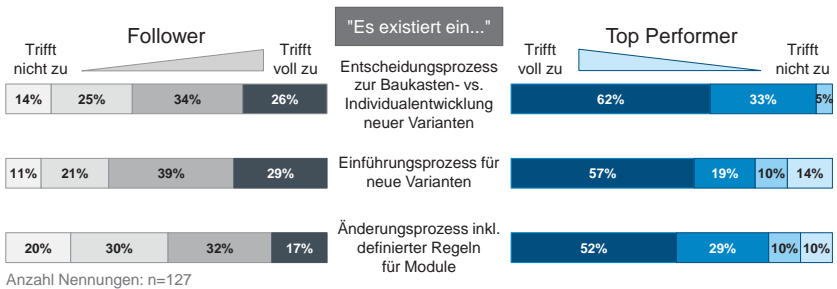


Abbildung 3.5: Wesentliche Baukastenprozesse zum Freigabe- und Änderungsmanagement [SRSS14, S. 21]

dungsprozess zur Weiterentwicklung des Baukastens [SRSS14, S. 21]. Bei den weniger erfolgreichen Unternehmen haben nur 26% einen derartigen Prozess [SRSS14, S. 21]. Diese Unternehmen sollten mit einem Werkzeug für Variantenentscheidungsprozesse unterstützt werden, um ebenso effektiv zu sein und um ihren Baukasten dauerhaft stabil halten zu können.

Weiterhin berücksichtigen erfolgreiche Unternehmen bei der Entwicklung neuer Varianten die Kompatibilität neuer Module zum Baukasten. So haben 71 Studienteilnehmer auf einer Skala von 1 (trifft voll und ganz zu) bis 6 (trifft überhaupt nicht zu) angegeben, inwieweit sie die Verträglichkeit neuer Module mit dem Baukasten im Freigabeprozess integrieren. Erfolgreiche Unternehmen erreichten einen Durchschnittswert von 2,16, wohingegen schwächere Unternehmen lediglich einen Durchschnittswert von 3,65 erzielten [SLAR10, S. 20]. Auf die grafische Darstellung dieser Analyse wurde hier verzichtet. Werden diese Ergebnisse weiter unterteilt auf die verschiedenen Branchen, ist ersichtlich, dass Unternehmen der Automobilindustrie zu 69% die Kompatibilität neuer Module zum Baukasten im Freigabeprozess integrieren, während nur 58% der Unternehmen aus der Maschinenbaubranche dies berücksichtigen [SLAR10, S. 20]. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 3.6 dargestellt. Dieses Resultat spiegelt die Studienergebnisse aus dem vorangegangenen Abschnitt wider, welche belegen, dass die Automobilindustrie Vorreiter im Bereich Modularisierung ist. Dies bestätigt, dass methodische Unterstützung

zur Berücksichtigung der Kompatibilität des Baukastens mit neuen Modulen gerade für Unternehmen anderer Branchen relevant ist und hier Bedarf besteht.

Doch nicht nur die Kompatibilität neuer Module mit dem Baukasten ist bei einem Variantenentscheidungsprozess relevant. Erfolgreiche Unternehmen betrachten bei der Einführung neuer Varianten zudem Komplexitätskosten und berücksichtigen verschiedene Szenarien [SRSS14, S. 20].

Basierend auf den verschiedenen hier vorgestellten Studien lässt sich schließen, dass in der Praxis eine auf modulare Produktarchitekturen zugeschnittene Methodik notwendig ist, die den Entscheidungsprozess hinsichtlich neuer Modul- und Produktvarianten unterstützt. Wichtige Aspekte sind die Prüfung der Kompatibilität mit dem Baukasten sowie Komplexitätskostenbewertungen und Szenario-Analysen. Solch eine methodische Unterstützung ist gerade für Unternehmen außerhalb der Automobilindustrie sinnvoll und erforderlich.

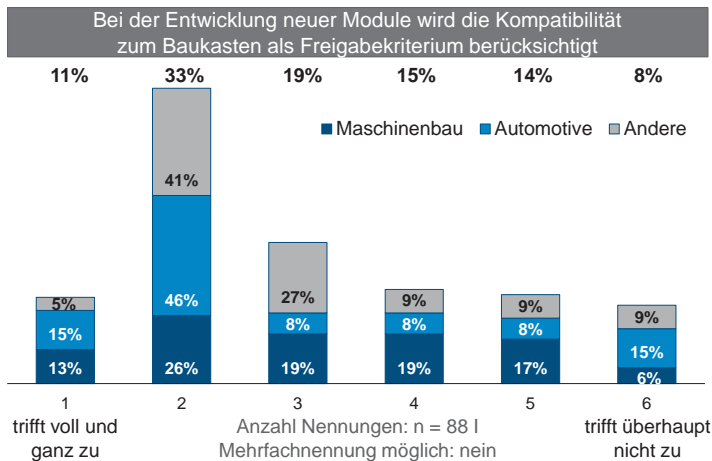


Abbildung 3.6: Kompatibilität neuer Module zum Baukasten sicherzustellen [SRSS14, S. 20]

3.2. Anforderungen an eine neue Methodik

Bevor existierende Methoden hinsichtlich ihrer Unterstützung von Variantenentscheidungen bei modularen Produktarchitekturen untersucht werden können, sind die Anforderungen, die an solch eine Methodik gestellt werden, aufzuzeigen. Dazu werden zunächst die Ansprüche, die allgemein an ein Variantenmanagement gestellt werden, beleuchtet. Anschließend werden die spezifischen Charakteristika modularer Produktfamilien definiert und daraus weitere Erfordernisse an eine Methodik abgeleitet. Zuletzt werden die prinzipiellen Anforderungen an eine Methode zur Entscheidungsfindung vorgestellt. Damit kann zum Schluss dieses Abschnitts die erforderliche Methodik, entwickelt im Rahmen dieser Arbeit, innerhalb der Designtheorie und -forschung positioniert werden.

3.2.1. Anforderungen an ein Variantenmanagement

Die Grundaufgabe eines Variantenmanagements ist die Optimierung der Vielfalt eines Unternehmens mittels einer Entscheidungsunterstützung hinsichtlich der Modifikationen des bestehenden Variantenspektrums [Hei99, S. 41 f.]. Unter dem Begriff Modifikation wird sowohl die Neuaufnahme als auch die Bereinigung von Varianten verstanden [Hei99, S. 43]. Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit sind vorrangig Entscheidungen über die Neuaufnahme von Varianten, da mittels der initialen Implementierung der modularen Produktarchitektur eine Bereinigung unnötiger Varianten bereits vorgenommen wurde. Zur optimalen Weiterentwicklung eines Variantenspektrums sollten zunächst verschiedene Lösungsalternativen verglichen werden. Dieser Vergleich sollte mit Hilfe einer geeigneten Methodik zugelassen werden [Rat93, S. 47 f.].

Quantitative Daten zur Bewertung dieser Lösungsalternativen sind dabei essentiell. Nur so können Entscheidungsträger ermessen, inwieweit ein Konzept gegenüber einem anderen bevorzugt werden sollte [Ava07, S. 40 f.]. Eine Betrachtung der Kosten zur Beherrschung der durch neue Varianten ausgelös-

ten Komplexität sowie der Nutzeneffekte ist unumgänglich [Rat93, S. 9 f.]. Diese Kosten-Nutzen-Analyse ist somit Basis eines Variantenmanagements und wird in Abbildung 3.7 aufgezeigt. Bei der Bewertung der Komplexitätskosten sind sowohl einmalige Aufwände, zur initialen Generierung der Varianten, als auch laufende Aufwände, zur Pflege dieser Varianten, zu berücksichtigen [Hei99, S. 59 f.; TP14, S. 173 ff.]. Varianteninduzierte Komplexitätskosten treten dabei nicht nur in den Abteilungen auf, in denen diese erzeugt werden, sondern lassen sich über den gesamten Variantenlebenszyklus hinweg feststellen [Hei99, S. 59 f.].

Neben den inhaltlichen Anforderungen werden auch weitere allgemeine Ansprüche an ein Variantenmanagement gestellt. Generell lassen sich Anforderungen an ein Kostenrechnungssystem in folgende Kriterien unterteilen: Datenerfassung, Datenqualität, Datenverwendung, Datenaufbereitung und Wirtschaftlichkeit [Hei99, S. 59 f.; Sch88, S. 91 ff.]. Ziel ist, eine möglichst hohe Datenqualität bei angemessenem Aufwand der Datenerfassung zu ermöglichen. Das heißt, der Erkenntniszuwachs durch die Anwendung eines Variantenmanagements muss höher sein, als der Aufwand zur Durchführung [Rat93, S. 47 f.]. Weiterhin ist ein hohes Maß an Objektivität sowie späterer Nach-

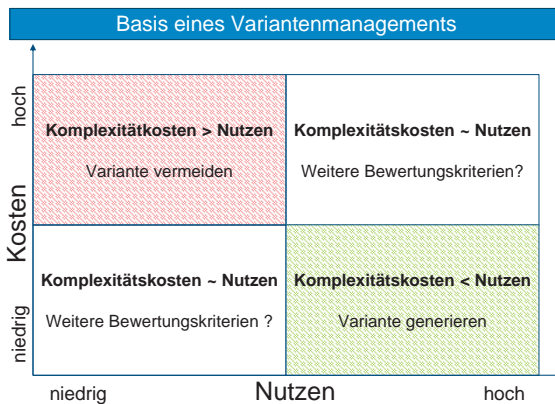


Abbildung 3.7: Basis eines Variantenmanagements

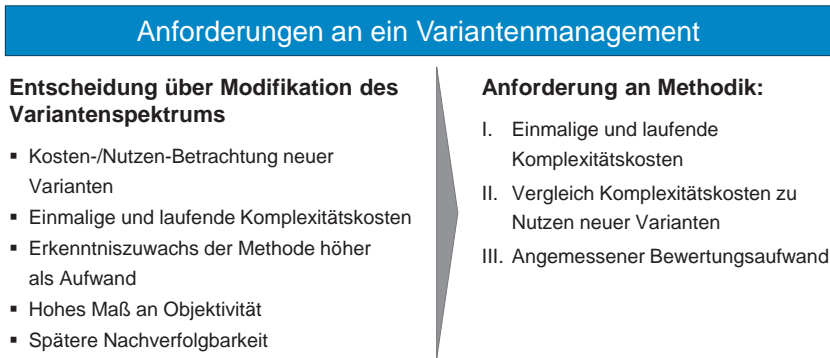


Abbildung 3.8: Allgemeine Anforderungen an Methodik

vollziehbarkeit notwendig, um eine Akzeptanz der Methode bei den Entscheidungsträgern sicherzustellen [Rat93, S. 47 f.].

Eine Auflistung der Anforderungen, die an ein Variantenmanagement gestellt werden und eine davon abgeleitete Liste an Erfordernissen, die eine Methodik hinsichtlich dieser Anforderungen mindestens erfüllen muss, ist in Abbildung 3.8 dargestellt.

3.2.2. Anforderungen hinsichtlich der Charakteristika modularer Produktfamilien

Der initiale Aufbau einer modularen Produktarchitektur ist mit hohen Kosten verbunden, die durch ein anschließendes effizienteres Handling der internen Unternehmenskomplexität kompensiert werden [JT05, S. 371 ff.]. Konsequenz ist, dass die modulare Struktur nachhaltig stabil gehalten werden muss [BBGK15, S. 2 ff.]. Werden unter Beachtung der modularen Designregeln, aber ohne Berücksichtigung von Kommunalitäten, neue Varianten ohne klare Wiederverwendung hinzugefügt, vergrößert sich der modulare Baukasten und das Grundprinzip einer kontrollierten internen Komplexität wird vernachlässigt [WBHSO16b, S. 1435 ff.]; ein Variantenmanagement ist notwendig. Die

im vorausgegangenen Abschnitt definierten Anforderungen, die prinzipiell an ein Variantenmanagement gestellt werden, sind jedoch nicht ausreichend bei modularen Produktarchitekturen, die Charakteristika modularer Produktfamilien müssen zusätzlich in einer Methodik Berücksichtigung finden [Ava07, S. 4 f.].

Hauptanforderung an ein modulares Variantenmanagement ist, Variantenentscheidungen bezüglich neuer Module und Modulvarianten zu unterstützen [Ava07, S. 40 ff.]. Die Erzeugung neuer Produktvarianten erfolgt durch die Kombination verschiedener Module [FGGT13, S. 261]. Daraus folgt, dass innovative Marktanforderungen durch die Entwicklung neuer Module erfüllt werden und nicht, wie bei einer integralen Produktarchitektur, basierend auf einer Gesamtproduktentwicklung [WBHSO16b, S. 1437 f.] (Abbildung 3.9-1).

Bei Variantenentscheidungen über neue Module und Modulvarianten ist von vorrangiger Bedeutung, dass die modularen Designregeln berücksichtigt werden. Ist dies nicht der Fall, ist eine stabile modulare Produktarchitektur nicht mehr sichergestellt [BC06, S. 191]. Eine modulare Struktur ist durch standardisierte, entkoppelte, intermodulare Schnittstellen definiert [Ulr95, S. 422]. Die neuen Module und deren Varianten müssen mit diesen standardisierten Schnittstellen in Einklang sein. Dabei liegt die Entscheidung im Ermessen des Unternehmens, ob diese Schnittstellen nie angefasst werden dürfen oder ob ein Variantenmanagement die multiplikativen Auswirkungen solcher Schnittstellenänderungen berücksichtigen muss. Insofern Änderungen an den Schnittstellen erlaubt sind, wird die Flexibilität der modularen Produktarchitektur erhöht, jedoch wirken sich solche Änderungen auch auf ein oder mehrere benachbarte Module aus. Dementsprechend bedingt die Änderung der intermodularen Schnittstelle eines Moduls Änderungen an anderen Modulen und führt zu hohen Kosten, die zu bewerten sind [WBHSO16b, S. 1437 f.] (Abbildung 3.9-2).

Neben dem Sicherstellen der standardisierten Schnittstellen ist eine dauerhafte Aufrechterhaltung von Kommunalitäten innerhalb der modularen Produktfamilie von hoher Bedeutung. Bahns, Beckmann, Gebhardt und Krause (2015) charakterisieren eine nachhaltige modulare Produktarchitektur über die Hand-

habung von Kommunalitäten während des Lebenszyklus' der modularen Produktfamilie, auch wenn diese geändert wird [BBGK15, S. 2]. Daraus lässt sich wiederum folgern, dass die Einführung zusätzlicher Module und Modulvarianten und damit neuer Komponenten nur dann sinnvoll ist, wenn diese neuen Varianten einen klaren Kundenvorteil nach sich ziehen. Andernfalls sollte das Modularisierungsziel, die Wiederverwendung existierender Module bei neuen Produkten, gewahrt werden (Abbildung 3.9-3).

Um die Wiederverwendung der vorhandenen Module und Modulvarianten bereits während deren Erzeugung zu fördern, ist die frühzeitige Berücksichtigung der Unternehmens- und Variantenstrategie in der Konstruktionsphase notwendig. Die Aktivitäten in der Entwicklung sollten immer an die übergeordnete Unternehmensstrategie gebunden sein [BG16, S. 403]. Gerade bei modularen Produktarchitekturen spielt eine strategische Betrachtung eine umso wichtigere Rolle. Nur wenn die neuen Module und Modulvarianten der strategischen Unternehmensausrichtung entsprechen, ist eine spätere Wiederverwendung wahrscheinlich. Andernfalls besteht das Risiko, dass neue Module entwickelt werden, die mit der Unternehmensstrategie nicht in Einklang sind. Diese Module werden dann mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht wiederverwendet, da die Anforderungen zukünftiger Produkte von der Unternehmensstrategie abgeleitet werden, diese aber nicht mit den existierenden Modulen übereinstimmen [WBO15, S. 1551 ff.] (Abbildung 3.9-6).

Wie auch bei integralen Produktarchitekturen sollten verschiedene Szenarien bei einer Variantenentscheidung Berücksichtigung finden [Rat93, S. 47 f.]. Dabei ist bei einer modularen Produktarchitektur prinzipiell zwischen einer Anpassung der modularen Produktfamilie, einer Entwicklung unabhängig von der modularen Architektur oder dem Beschluss, die Variantenanfrage nicht zu erfüllen, zu unterscheiden [Del06, S. 183 ff.]. Hinsichtlich der Weiterentwicklung der modularen Produktfamilie stehen verschiedene Optionen zur Auswahl. Ein neues, vorher noch nicht existentes Modul oder eine Modulvariante können hinzugefügt werden, ein bestehendes Modul kann substituiert werden oder bestehende Module können ausgegliedert werden [BC06, S. 191 f.]. Für eine Entscheidungsunterstützung ist vorrangig ein Variantenmanagement

neuer Module und Modulvarianten von Bedeutung. Dementsprechend wird die Option der Ausgliederung bestehender Module nicht weiter verfolgt. Neben der Anpassung der modularen Produktfamilie ist auch eine von der modularen Produktarchitektur unabhängige Entwicklung möglich. Dabei kann es sich um ein Zubehör, welches unabhängig von einem modular aufgebauten Produkt ist, oder um eine neue Baugruppe, die in ein einzelnes, spezifisches modulares Produkt integriert wird, handeln. Die modularen Designregeln sind dann nicht relevant [WBHSO16b, S. 1437 f.]. Zuletzt sollte, nach Betrachtung aller relevanten Kriterien, auch immer die Option bestehen, einen speziellen Kundenwunsch nicht zu erfüllen [Del06, S. 183 ff.] (Abbildung 3.9-4).

Anforderung an ein klassisches Variantenmanagement ist die Bewertung der initialen und auch der laufenden Aufwände zur Pflege neuer Varianten. Basis der Analyse der laufenden Aufwände ist der Produktlebenszyklus. Neue Produkte werden jedoch durch die Kombination verschiedener Module und ihrer Varianten gebildet. Dementsprechend sind bei Variantenentscheidungen über neue Module und Modulvarianten, die vom Produkt entkoppelten Modullebenszyklen zu berücksichtigen [WBHSO16b, S. 1437 f.]. In Abhängigkeit des aktuell zu betrachtenden Moduls kann der Modullebenszyklus variieren. Schuh, Aleksic und Arnoscht (2013) haben das 'Onion peel model' (Zwiebelschalenmodell) entwickelt, welches ein grafisches Tool ist, um die Flexibilität eines Moduls zu visualisieren. Die schematische Darstellung einer Zwiebel mit drei Schichten gibt, basierend auf den vier Kriterien Kundennutzen, Modul-Interaktion, Komplexitätskosten sowie technologische Änderungen, an, wie flexibel ein Modul ist [SAA13, S. 1610 f.]. Befindet sich ein Modul auf der äußersten Schale, so sollte das Modul so konstruiert werden, dass gewünschte häufige Änderungen mit geringem Aufwand durchgeführt werden können. Module, die der inneren Zwiebelschale zugeordnet werden, bringen einen hohen Änderungsaufwand mit sich und die Änderungshäufigkeit sollte folglich gering sein [SAA13, S. 1610 f.]. Die in der inneren Schale aufgeführten Module sollten einen langen Modullebenszyklus haben, während die Module in der äußersten Schale einen deutlich geringeren Modullebenszyklus aufweisen können (Abbildung 3.9-5).

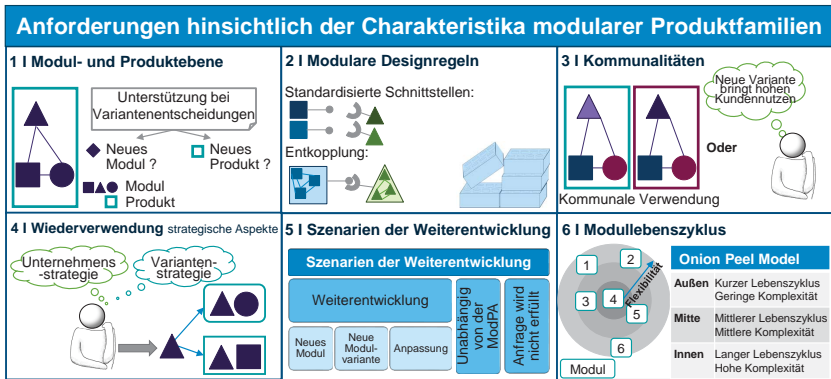


Abbildung 3.9: Anforderungen an Methodik hinsichtlich der Charakteristika modularer Produktfamilien

Die herausgestellten verschiedenen Erfordernisse, denen ein Variantenmanagement hinsichtlich der modularen Produktarchitektur gerecht werden muss, sind in Darstellung 3.9 zusammengefasst.

3.2.3. Anforderungen an eine Methodik zur Entscheidungsunterstützung

Weiterhin ist Ziel eines Variantenmanagements modularer Produktfamilien, eine Entscheidungsunterstützung hinsichtlich neuer Module und Modulvarianten zur Verfügung zu stellen. Dementsprechend sind auch die allgemeinen Anforderungen an eine Methodik zur Entscheidungsfindung herauszustellen. Die Entscheidungsphasen 'Probleme klären', 'Lösungen suchen' und 'Lösungen auswählen' sind primär zu unterstützen [LLW16, S. 759 ff.].

Prinzipiell ist ein optimales Entscheidungsniveau festzulegen, welches durch die sich wechselseitig beeinflussenden Ziele Prozesseffizienz und Prozesseffektivität bestimmt wird. Eine hohe Prozesseffizienz weist sich durch einen geringen Personal- und Zeitaufwand aus. Im Gegensatz dazu steht eine hohe Prozesseffektivität und somit eine hohe Qualität der Entscheidung [Som03,

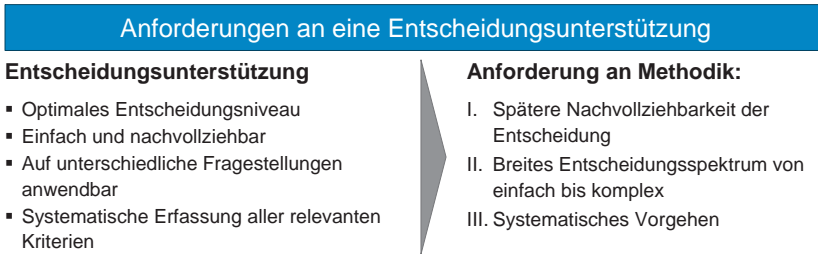


Abbildung 3.10: Anforderungen an Methodik zur Entscheidungsunterstützung

S. 37 f.]. In Abschnitt 3.2.1 wurde dies bereits unter dem Punkt eines ausgeglichenen Verhältnisses zwischen der Datenqualität und dem Aufwand der Datenerfassung behandelt. Weiterhin sollte eine Entscheidungsunterstützung einfach und nachvollziehbar und dabei auf unterschiedlichste Fragestellungen, von simpel bis komplex, übertragbar sein. Eine Unterstützung zur systematischen Erfassung aller relevanten Kriterien dient als Grundlage [KMKM12, S. 3]. Neben den genannten übergeordneten Zielen sollte eine Entscheidungsunterstützung zu einer rechtzeitigen Entscheidung führen. Das Ergebnis sollte langfristig gültig sowie zielorientiert sein. Die getroffene Entscheidung sollte anschließend von denjenigen akzeptiert werden, die das Ergebnis umsetzen [Som03, S. 41 f.]. Eine Auflistung der allgemeinen Ansprüche an eine Entscheidungsunterstützung ist in Abbildung 3.10 dargestellt.

3.2.4. Positionierung der Arbeit innerhalb der Designtheorie und -forschung

Bevor bestehende Methoden hinsichtlich der gelisteten Anforderungen abgeglichen werden, ist zunächst eine Einordnung in bestehende Forschungsgebiete notwendig. Darauf aufbauend kann im nachfolgenden Kapitel die Art der Methodenanalyse abgeleitet werden.

Die vorliegende Arbeit lässt sich innerhalb der Designtheorie und -forschung einordnen. Nach Hubka und Eder (1996) ist die Designforschung ein Sys-

tem von logisch verbundenem Wissen, welches die gesamten Erkenntnisse im Bereich Entwicklung und Gestaltung („Design“) beinhalten und organisieren soll [HE96, S. 73]. Eine Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien kann innerhalb der Designtheorie in die Teilgebiete Variantenmanagement, Produktstrukturierung mit Fokus modulare Produktarchitektur sowie Entscheidungsfindung unterteilt werden, wie in Abbildung 3.11 visualisiert.

Die Forschungsgebiete Variantenmanagement sowie Produktstrukturierung mit Fokus modulare Produktarchitekturen sind dabei von besonderer Bedeutung. Der Themenbereich Entscheidungsfindung wurde bei der Ableitung der Anforderungen an eine Methodik betrachtet, wird jedoch bei der anschließenden Literaturrecherche nicht genauer verfolgt. Grund ist, dass die aus diesem Themengebiet definierten Anforderungen genereller Form sind, unabhängig von der hier spezifisch definierten Aufgabenstellung. Dennoch werden die definierten Anforderungen bei Methoden aus den Forschungsgebieten Variantenmanagement sowie Produktstrukturierung mit Fokus auf modulare Produktarchitekturen berücksichtigt.

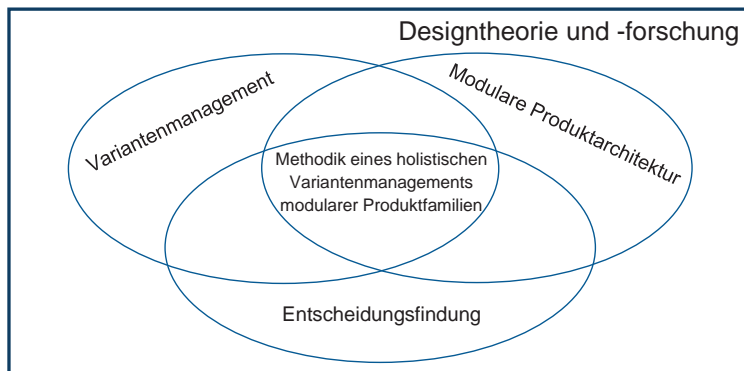


Abbildung 3.11: Positionierung der Arbeit

3.3. Methodenanalyse

Die Forschungsgebiete Variantenmanagement und Produktstrukturierung sind mannigfaltig. Aus diesem Grund ist es notwendig, zunächst eine Eingrenzung in diesen Themengebieten vorzunehmen, um anschließend für die gestellten Anforderungen möglichst passende, existierende wissenschaftliche Arbeiten und Methodiken erfassen und bewerten zu können. Dazu werden zunächst die vorgestellten einzelnen Anforderungen zu Gesamtanforderungen an eine Methodik zusammengefasst. Anschließend wird in diesem Abschnitt das Vorgehen der Literaturrecherche vorgestellt.

3.3.1. Gesamtanforderungen an eine Methodik

Ein Variantenmanagement modularer Produktarchitekturen dient der Entscheidungsunterstützung hinsichtlich neuer Module und Modulvarianten. Neben der quantitativen Bewertung des Aufwandes neuer Varianten, in Form von einmaligen und laufenden Komplexitätskosten, ist eine Sicherstellung der modularen Designregeln wie auch Kommunalitäten Basis der Bewertung. Bei der Bewertung von Komplexitätskosten ist es notwendig, dass den diversen Modullebenszyklen Beachtung geschenkt wird. Für eine Entscheidung hinsichtlich eines Variantenszenarios sind jedoch nicht nur Komplexitätskosten relevant, auch eine Abwägung mit den Nutzeneffekten der verschiedenen Alternativszenarien ist von Bedeutung. Eine objektive und später nachvollziehbare Variantenbewertung ist ein Muss. Dabei sollte der Aufwand zur Sammlung der notwendigen Daten in einem angemessenen Verhältnis stehen.

Auch die Berücksichtigung strategischer Aspekte ist wichtig, um dem Modularisierungsziel einer Wiederverwendung der verschiedenen Module und Modulvarianten gerecht zu werden. Zur optimalen Weiterentwicklung der modularen Produktfamilie ist die Bewertung verschiedener Szenarien essentiell. Mit diesen Anforderungen soll ermöglicht werden, dass eine Anpassung der modularen Produktfamilie vorteilhaft für die interne Unternehmenskomplexität ist und die modulare Produktarchitektur dabei nachhaltig stabil gehalten wird.

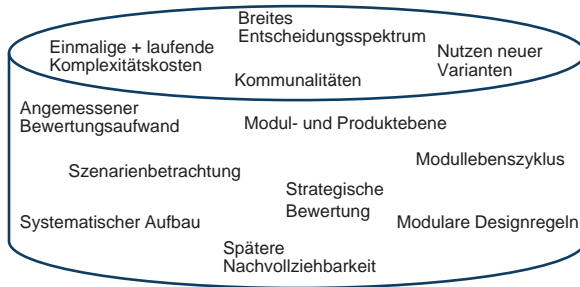


Abbildung 3.12: Gesamtanforderungen an die Methodik

Neben der Berücksichtigung dieser Aspekte sollte eine Methodik den Entscheidungsprozess durch einen systematischen Aufbau fördern. Ein breites Spektrum an Variantenentscheidungen, von simpel bis komplex, ist zu unterstützen. Die verschiedenen, aggregierten Anforderungen, die an eine Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien gestellt werden, sind in Abbildung 3.12 dokumentiert.

3.3.2. Rahmenwerk der Methodenanalyse

Hauptanforderung an eine modulare Produktarchitektur ist die nachhaltige Stabilität über deren Lebensdauer hinweg. Aus dieser Anforderung heraus werden zunächst bestehende Methoden hinsichtlich deren Eignung zur Sicherstellung dieser Forderung überprüft. Die Sicherstellung der modularen Designregeln und Kommunalitäten sowie die Bewertung von strategischen Aspekten bei der Weiterentwicklung der modularen Architektur sind dabei Basiskriterien, die solch eine Methodik abdecken sollte. Weiterhin werden die allgemeinen Anforderungen an eine Methodik, wie ein angemessener Bewertungsaufwand, ein systematischer Aufbau, eine spätere Nachvollziehbarkeit sowie ein breites Entscheidungsspektrum, herangezogen. Bestehende Methodiken im Bereich Produktstrukturierung werden in Kapitel 3.4 dahingehend untersucht. Die zu untersuchenden Kriterien dieser ersten Literaturrecherche sind in Darstellung 3.13 abgebildet.

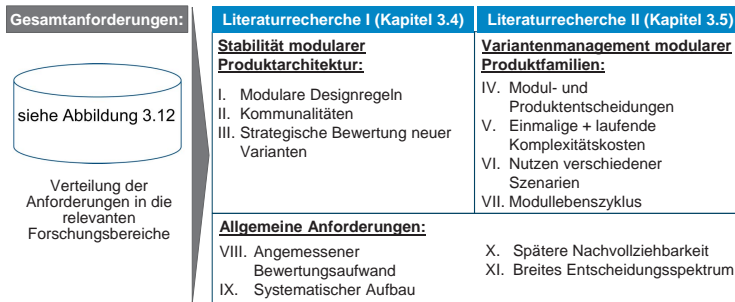


Abbildung 3.13: Methodenanalyse

Zur Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur müssen weiterhin Variantenentscheidungen getroffen werden, die sich positiv auf die Unternehmenskomplexität auswirken und damit vorteilhaft für die modulare Produktarchitektur sind. Dementsprechend sind bestehende Variantenmanagementmethodiken hinsichtlich ihrer Eignung, diese bei modularen Produktfamilien anzuwenden, zu prüfen. Da der Teilaspekt der Komplexitätskosten hier eine besonders wichtige und auch kritische Rolle einnimmt, wird in diesem Teil der Literaturrecherche der Fokus auf bestehende Komplexitätskostenmethoden gelegt. Somit werden existierende Methoden zur Komplexitätskostenbestimmung hinsichtlich ihrer Qualifikation, Komplexitätsaufwände auf Modul- wie auch Produktebene bestimmen zu können, betrachtet. Hier ist essentiell, ob eine Bewertung von einmaligen und auch laufenden Komplexitätskosten sowie eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Modullebenszyklen möglich sind. Auch ein späterer Vergleich verschiedener Szenarien, unter Berücksichtigung des Nutzens einer neuen Variante, sollte mit einer Methodik möglich sein. Zudem sind die allgemeinen Anforderungen, wie bereits bei der Literaturrecherche im Bereich Produktstrukturierung angewandt, zu berücksichtigen und anschließend zu bewerten. Die Betrachtungskriterien der zweiten Literaturrecherche sind ebenfalls in Bild 3.13 dargestellt.

Die Ergebnisse der Analyse von bestehenden Methoden und ein Abgleich mit den an eine Methode gestellten Anforderungen sind in Kapitel 3.6, Diskussion und Bewertung, aufgezeigt.

3.4. Methoden: Sicherstellung stabiler modularer Produktarchitektur

Zunächst werden existierende Methoden untersucht, die eine Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur zum Ziel haben. Hier ist zu prüfen, ob die bestehenden Werkzeuge die modularen Designregeln über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg sicherstellen, Kommunalitäten berücksichtigen sowie strategische Aspekte bei neuen Varianten bewerten. Weiterhin wird der Bewertungsaufwand, eine systematische Vorgehensweise, die Möglichkeit einer späteren Nachvollziehbarkeit sowie das potentielle Entscheidungsspektrum dieser Methoden analysiert.

Die verschiedenen existierenden Methoden können in zwei Gruppen unterteilt werden. Zum einen in Methoden, die auf die Implementierung einer stabilen modularen Produktarchitektur abzielen, zum anderen in Methoden, die die Aufrechterhaltung einer stabilen modularen Produktarchitektur zum Fokus haben. Die zweite Gruppe kann zusätzlich in Methoden, die die Änderung und Einführung neuer Module und Modulvarianten unterstützen und damit Stabilität sicherstellen sowie in Methoden zur Bewertung der Stabilität über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg eingeteilt werden.

Dazu wurden insgesamt acht verschiedene Methoden ausgewählt, welche in Abbildung 3.14 dargestellt und im Folgenden kurz erläutert werden.

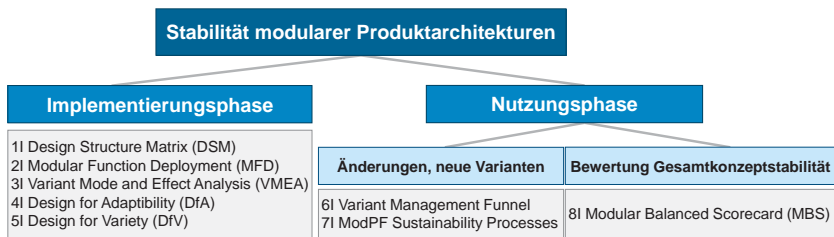


Abbildung 3.14: Literaturrecherche: Stabilität modularer Produktfamilien

3.4.1. Design Structure Matrix

Die bereits in den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts durch Steward entwickelte und durch Eppinger und Browning weitergeführte *Design Structure Matrix (DSM)* ist eine der Basismethoden zur Strukturierung modularer Produktfamilien [EB12, S. 12 ff.].

Mittels eines Ansatzes in fünf Schritten können Produktarchitekturen modelliert und analysiert werden (Abbildung 3.15). Im ersten Schritt wird ein Gesamtsystem in seine einzelnen Bestandteile zerlegt. Anschließend werden im zweiten Schritt die Beziehungen zwischen den gelisteten Systemelementen identifiziert und dokumentiert. Innerhalb des dritten Schrittes sind die Elemente und ihre Beziehungen neu anzuordnen, um deren Systemverhalten zu untersuchen und Zugehörigkeiten zu ermitteln. Im vierten Schritt werden die Ergebnisse aus dem dritten Schritt visualisiert und Punkte von besonderem Interesse hervorgehoben. Zuletzt kann und sollte im fünften Schritt das visualisierte System verbessert werden [EB12, S. 10].

Mittels der DSM lassen sich die technisch-funktionalen Beziehungen zwischen den einzelnen Produktkomponenten ableiten und bewerten. Dazu wird eine Beziehungsmatrix aufgebaut. Die Komponenten des Produktes, beziehungsweise Systems, werden durch die Zeilen und Spalten der Matrix repräsentiert. Die Werte innerhalb der Matrix, also zwischen zwei Komponenten, zeigen die funktionale Beziehung zwischen diesen auf [Kop14, S. 130 f.]. Das Grundschema dieser Matrix ist in Darstellung 3.16 abgebildet.

Innerhalb der Matrix können die verschiedenen Beziehungsarten, wie Material-, Energie- und Signalflüsse, abgebildet werden [Kop14, S. 131]. Die Beziehungsarten der Flüsse werden anschließend auf einer Skala von 0 (keine Beziehung) bis 7 (starke Beziehung) bewertet. Hier ist wichtig, dass



Abbildung 3.15: Vorgehensweise DSM [EB12, S. 10]

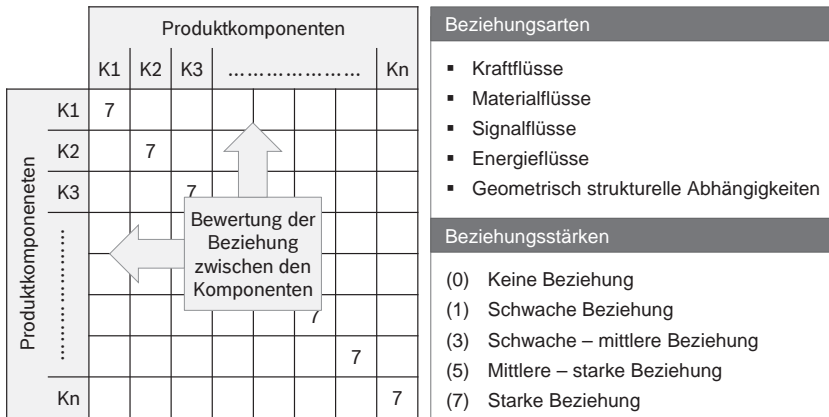


Abbildung 3.16: Design Structure Matrix (DSM) [Kop14, S. 131]

bei mehreren Beziehungen zwischen zwei Komponenten das Gesamtergebnis nicht additiv, sondern mittels synergetischer Betrachtung ermittelt wird [Kop14, S. 131 f.]. Auf dieser Basis kann entschieden werden, Komponenten mit einer geringen Beziehungsstärke zu entkoppeln, während Komponenten mit einer hohen Beziehungsintensität zu Modulen zusammenzufassen sind [Kop14, S. 132].

Die Design Structure Matrix ist eine hilfreiche Unterstützung zur Identifikation von Modulen in der Implementierungsphase einer modularen Produktarchitektur. Dabei können die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Modulen transparent dargestellt werden. Diese Darstellung kann bei Variantenentscheidungen herangezogen werden, um eine Verletzung der standardisierten intermodularen Schnittstellen aufzudecken und zu vermeiden. Es wird jedoch nicht sichergestellt, dass dies bei Variantenentscheidungen auch wirklich berücksichtigt wird. Die Sicherstellung von Kommunalitäten und die Bewertung von strategischen Aspekten werden mit dieser Methodik nicht unterstützt. Die Matrix erlaubt es bei Variantenentscheidungen mit geringem Aufwand eine intermodulare Schnittstellenverletzung zu bewerten. Dabei ist ein systematischer Aufbau gegeben, der eine spätere Nachvollzieh-

barkeit potentieller Verletzungen ermöglicht. Variantenentscheidungen werden nur indirekt unterstützt. Damit ist eine Bewertung des möglichen Entscheidungsspektrums bei dieser Methodik nicht relevant.

3.4.2. Modular Function Deployment

Die Methodik *Modular Function Deployment (MFD)* wurde 1996 von Erixon entwickelt und kann ebenfalls in fünf Schritte unterteilt werden (Abbildung 3.17). Im ersten Schritt werden zunächst die Kundenanforderungen, die an eine Produktfamilie gestellt werden, bestimmt. Basierend auf diesen werden im zweiten Schritt technische Lösungen definiert und selektiert. Dazu wird das Produkt in die einzelnen Funktionen und die dazugehörigen technischen Lösungen aufgeteilt [Eri98, S. 65 ff.]. Der dritte Schritt ist zentrales Element dieser Methodik, er führt zum Modultreiber-Konzept. Dieses Konzept besteht aus zwölf produktstrategischen Faktoren aus den Bereichen Produktentwicklung, Varianz, Produktion, Qualität, Einkauf und After-Sales [Kip12, S. 33 f.]. Als Beispiel sei der Übernahmetreiber (Carry-Over) genannt, der bewertet ob Sub-Komponenten in andere Produktgenerationen übernommen werden können [Eri98, S. 72 ff.].

Die verschiedenen Modultreiber bilden die Zeilen der im dritten Schritt erzeugten 'Module Indication Matrix (MIM)'. In den Spalten sind die einzelnen Funktionsträger aufgelistet (siehe Bild 3.18). Für jeden Funktionsträger werden die einzelnen Modultreiber bewertet. Hier können die Punkte 1 (geringer Zusam-

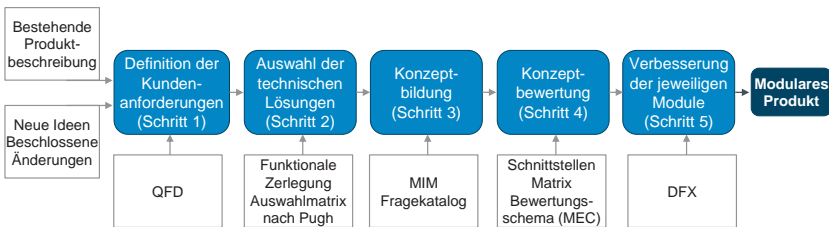


Abbildung 3.17: Modular Function Deployment (MFD) [Eri98, S. 65]

Funktionsträger		Modultreiber																									
		Lüfter	Schallschutz	Lüfter	Elektromotor	Dampfer	Schallschutz	Motor	Chassis	Staubbeutel	Filter	Trinistor + Knopf	Schalter + Knopf	Gehäuse	Kabel + Kontakte	Griff	Hinerrad	Vorderrad	Accessories	Stoßleiste	Cover	Anzeige	Gehäusedichtung	O-Ring	Kabelrolle	Verschluss	Bremse + Knopf
Design und Entwicklung	Übernahme	●	●							●	●	●	●	●				●	○			●		●	●	●	●
	Technologiesprung									●	●																
Variansz	Produktplanung																										
	Untersch. Spezifikation	○	○	○						○	○		●									●					
Produktion	Styling									●	●	●	●	●		●	○					●					●
	Gleichteil	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Qualität	Prozess/Org.	●		●				●	●				●										●	●	●	●	●
	Separates Testen			●									○														
Beschaffung	Black-Box-Entwicklung									●	●			●													
	Service/ Wartung			●						○	●	○															
After Sales	Erweiterung									○	●	○															
	Recycling		●				●						●											○			
	Vertikale Summe der Modultreiber-wertungen	22	4	43	9	9	27	27	32	34	18	27	16	9	4	18	10	9	9	9	18	9	9	19	9	15	
	Modulkandidaten	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X											X			

Abbildung 3.18: Module Indication Matrix (MIM) am Beispiel eines Staubsaugers [Eri98, S. 108; Kip12, S. 33]

menhang), 3 (mittlerer Zusammenhang) sowie 9 (starker Zusammenhang) vergeben werden. Besteht kein Zusammenhang zwischen einer Komponente und einem Modultreiber bleibt der Zellenwert leer [Eri98, S. 77 ff.; Kip12, S. 34]. Die Werte der einzelnen Modultreiber je Funktionsträger werden anschließend in der untersten Zeile aufsummiert. Ein hoher Modultreiberwert ist Indikator, dass dieser Funktionsträger als eigenes Modul betrachtet werden sollte [Eri98, S. 77 ff.; Kip12, S. 34].

In einem vierten Schritt werden, basierend auf der MIM, mögliche Modulkonzepte vorgeschlagen und bewertet. Mittels bestehender Design for X (DfX)¹ Methoden können diese Modulkonzepte in einem fünften Schritt verbessert werden [Eri98, S. 65 ff.]

Die MFD Methode dient nicht dazu, die modularen Designregeln über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur sicherzustellen. Ebenso wenig kann bei neuen Variantenentscheidungen die Sicherstellung von Kommutabilitäten gewährleistet werden. Mittels des Modultreiberkonzeptes können

¹ Design for X (DfX) steht für die Bestrebung, dass widersprüchliche Produkthanforderungen in der Entwicklung gleichzeitig Berücksichtigung finden und ein Kompromiss aus diesen Anforderungen ermöglicht wird [SGKSW09, S. 1].

allerdings bei der Implementierung der modularen Produktarchitektur bereits strategische Aspekte abgeglichen werden. Verschiedene Modultreiber, wie der Carry-Over Treiber, zielen darauf ab, eine möglichst stabile zukünftige modulare Produktarchitektur aufzubauen. Der Bewertungsaufwand ist für den Aufbau einer modularen Produktarchitektur angemessen. Dabei wird ein systematisches Vorgehen angewandt. Da die Methodik nicht direkt für die Bewertung neuer Variantenszenarien herangezogen werden kann, sind die Anforderungskriterien Nachvollziehbarkeit sowie ein breites Entscheidungsspektrum nicht erfüllt.

3.4.3. Variant Mode and Effect Analysis

Die *variantenorientierte Produktgestaltung und Effektanalyse (VMEA)* ist eine von Caesar (1991) entwickelte Methode. Ziel der Methode ist, die Entwicklungsabteilung bei der Auswahl kostengünstigerer Gestaltungsalternativen zu unterstützen [Cae91, S. 28 ff.]. Die Methode kann in insgesamt sechs Schritte unterteilt werden (siehe Abbildung 3.19).

Im ersten Schritt wird zunächst der physische IST-Zustand, also die vorhandenen Einzelteile und Baugruppen, erfasst. Darauf aufbauend wird im zweiten Schritt das Anforderungsprofil beschrieben und auf Basis des IST-Zustandes ein erstes grobes Modulkonzept erstellt. Im dritten Schritt ist die VMEA-Gestaltskennzahl zu ermitteln und auf mögliche Kostenreduzierungspotentiale zu untersuchen. Anschließend kann im vierten Schritt, unter Berücksichtigung von Varianten- und Kostengesichtspunkten, ein ideales Lösungskonzept gefunden werden. Im fünften Schritt werden die verschiedenen Konzepte mittels der VMEA Gestaltskennzahl verglichen. Die verschiedenen Umfänge der Konzepte werden nach ihren Kostenreduzierungspotentialen priorisiert. Schritt vier und fünf werden dabei iterativ wiederholt, bis ein optimales Produktstrukturkonzept gefunden wurde. Im sechsten und letzten Schritt ist die sowohl technisch wie auch wirtschaftlich günstigste Lösung umzusetzen [Cae91, S. 29 ff.].

Die VMEA Methode dient nur begrenzt dazu, die modularen Designregeln bei Variantenentscheidungen sicherzustellen. Vorrangig ist die Methodik in der Implementierungsphase der modularen Produktarchitektur anzuwenden. Sie kann zwar die Produktstruktur aus Produktionssicht nachhaltig stabil halten, die intermodularen Schnittstellen werden jedoch nicht berücksichtigt [Ava07, S. 43 f.]. Die Sicherstellung von Kommunalitäten über die Lebensdauer der modularen Struktur hinweg sowie die Bewertung strategischer Aspekte bei neuen Variantenentscheidungen sind nicht im Fokus der Methode. Der Bewertungsaufwand ist mäßig, da die Bewertung verschiedener Konzepte mit beträchtlichem Aufwand verbunden ist. Eine systematische Vorgehensweise kann aufgezeigt werden, womit eine spätere Nachvollziehbarkeit ermöglicht wird. Die Methode wurde speziell für die Automobilindustrie entwickelt [Cae91, S. 34], ihre Anwendung ist aber auch in anderen Industrien denkbar. Nicht zuletzt ermöglicht die Methode, unterschiedliche Entscheidungsspektren zu betrachten.

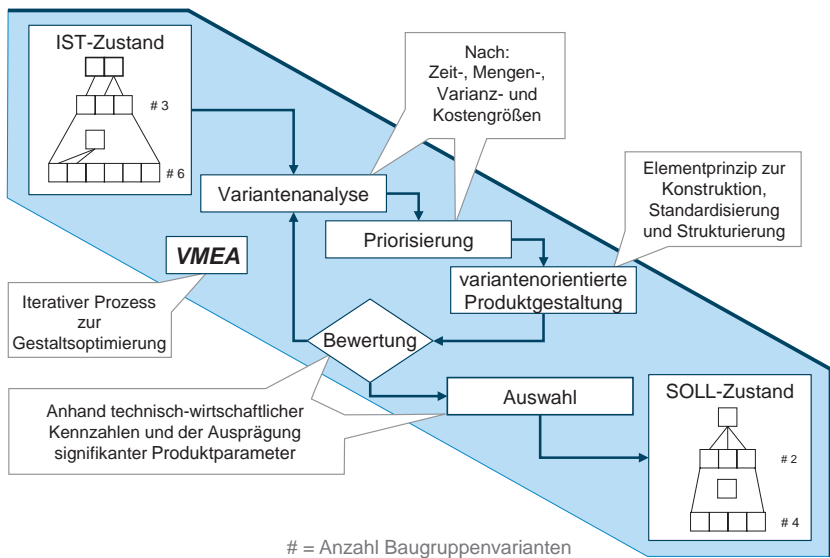


Abbildung 3.19: Variant Mode and Effect Analysis (VMEA) Methode [Cae91, S. 36]

3.4.4. Design for Adaptability

Die 2008 von Engel und Browning vorgestellte Methode *Design for Adaptability (DfA)* basiert auf der Optionspreistheorie, die ihre Ursprünge im Finanzbereich hat. Basisthese ist, dass ein höherer Modularitätsgrad nicht zwangsläufig besser ist. Ergebnis der Methodik ist, ein nach Schnittstellenkosten optimierter Modularitätsgrad eines Systems [ER15, S. 396].

Die Methode lässt sich, wie in Abbildung 3.20 (a) dargestellt, in 11 Schritte unterteilen. Hauptbestandteil der Methode ist die Berechnung des Optionswertes OV, der Schnittstellenkosten IC, wie auch des Anpassungsfaktors AAV in den Schritten 4, 5 und 7. Der Optionswert gibt an, wieviel stärker der Wert einer anzupassenden Komponente im Vergleich zu den erwarteten Kosten ansteigt. Die Schnittstellenkosten sind zusätzliche Kosten eines Unternehmens, die durch eine Zuordnung zu einer intermodularen Schnittstelle entstehen. Der Anpassungswert AAV zeigt die Differenz der aufsummierten OV's zu den aufsummierten IC's auf. Ein hoher AAV dient als Indikator für einen optimalen Modularitätsgrad [ER15, S. 398 ff.].

Schnittstellenkosten können in drei Kategorien unterteilt werden [ER15, S. 398 ff.]: Identifikations-, Abstimmungs- und Implementierungskosten.

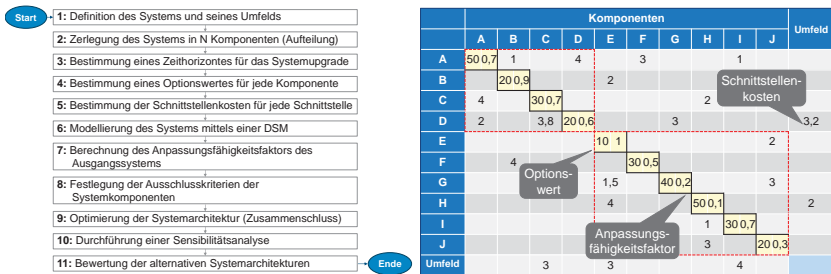


Abbildung 3.20: Design for Adaptability (DFA) Methodik

1. Identifikationskosten:

Aufwände die auftreten, um eine möglichst kostengünstige Verbindung zweier Systeme oder Komponenten zu finden.

2. Abstimmungskosten:

Quantifizierung der Aufwände, die durch die Abstimmung, Dokumentation und Konstruktion intermodularer Schnittstellen entstehen.

3. Implementierungskosten:

Aufwände, die durch das Testen und das Ablehnen von Schnittstellen entstehen, welche mit den abgestimmten Spezifikationen nicht kompatibel sind.

Die berechneten Werte verschiedener modularer Konzepte werden in einer Design Structure Matrix (DSM) (siehe Abschnitt 3.4.1) dargestellt. Die Zellen spiegeln die für ein bestimmtes modulares Konzept berechneten Optionswerte und Schnittstellenkosten wider. Basierend darauf wird der Anpassungswert berechnet, welchen es zu optimieren gilt [EB08, S. 137 f.]. Eine beispielhafte Anwendung ist in Abbildung 3.20 (b) visualisiert.

Die DfA Methode zielt darauf ab, eine möglichst robuste modulare Produktarchitektur aufzubauen. Dabei werden mögliche Anpassungen von Modulen und Kosten zur Abstimmung der intermodularen Schnittstellen bereits in der Implementierungsphase der modularen Produktarchitektur berücksichtigt. Für Variantenentscheidungen während der Nutzungsphase der modularen Architektur bietet diese Methodik jedoch keine Unterstützung, da die Sicherstellung der modularen Designregeln über deren Lebensdauer hinweg nicht im Fokus steht. Ebenso wenig werden Kommunalitäten wie auch strategische Aspekte berücksichtigt. Die Methodik bringt einen hohen Bewertungsaufwand mit sich. Nicht nur Schnittstellenkosten, sondern auch die Optionswerte der einzelnen Komponenten müssen berechnet werden. Zusätzlich ist eine DSM aufzustellen. Die systematische Vorgehensweise ermöglicht eine spätere Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Dabei können jedoch keine Variantenentscheidungen und demzufolge auch keine unterschiedlichen Entscheidungsspektren unterstützt werden.

3.4.5. Design for Variety

Die Methodik *Design for Variety (DfV)* von Martin und Ishii unterstützt die Konstruktion einer robusten modularen Produktarchitektur. Ziel dabei ist, den Einfluss von Varianz während des Lebenszyklus eines Produktes zu minimieren. Mittels der beiden Indizes Generations-Varianz-Index (Generational Variety Index (GVI)) und Kupplungs-Index (Coupling Index (CI)) kann eine modulare Produktarchitektur bestimmt werden, deren Aufwände für zukünftige Änderungen möglichst gering sind [MI02, S. 213 ff.].

Der Generations-Varianz-Index zeigt auf, welche Komponenten sich mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Zukunft ändern werden. Er gibt an, wie hoch der Aufwand für Neuentwicklungen an einer Komponente sein wird, um zukünftigen Marktanforderungen zu entsprechen. Dazu ist zunächst die erwartete Lebensdauer der Plattform zu bestimmen. Anschließend wird eine Quality Function Deployment Matrix (QFD) aufgestellt, in welcher die Kundenanforderungen an die Produktplattform (Zeilen) und die technischen Anforderungen an diese (Spalten) abgebildet werden. Die Kreuze in den Zellen zeigen auf, ob eine Kundenanforderung mittels einer technischen Anforderung abgedeckt werden kann. Die erwartete Änderungshäufigkeit der Kundenanforderungen sowie erwartete Werte der technischen Anforderungen werden der Matrix beigefügt [MI02, S. 215 ff.]

Darauf aufbauend kann eine Matrix, welche in den Zeilen die technischen Anforderungen und in den Spalten die zugehörigen Produktkomponenten enthält, erstellt werden. Die Kreuze in den Zellen geben an, welche technischen Anforderungen mittels welcher Komponenten beeinflusst werden. Basierend auf den Angaben der ersten Matrix werden die Kreuze durch Werte von 0-9 ersetzt. Der Wert 9 verdeutlicht, dass über die Lebensdauer der Produktplattform hinweg mehr als 50% der initialen Kosten für Änderungen angesetzt werden müssen. Ein Wert von 0 bedeutet, dass es keine erwarteten Änderungen geben wird [MI02, S. 215 ff.]. Anschließend werden die Spaltenwerte aufsummiert, wie in Abbildung 3.21(a) dargestellt.

Im nächsten Schritt wird der Kupplungs-Index (CI) erstellt. Dieser Index gibt an, inwieweit eine Änderung an einer Komponente Änderungen an den benachbarten Komponenten bedingt. Die Modifikationen der gekoppelten Komponenten erhöhen dabei den Produktwert nur indirekt, da sie notwendig sind, um die ursprüngliche Änderung umzusetzen. In der CI Matrix, deren Zeilen wie auch Spalten die Komponenten der Plattform widerspiegeln, werden die physischen wie auch informellen Flüsse zwischen Komponenten visualisiert. Die Zeilen repräsentieren die Senken dieser Flüsse, während die Spalten die Quellen darstellen (siehe Abbildung 3.21(b)). Auch hier werden für die einzelnen Flüsse Werte von 0-9 angegeben. Der Wert 9 sagt aus, dass selbst kleine Änderungen an der Quelle zu unmittelbaren Änderungen an der Senke führen. Der Wert 0 bedeutet, dass bei einer Änderung an der Quell-Komponente die Senk-Komponente unberührt bleibt [MI02, S. 218 ff.].

Anschließend werden die Komponenten nach ihrem GVI-Wert geordnet und die CI-Werte den Quellen sowie Senken zugefügt. Wird ein vollstandardisiertes Konzept bevorzugt, so werden die Komponenten nach den GVI und dem CI-Senkenwert gruppiert. Für ein voll-modulares Konzept werden die Werte nach dem CI-Quellwert geordnet [MI02, S. 220 ff.].

Komponenten	Von Komponenten bereitgestellte Informationen								
	Gebälse	Wärmeleiter	Peltier-Kühler	Energieversorgung	Chassis	Klimaperformance	Speicher	Dämmung	Armaturen
Technische Maße									
Abkühlzeit (min)	3	6	3	1			6	1	6
Wassertemperatur (°C)									
Kaltwassermenge (l)							9		
Energiebedarf (W)	1		3	3					
Breite (cm)					6				6
Höhe (cm)									
Tiefe (cm)					6				6
Durchflussrate (l/min)						9	1		
Mittlere Ausfallzeit (h)									
Kosten (€)		1		1	3		3		6
GVI	4	7	6	5	15	9	19	1	24

Komponenten	Für Komponenten erforderliche Informationen				Zusätzliche Informationen
	Gebälse	Kühlkörper	Peltierkühler	Chassis	
Gebälse		Druckfestigkeit 9	Wärmeoutput 3		20
		x Dim. 3	x Dim. 1		
		z Dim. 3	z Dim. 1		
Kühlkörper	Druckkurve 3		Wärmeoutput 3		18
	x Dim. 3		x Dim. 3		
	z Dim. 3		z Dim. 3		
Peltierkühler		Kühlkörperkonditionierer (KKK) 3			6
		Eff. Bereich 3			
Für Bereitgestellte Informationen	9	21	14		44

(a) [MI02, S. 218]

(b) [MI02, S. 220]

Abbildung 3.21: GVI (a) und CI (b) Indizes Berechnung

Die DfV Methodik ermöglicht es, eine modulare Produktarchitektur zu entwickeln, die möglichst robust hinsichtlich zukünftiger Änderungen ist. Die Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten, später Modulen, werden in der Implementierungsphase klar betrachtet, bei zukünftigen Änderungen jedoch nicht methodisch berücksichtigt. Kommunalitäten spielen bei der Bewertung keine Rolle. Auch strategische Aspekte werden nur bedingt, durch die Berücksichtigung zukünftiger Kundenanforderungen, betrachtet. Der Bewertungsaufwand ist für das Ergebnis angemessen, ein systematischer Aufbau liegt vor. Eine spätere Nachvollziehbarkeit ist nur teilweise erfüllt, da die Bewertung auf dem Erfahrungswissen von Konstrukteuren beruht und dies im Nachhinein ohne zusätzliche Angaben nur schwer rekonstruierbar ist. Die Methodik ist speziell für die Implementierung einer modularen Produktarchitektur konzipiert worden, sie unterstützt zukünftige Variantenentscheidungen nicht. Demzufolge ist eine Bewertung des möglichen Entscheidungsspektrums nicht relevant.

3.4.6. Variant Management Funnel

Die Methodik *Variant Management Funnel* von Avak (2006) unterstützt Variantenentscheidungen modularer Produktarchitekturen in der Marktphase. Ziel der Methodik ist es, das Regelwerk der modularen Struktur, also den Aufbau der Produktarchitektur sowie die intermodularen Schnittstellen, dauerhaft sicherzustellen und eine Konzeptbewertung sowie weitergehende Konzeptverbesserungen zu ermöglichen [Ava07, S. 66 ff.]. Die einzelnen Schritte der Methodik, die in zwei Hauptphasen unterteilt werden kann, sind in Abbildung 3.22 dargestellt.

In der ersten Phase der Methodik wird die Kompatibilität eines neuen Variantenkonzeptes mit dem Regelwerk der modularen Produktarchitektur, den Key Properties, abgeglichen. Dazu wird die Struktur des neuen Konzeptes mit der Produktstruktur des modularen Konzeptes verglichen. Ist das neue Konzept mit der bestehenden modularen Produktfamilie verträglich, wird bestimmt, ob es sich bei diesem Konzept um ein neues Modul oder

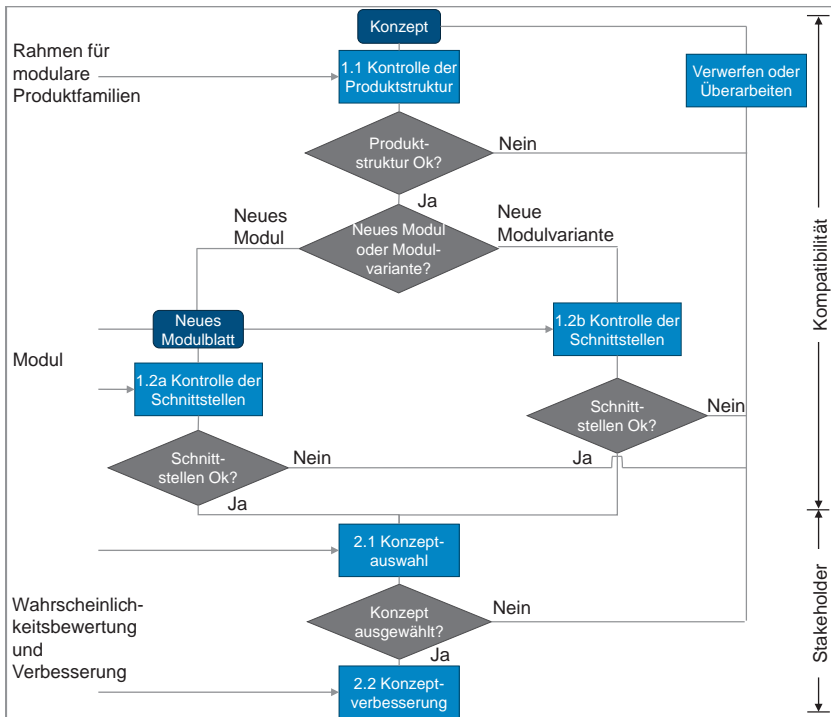


Abbildung 3.22: Variant Management Funnel Methode [Ava07, S. 69]

eine neue Modulvariante handelt. Wird mittels des Variantenkonzeptes ein neues Modul erzeugt, so ist ein neues Modulspezifikations-Blatt, das Module-Sheet, zu erstellen. Handelt es sich um eine neue Modulvariante, so wird das zugehörige Modulspezifikations-Blatt herangezogen. Dieses beinhaltet unter anderem die intermodularen Schnittstellen sowie die Kombinationsverbote mit anderen Modulen. Sofern das neue Variantenkonzept mit diesen Schnittstellen und Kombinationsverboten kompatibel ist, wird das Konzept für die zweite Methodenphase freigegeben [Ava07, S. 68 ff.].

In der zweiten Phase der Methodik ist das Variantenkonzept zu bewerten und zu verbessern. Die Bewertungskriterien werden dazu aus den Elementen der Vari-

antenstrategie abgeleitet. Ergebnis dieser Bewertung ist eine Auflistung möglicher Auswirkungen eines bestimmten Konzeptes auf die Phasen des Innovationsprozesses, wobei die Risikoabschätzung zu berücksichtigen ist [Ava07, S. 68 ff.]. Die in der Bewertung ermittelten Aufwände zur Realisierung eines Projektes und die berechneten erwarteten Zahlungsströme dieses Konzeptes können verwendet werden, um verschiedene Variantenszenarien monetär zu vergleichen. Mittels Anpassung der Eingabeparameter eines Konzeptes und der daraus folgenden Änderungen an den monetären Effekten, verbunden mit der Realisierung, lässt sich ein ausgewähltes Konzept optimieren [Ava07, S. 83 ff.].

Das Variant Management Funnel von Avak ermöglicht es, die modularen Designregeln über die Lebensdauer der modularen Produktfamilie hinweg sicherzustellen. Bei der Bewertung neuer Modul- und Modulvariantenkonzepte spielen die variantenstrategischen Aspekte eine Rolle. Kommunalitäten werden bei der Bewertung nicht explizit berücksichtigt. Die Bewertung ist durch eine Implementierung in Excel mittels VBA weitestgehend automatisiert und dementsprechend ist der Bewertungsaufwand angemessen. Das systematische Vorgehen ermöglicht jedoch nur teilweise eine spätere Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Begründung ist, dass die Berechnungen der Auswirkungen neuer Variantenkonzepte im Hintergrund des Methodenwerkzeuges stattfinden und nicht unmittelbar zu erschließen sind. Verschiedene Entscheidungsspielräume auf Modul- wie auch Modulvariantenebene werden mit der Methodik unterstützt.

3.4.7. Produktfamilienpflege

Die Methode der *Produktfamilienpflege* wurde 2013 von Bahns und Krause initiiert. Ziel der Methode ist es, eine nachhaltige modulare Produktfamilie sicherzustellen. Ausgangspunkt der Methode ist eine modulare Produktfamilie, die bereits im Markt eingeführt wurde. Die Produktfamilienpflege bietet Unterstützung bei Änderungsanfragen bezüglich dieser Produktfamilie [BK13, S. 217].

Der Änderungsprozess einer Produktfamilie kann in vier Phasen unterteilt werden (siehe Abbildung 3.23). Zunächst muss bei einer Änderungsanfrage diese bewertet und anschließend ein geeignetes Konzept zur Umsetzung ausgewählt werden. Dieses neue Konzept wird in der dritten Methodenphase implementiert und in der vierten Phase in die bestehende Produktfamilie integriert. Sowohl eine Anpassung der bestehenden Produktfamilie als auch die Entscheidung eine Sondervariante zu entwickeln, unabhängig von der modularen Produktfamilie, kann Ergebnis sein [BK13, S. 217]. Die Methode der Produktfamilienpflege setzt primär in der ersten Phase des Änderungsprozesses an, wenn die Änderungsanfrage eintrifft und zu bewerten ist.

Die Methode der Produktfamilienpflege selbst lässt sich in 5 Schritte unterteilen (siehe Abbildung 3.23). Zunächst werden mögliche Lösungskonzepte zur Erfüllung des Änderungsantrages entwickelt. Anschließend wird überprüft, welche Module von dieser Änderungsanforderung betroffen sind. Falls neue Eigenschaften durch die Anfrage hinzukommen, gibt es höchstwahrscheinlich kein betroffenes Modul und es muss überprüft werden, wie diese Anfrage in die Produktstruktur integriert werden kann. Im dritten Schritt wird analysiert, ob die Änderungsanfrage Auswirkungen auf weitere benachbarte Module hat und damit unter Umständen Schnittstellenänderungen nach sich zieht [BK13,

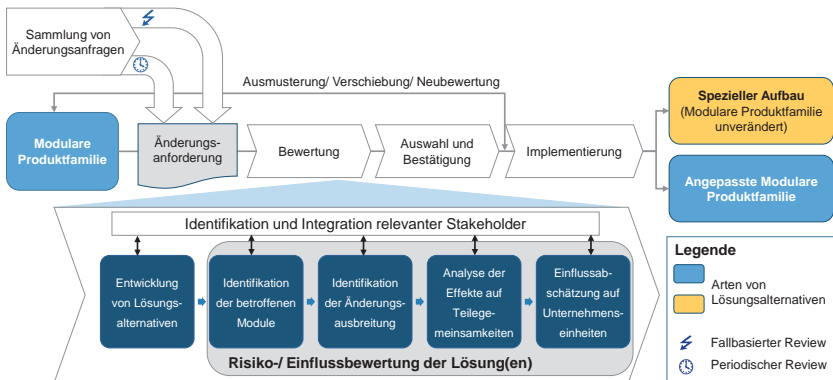


Abbildung 3.23: Methode der Produktfamilienpflege [BBGK15, S. 5]

S. 217 ff.]. Im vierten Schritt werden die Auswirkungen auf die modulare Gesamtstruktur analysiert. Das heißt es wird identifiziert, ob Module hinzugefügt, verändert, entfernt oder ersetzt werden müssen und welche Folgen dies auf die intermodularen Schnittstellen hat. Zudem werden die Auswirkungen auf die interne Varianz betrachtet. Besonders kritisch wird eine Klassifizierungsänderung eines Standardmoduls, also eines Moduls, das in allen Produkten der Familie verwendet wird, zu einem Variantenmodul, das nur in definierten Produkten verwendet wird, angesehen. Im fünften Schritt ist die Änderungsanforderung zu bewerten, indem einmalige Aufwände zur Umsetzung der Änderung und die längerfristigen Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Produktfamilie betrachtet werden [BK13, S. 217 ff.]. Ein Vorschlag zur Bewertung dieser Aufwände ist nicht gegeben.

Die Methode der Produktfamilienpflege ermöglicht es, die modularen Designregeln über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg sicherzustellen. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die Sicherstellung von Kommunalitäten gelegt. Strategische Aspekte werden bei der Betrachtung nicht berücksichtigt. Der Bewertungsaufwand bei Änderungsanfragen ist angemessen. Ein systematisches Vorgehen wird durch die Methode unterstützt. Die spätere Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse ist jedoch nur teilweise erfüllt, da nicht explizit angegeben ist, wie die Methodenschritte zu dokumentieren sind. Die Methode unterstützt weiterhin ein breites Spektrum an Entscheidungen nach Markteintritt der modularen Produktfamilie - Entscheidungen in der Implementierungsphase der modularen Struktur werden nicht betrachtet.

3.4.8. Modularisierungs-Balanced Scorecard

Die *Modularisierungs-Balanced Scorecard (M-BSC)* von Junge (2005) hat zum Ziel, den aktuellen Stand der Modularisierungsstrategie eines Unternehmens mit der geplanten, beziehungsweise bestehenden, modularen Produktstruktur abzugleichen und bei Bedarf Handlungsempfehlungen zur Verbesserung vorzuschlagen. Die M-BSC ist in vier iterativ zu durchlaufenden Schritten anzuwenden [Jun05, S. 172], welche in Abbildung 3.24 dargestellt sind.

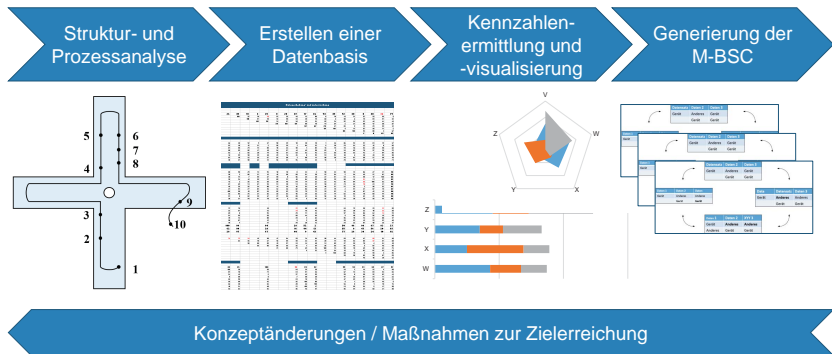


Abbildung 3.24: Modularisierungs-Balanced Scorecard [Jun05, S. 172]

Im ersten Methodenschritt ist eine Struktur- und Prozessanalyse der modularen Produktfamilie durchzuführen. Dazu wird die Modulstruktur identifiziert und darüber hinaus die Montagereihenfolge der Module und der Gesamtproduktfertigung betrachtet. Hierbei kann es sich um eine Neuentwicklung oder um eine bereits in der Entwicklungs- respektive Marktphase befindliche Produktfamilie handeln [Jun05, S. 173 f.]. Im zweiten Schritt wird eine Datenbasis erstellt, indem alle relevanten Informationen der modularen Produktfamilie in den einzelnen Unternehmensbereichen zusammengetragen werden. Diese Datenbasis wird in Schritt drei ausgewertet, wobei Kennzahlen erstellt und visualisiert werden. Die Kennzahlen bilden die Bewertungskriterien der Modularisierungsstrategie [Jun05, S. 176 f.]. Im letzten Schritt wird die M-BSC erstellt, welche eine transparente Darstellung der Soll- und Ist-Werte der Kennzahlen ermöglicht. Weichen die beiden Werte auf eine negative Weise voneinander ab, sind Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Produktfamilie zu definieren [Jun05, S. 172 f.]. Die Methode ist in regelmäßigen Abständen iterativ zu durchlaufen, was eine sukzessive Verbesserung der modularen Produktfamilie ermöglicht.

Die M-BSC berücksichtigt die modularen Designregeln nur indirekt über definierte Kennzahlen, eine Sicherstellung über die Lebensdauer hinweg ist nicht gewährleistet. Kommunalitäten sowie strategische Aspekte werden über

diverse Kennzahlen bei der Gesamtkonzeptbewertung betrachtet und sind Bestandteil der Methodik. Der Bewertungsaufwand variiert in Abhängigkeit des Automatisierungsgrades eines Unternehmens. Die Methode ist jedoch auf die Automobilindustrie zugeschnitten, da hier detaillierte und automatisierte Datenerhebungen in den einzelnen Bereichen zur Verfügung stehen sowie die Verfügbarkeit von PLM Systemen erheblich höher ist. Das systematische Vorgehen und die eindeutige Berechnungsmethode ermöglichen eine spätere Nachvollziehbarkeit. Das zu bewertende Spektrum unterschiedlicher Entscheidungen ist auf ganze Produktfamilienkonzepte begrenzt.

3.5. Methoden: Komplexitätskostenanalyse

Nachdem in Kapitel 3.4 bestehende Ansätze hinsichtlich ihrer Eignung, eine stabile modulare Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg sicherzustellen, bewertet wurden, wird im Folgenden der zweite Teil der Literaturrecherche durchgeführt. Im Fokus ist die Analyse von Methoden zur Bewertung von Komplexitätskosten modularer Produktfamilien. Die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Arbeiten haben bereits teilweise den Bedarf der Bewertung von Komplexitätskosten angesprochen, jedoch keine Systematik zur tatsächlichen Bewertung vorgestellt. Die nun vorgestellten Methoden sind hinsichtlich ihrer Fähigkeit, einmalige sowie laufende Komplexitätskosten abzuschätzen, zu bewerten. Dabei sind sowohl der Nutzen als auch die Aufwände verschiedener Szenarien in die Gesamtbewertung zu übertragen. Modul- wie auch Produktvariantenentscheidungen sind mit einer geeigneten Methode zu unterstützen. Bei Modulvariantenentscheidungen sind explizit die unterschiedlichen Modullebenszyklen zu berücksichtigen.

Die verschiedenen untersuchten Methoden lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. Zum einen in Methoden, die Komplexitätskosten ganzer Produktarchitekturkonzepte bewerten, und zum anderen in Methoden, die Komplexitätskosten bei Varianteneinzelentscheidungen im Fokus haben. Die zweite Gruppe kann weiter aufgeteilt werden in Methoden, die zunächst unabhängig von der

Komplexitätskosten modularer Produktarchitektur		
Produktarchitekturkonzepte	Einzelentscheidungen	
	Unabhängig von modularer Produktarchitektur	Modulare Produktarchitektur
11 Complexity Cost Management Approach 21 Kostenorientierte Bewertung ModPF	31 Prozesskostenrechnung (PKR) 41 Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung (RPK) 51 Komplexitätskostenanalyse 61 Integriertes Variantenmanagement	71 Activity Based Costing Analysis

Abbildung 3.25: Literaturrecherche: Komplexitätskosten modularer Produktfamilien

modularen Produktarchitektur sind, und in Methoden, die speziell für modulare Produktarchitekturen konzipiert wurden. In Summe wurden sieben verschiedene Methoden ausgewählt, welche in Abbildung 3.25 dargestellt sind und im Folgenden kurz erläutert werden.

3.5.1. Complexity Cost Management Approach

Die Methodik *Complexity Cost Management Approach* von Ripperda und Krause (2015) hat das Ziel, Unternehmen dabei zu unterstützen, das finanziell beste modulare Konzept aus mehreren auszuwählen. Die Methodik kann in 7 Schritte unterteilt werden (siehe Abbildung 3.26), wobei die Schritte 2-5 den eigentlichen Kern der Unterstützung bilden. Die Methodik bewertet dabei ganze Modularisierungskonzepte, einzelne Variantenentscheidungen modularer Produktarchitekturen werden nicht betrachtet.

Im ersten Schritt werden, basierend auf einer Ausgangsproduktfamilie, verschiedene modulare Konzepte mit unterschiedlichen Modularitätsgraden definiert. Anschließend sind im zweiten Schritt die Produktstruktur sowie die Prozess- als auch Kostenstruktur eines Unternehmens zu analysieren. Diese Informationen stehen jedoch in kleinen bis mittelständischen Unternehmen häufig nicht zur Verfügung und sind zunächst mit größerem Aufwand zusammenzustellen [RK15, S. 1 ff.].

Im dritten Schritt werden die Kostentreiberprozesse identifiziert. Dazu werden mit Hilfe des 80-20 Pareto-Prinzips (siehe Abschnitt 1.1) zunächst die Kos-

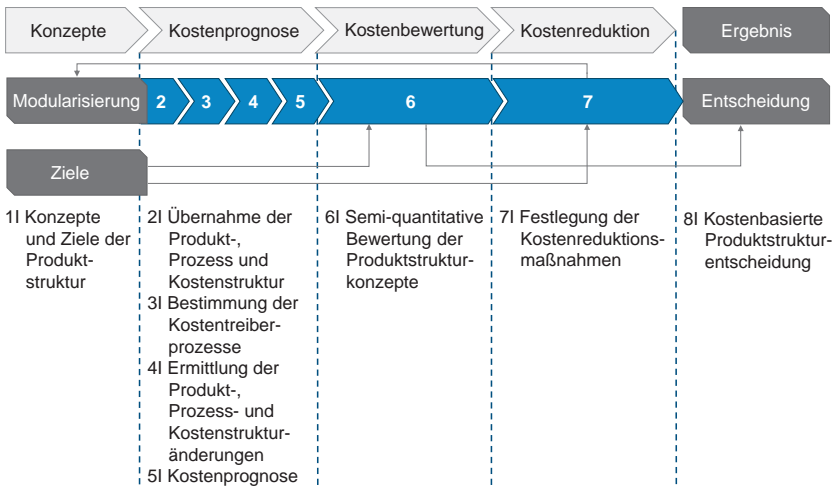


Abbildung 3.26: Complexity Cost Management Approach [RK15, S. 3]

ten der einzelnen Lebensphasen aufgeteilt. Anschließend werden diese ebenfalls mit der 80-20 Aufteilung in Haupt- sowie Unterprozesse untergliedert. Damit ist erkennbar, welche Prozesse die Hauptkosten einer Produktfamilie bedingen. Im vierten Schritt werden, basierend auf den Kostentreiberprozessen, Kosten für Änderungen an der Produkt-, Prozess- sowie Kostenstruktur bestimmt. Dazu werden Kostenschätzungen von Experten und explizite Kosten, auf Grundlage von Angeboten oder zur Verfügung stehenden Daten, verwendet [RK15, S. 3 ff.].

Basierend auf den Informationen aus Schritt zwei bis vier werden im fünften Schritt Kostenprognosen der einzelnen modularen Konzepte im Vergleich zur ursprünglichen Produktfamilie abgegeben. Weiterhin werden die prozentuale Abweichung der erwarteten Kosten der einzelnen Lebensphasen, wie auch Materialkosten, Produktionskosten und die berechneten Komplexitätskosten zur ursprünglichen Produktfamilie ausgewiesen. Als Basis dient eine zeitorientierte Prozesskostenrechnung (time-driven activity based costing) [RK15, S. 3 ff.].

Im sechsten Schritt wird eine semi-quantitative Bewertung der Konzepte hinsichtlich ihrer Kostenstrukturen durchgeführt. In Kombination mit dem im siebten Schritt vorgeschlagenen Kostenreduzierungspotential kann in Schritt acht ein Produktstrukturierungskonzept ausgewählt werden [RK15, S. 3 ff.].

Der Complexity Cost Management Approach von Ripperda und Krause ermöglicht es, Komplexitätskosten ganzer Modularitätskonzepte zu bewerten. Auf Basis dieser Komplexitätskosten und weiterer Kostenstrukturen kann ein geeignetes Konzept ausgewählt werden. Auf die detaillierte Vorgehensweise der Komplexitätsberechnung geht der Autor nicht ein. Es wird von den einmaligen Effekten eines Konzeptes gesprochen, so dass die Bewertung der laufenden Komplexitätskosten fraglich ist. Auch der Nutzen der verschiedenen Konzepte wird nicht betrachtet. Da ganze Produktstrukturkonzepte analysiert werden, können Variantenentscheidungen auf Modul- oder Produktebene nicht in eine Betrachtung einfließen. Dementsprechend sind die einzelnen Modullebenszyklen nicht von Relevanz bei dieser Methodik. Auch das Entscheidungsspektrum ist damit eingegrenzt. Gerade bei Firmen, die keine ausreichende Datenbasis zur Verfügung haben, ist der Bewertungsaufwand sehr hoch. Der systematische Aufbau ermöglicht jedoch eine gute spätere Nachvollziehbarkeit der Entscheidung.

3.5.2. Kostenorientierte Bewertung modularer Produktfamilien

Die *kostenorientierte Bewertung modularer Produktfamilien* von Skirde (2015) dient der Bestimmung eines optimalen Modularitätsgrades eines gesamten Produktportfolios. Diese Methode kann jedoch prinzipiell auch auf einzelne Module angewandt werden. Das Vorgehensmodell ist in vier Schritte unterteilt, wie in Abbildung 3.27 ersichtlich.

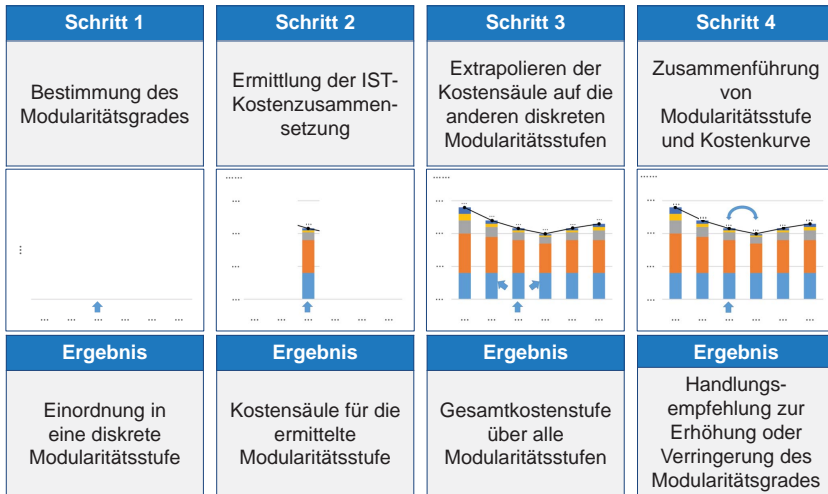


Abbildung 3.27: Kostenorientierte Bewertung modularer Produktfamilien [Ski15, S. 126]

Im ersten Schritt wird der Modularitätsgrad der vorherrschenden Produktarchitektur definiert. Dazu ist das Produktportfolio eines Unternehmens einer Modularitätsstufe zuzuordnen. Der Autor bietet sechs verschiedene Modularitätsstufen, von 0 „annähernd vollständig integrale Produktarchitektur“ bis zu 5 „freie, annähernd vollständig modulare Produktarchitektur“, an [Ski15, S. 127 ff.]. Zur Erleichterung der Auswahl werden Indikatoren zur Bestimmung der Modularitätsstufe bereitgestellt, welche unternehmensspezifisch zu gewichten sind [Ski15, S. 134 f.].

Im zweiten Schritt wird die aktuelle Kostenstruktur der Produktarchitektur, für welche im vorangegangenen Schritt die Modularitätsstufe bestimmt wurde, definiert. Dazu werden die Unternehmenskosten in modularisierungsfixe und modularisierungsvariable Kosten eingeteilt. Erstgenannte sind Kosten, die unabhängig vom Modularitätsgrad konstant bleiben, letztgenannte sind Kosten, die sich in Abhängigkeit des Modularitätsgrades ändern. Die einzelnen Kostenbestandteile der betrachteten Produktarchitektur werden dafür aufgliedert und visualisiert [Ski15, S. 135 ff.].

Im dritten Schritt werden die modularisierungsvariablen Kostenbestandteile auf andere Modularitätsstufen extrapoliert. So ist beispielsweise anzugeben, dass sich die Höhe eines bestimmten Kostenbestandteiles bei einer Änderung von Modularitätsstufe 0 auf 2 von anfänglichen 100% auf 25% verringert. Diese Einschätzung ist für alle modularisierungsvariablen Kostenbestandteile und alle Modularitätsstufen durchzuführen [Ski15, S. 138 ff.].

Im vierten Schritt werden, auf Basis der Kostenextrapolationsergebnisse aus Schritt drei, für alle Modularitätsstufen die relativen Kosten angegeben. Die modularisierungsfixen Kosten sind dabei für alle Stufen konstant, nur bei den modularisierungsvariablen Kosten sind Unterschiede erkennbar. Die relativen, aufsummierten Kosten ermöglichen es, die Modularitätsstufe mit den niedrigsten Unternehmenskosten auszuwählen. Diese Wahl ist Basis der anschließenden Handlungsempfehlung für das Unternehmen [Ski15, S. 126 ff.].

Die kostenorientierte Bewertung modularer Produktfamilien ermöglicht es, die gesamte Kostenstruktur eines Produktarchitekturkonzeptes zu betrachten. Hier wird jedoch keine explizite Trennung in einmalige und laufende Kosten sowie in direkte Kosten und Komplexitätskosten vorgenommen. Verschiedene Szenarien werden nicht explizit betrachtet, vielmehr wird eine optimale Struktur erschlossen. Modul- sowie Produktentscheidungen werden nicht unterstützt, so dass die Betrachtung der Modullebenszyklen keine Berücksichtigung findet. Die Analyse der Kostenstruktur und der anschließenden Kostenextrapolation auf verschiedene Modularitätsstufen ist mit erheblichem Aufwand verbunden. Das mögliche Entscheidungsspektrum ist dabei jedoch auf die Bestimmung des Modularitätsgrades eingeschränkt. Der systematische Aufbau der Methode ermöglicht eine gute spätere Nachvollziehbarkeit.

3.5.3. Prozesskostenrechnung

Die Methode der *Prozesskostenrechnung (PKR)* von Cooper und Kaplan (1987), auch Activity Based Costing (ABC) genannt, ermöglicht eine exakte Kalkulation der anfallenden Kosten einzelner Varianten auf Basis von Aktivitäten und Prozessen, die von diesen Varianten in Anspruch genommen

werden. Ergebnis der Bewertung ist eine transparente und vor allem verursachungsgerechte Zuordnung von Kosten zu Produkten [LG06, S. 184 f.]. Da die PKR einen direkten Link zwischen dem Ressourcenverbrauch und den Erlösen schafft, erhält ein Unternehmen ein klares Bild über die Profitabilität des Betrachtungsgegenstandes [CK91, S. 130 ff.].

Bei der Prozesskostenrechnung sind zunächst alle Tätigkeiten der indirekten Bereiche zu bestimmen. Für diese Tätigkeiten wird anschließend der Haupteinflussfaktor - Kostentreiber genannt - ermittelt. Kosten pro Tätigkeit und Kostentreiber lassen sich anschließend durch den monetären Verzehr der Unternehmensressourcen bestimmen. Dies ermöglicht es, die indirekten Kosten eines Produktes, mittels des erwarteten Ressourcenverbrauchs, den verschiedenen Tätigkeiten zuzuordnen. Dadurch lassen sich die Kosten individualisierter Produkte bestimmen. Dies geschieht, indem die Aufwände der indirekten Bereiche, wie Planungs- oder Koordinationstätigkeiten, verursachungsgerecht zugeordnet werden [LG06, S. 184 ff.]. Um den Anwendungsaufwand so gering wie möglich zu halten, werden die einzelnen Aktivitäten und Teilprozesse zu Hauptprozessen konsolidiert. Kriterium dieser Gruppierung ist ein gemeinsamer Kostentreiber [PP15, S. 216 ff.]. Die Vorgehensweise der Verdichtung einzelner Aktivitäten zu Hauptprozessen ist in Abbildung 3.28 dargestellt.

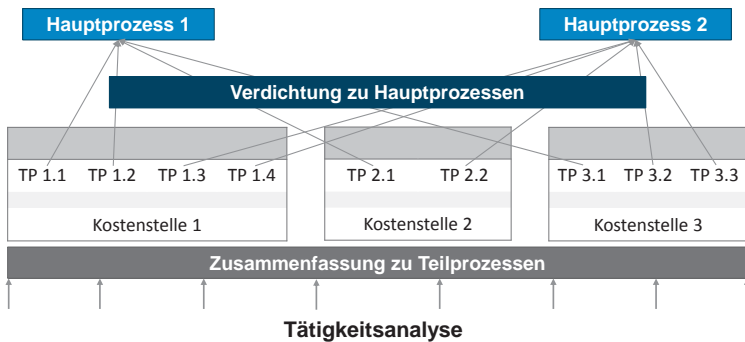


Abbildung 3.28: Die Prozesskostenrechnung (PKR) [PP15, S. 217]

Die PKR ermöglicht eine genaue Zuordnung der indirekten Kosten zu einzelnen Produkten. Dabei wird keine explizite Einteilung in einmalige und laufende Komplexitätskosten vorgenommen. Verschiedene Szenarien und deren Nutzen können prinzipiell betrachtet werden, sind jedoch kein konkreter Gegenstand der Methode. Die Methode ist nicht auf modulare Produktarchitekturen zugeschnitten. Dementsprechend werden Modulvariantenentscheidungen nicht gesondert betrachtet. Eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Modullebenszyklen ist somit nicht vorgesehen. Die Tätigkeitsanalyse und die Zuordnung von Kostentreibern sind sehr aufwendig und statisch. Bei sich verändernden Strukturen ist eine komplette Neubewertung notwendig. Die systematische Vorgehensweise erlaubt jedoch eine spätere Nachvollziehbarkeit. Ein breites Entscheidungsspektrum von einzelnen Produkten, über Marken sowie Vertriebsregionen hinaus, bei vorrangig integralen Produktarchitekturen, kann mit dieser Methode unterstützt werden.

3.5.4. Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung

Neben der klassischen Prozesskostenrechnung gibt es die von Schuh (1988) entwickelte *ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung (RPK)*. Die RPK kann in drei Schritte unterteilt werden.

Im ersten Schritt werden alle variantenabhängigen Teilprozesse untersucht und solange unterteilt, bis diese nur noch von einem Kostentreiber abhängig sind. Im zweiten Schritt werden den im ersten Schritt definierten Teilprozessen Ressourcen zugeordnet. Gibt es je Teilprozess mehr als eine relevante Ressource, so werden diese getrennt betrachtet. Im dritten Schritt ist für jeden betrachteten Teilprozess ein Nomogramm zu erstellen [Sch05, S. 201 ff.], welches in Abbildung 3.29 dargestellt ist. Ein Nomogramm bildet auf der rechten Seite die Verbrauchsfunktion und damit den Zusammenhang zwischen dem Kostentreiber und dem Ressourcenverzehr ab. Auf der linken Seite des Nomogramms wird die Kostenfunktion, also der Zusammenhang des ermittelten Ressourcenverzehrs mit den Ressourcenkostensätzen, dargestellt [Sch88, S. 120; Sch05, S. 201 ff.].

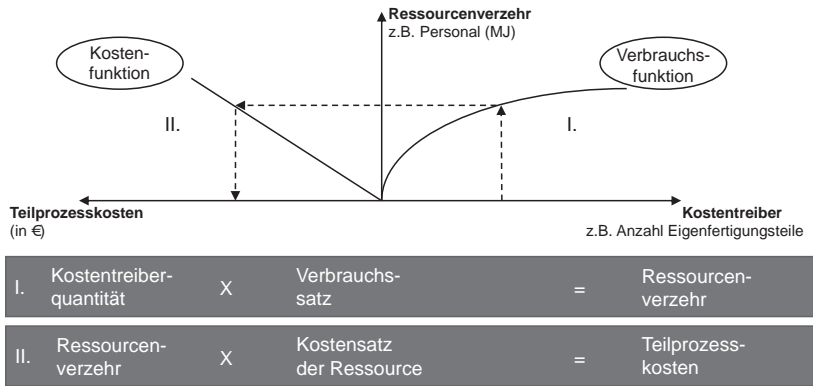


Abbildung 3.29: Kostenfunktion als Nomogramm [SS99, S. 200]

Dabei werden bei der RPK nicht nur indirekte, sondern auch direkte Unternehmensbereiche berücksichtigt. Fixe und variable Kosten werden getrennt voneinander betrachtet, eine pauschale Aggregation von Teil- zu Hauptprozessen unterbleibt. Nur die variantenabhängigen Teilbereiche sind zu untersuchen. Weiterhin werden bei der klassischen Prozesskostenrechnung die Kosten 'top-down' mittels bereits entstandener Kosten den Prozessen zugeordnet. Bei der ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung werden die Kosten der Teilprozesse analytisch ermittelt und die Gesamtkosten somit 'bottom-up' bestimmt [LG06, S. 185 f.].

Wie auch bei der klassischen Prozesskostenrechnung wird keine explizite Trennung in einmalige und laufende Komplexitätskosten vorgenommen, beide Arten werden jedoch durch die Betrachtung der Gesamtheit der Teilprozesse berücksichtigt. Verschiedene Szenarien können mittels der Methode verglichen werden, der Nutzen einzelner Szenarien wird dabei nicht aufgezeigt. Da die Methode nicht speziell für modulare Produktarchitekturen entwickelt wurde, werden Modulvariantenentscheidungen und dazugehörige Modullebenszyklen nicht betrachtet. Die ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung ist mit sehr hohem Aufwand verbunden, so dass eine Operationalisierung dieser fraglich ist [LG06, S. 185; Ebe00, S. 346]. Der systematische Aufbau ermöglicht bei

gleichbleibenden Prozessen dennoch eine gute spätere Nachvollziehbarkeit und unterstützt unterschiedliche Variantenfragestellungen.

3.5.5. Komplexitätskostenanalyse

Die *Komplexitätskostenanalyse* von Bohne (1998) ist eine speziell auf die Automobilindustrie zugeschnittene Methodik zur Bewertung von Komplexitätskosten. Die Methodik kann in zwei Phasen unterteilt werden: In Phase I, in welcher die Komplexitätskosten eines Unternehmens analysiert werden, und in Phase II, in der eine einzelfallspezifische Komplexitätskostenbewertung durchgeführt wird [Boh98, S. 142 ff.]. Grundlage der zweiten Phase sind die erfassten Daten der ersten Phase, welche nachfolgend erläutert und in Abbildung 3.30 skizziert ist.

Die erste Phase, die Komplexitätskostenanalyse, kann in fünf Bausteine unterteilt werden. Im ersten Schritt werden zunächst die Basisdaten zusammengestellt. Grundvoraussetzung ist, dass diese in einer ausreichenden Granularität im Unternehmen zur Verfügung stehen. Im zweiten Schritt wird eine Prozess- und Ressourcenstrukturanalyse durchgeführt. Dazu werden die Ressourcen und Kapazitäten je Kostenstelle zusammengetragen und die vielfaltsgetriebenen Leistungsarten identifiziert [Boh98, S. 142 ff.].

Anschließend wird die Zero-Base-Analyse durchgeführt. Ziel ist es, einen Bezugspunkt zur Berechnung von Komplexitätskosten zu bestimmen. Die Zero-Base-Analyse gibt das Unternehmensbasisniveau unter dem hypothetischen Zustand einer vollkommenen Komplexitätsfreiheit an. Dazu wird zunächst die Grundkapazität bestimmt und anschließend werden die Intervalle sprungfixer Kapazitätsanpassungen identifiziert. Auf dieser Basis kann der gesamte komplexitätsinduzierte Kapazitätsbedarf ermittelt werden. Abschließend kann in diesem Schritt der Komplexitätskostensatz je Ressource bestimmt werden [Boh98, S. 142 ff.].



Abbildung 3.30: Ablaufschritte der Komplexitätskostenanalyse [Boh98, S. 143]

Im vierten Schritt ist die vielfaltsobjektspezifische Ressourceninanspruchnahme zu bestimmen. Dazu wird zunächst der aktivitätenspezifische Kapazitätsanteil erfasst. Hinzu addiert werden die Kapazitätsbedarfe von zu erbringenden, periodenübergreifenden Leistungen, womit laufende Komplexitätskosten berücksichtigt werden. All diese Daten sind im fünften Schritt zu aggregieren [Boh98, S. 142 ff.]. Sie können bei Variantenentscheidungen verwendet werden, um damit die Komplexitätskosten verschiedener Szenarien zu vergleichen. Zusätzlich sind die Nutzeneffekte dieser Alternativszenarien bei der Bewertung zu berücksichtigen [Boh98, S. 191 ff.].

Die Komplexitätskostenanalyse von Bohne ermöglicht es, einmalige wie auch laufende Komplexitätskosten bei Variantenbewertungen zu berücksichtigen.

Neben den Aufwänden verschiedener Alternativszenarien sind die Nutzeneffekte zu bewerten. Da die Methodik nicht für modulare Produktarchitekturen konzipiert wurde, werden Modulvariantenentscheidungen und zugehörige Modullebenszyklen nicht unterstützt. Die Verwendung der Methodik ist mit sehr viel Detailarbeit verbunden, eine Rechtfertigung des Aufwandes in der allgemeinen Praxis ist fraglich [Bay10, S. 108]. Entscheidet sich ein Unternehmen für dieses Werkzeug, so ermöglicht der systematische Aufbau eine gute spätere Nachvollziehbarkeit sowie eine Anwendbarkeit auf ein breites Entscheidungsspektrum.

3.5.6. Integriertes Variantenmanagement

Das *integrierte Variantenmanagement* von Bayer (2010) ermöglicht, Komplexitätskosten neuer, beziehungsweise auslaufender Varianten zu bewerten. Auch diese Methode kann in zwei Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase werden die Komplexitätskosten eines Unternehmens analysiert. In der zweiten Phase finden die gesammelten Daten bei neuen Variantenentscheidungen Verwendung.

In der ersten Phase sind zunächst die unternehmensspezifischen Komplexitätsfaktoren zu analysieren. Dazu werden Daten mittels eines Fragebogens erhoben. In diesem geben Unternehmensexperten an, welche der aufgelisteten Komplexitätstreiber einen Einfluss auf die Unternehmensbereichskomplexität haben. Die verschiedenen Komplexitätstreiber werden anschließend mittels einer Faktoranalyse verdichtet und in teileabhängige sowie struktur- und variantenabhängige Bereiche unterteilt. Daraufaufgehend wird eine bottom-up Prozesskostenanalyse in den teileabhängigen Bereichen durchgeführt. Einmalige und laufende Kosten je einfaches, mittel-komplexes sowie komplexes Teil für die einzelnen Teilprozesse werden bestimmt. Hiernach wird eine Prozessanalyse in den struktur- und variantenabhängigen Bereichen vorgenommen. Dazu sind Referenzbeispiele auf der Komplexitätsebene für Anläufe und Ausläufe zu definieren und mittels einer Prozesskostenanalyse zu bewerten [Bay10, S. 149 ff.].

In der zweiten Phase ist es auf Basis der Datensammlung der ersten Phase möglich, Komplexitätskosten von Projekten und Kleinänderungen zu bewerten. Das Vorgehen ist in Abbildung 3.31 visualisiert. Dazu wird zunächst die Anzahl der Teile für die aktuelle Variantenanfrage bestimmt. Die Ergebnisse der Prozesskostenanalyse der teileabhängigen Bereiche ermöglichen die Kostenbewertung des ersten Teilaspektes. Anschließend ist ein Referenzbeispiel für die vorliegende Bewertung auszuwählen und es sind die vorbewerteten Prozesskosten, unter Anpassung der Referenzbeispiele, zu übernehmen. Die Kombination der beiden Teilaspekte hat die Variantenkostenbewertung des aktuellen Beispiels zum Ergebnis [Bay10, S. 176 ff.].

Das integrierte Variantenmanagement erlaubt eine Bewertung der einmaligen und laufenden Komplexitätskosten verschiedener Alternativszenarien. Nutzeffekte werden nicht explizit berücksichtigt. Da die Methode für integrale Produktarchitekturen zugeschnitten wurde, sind Modulvariantenentscheidungen sowie die Berücksichtigung des Modullebenszyklus nicht Betrachtungsgegenstand. Durch die Wiederverwendung von Komplexitätskostenberechnungen einzelner Referenzbeispiele ist der Aufwand zur Verwendung der Methode angemessen. Der systematische Aufbau ermöglicht eine gute spätere Nachvollziehbarkeit. In Abhängigkeit der vorbewerteten Referenzbeispiele ist ein breites Entscheidungsspektrum möglich.

Variantenkostenbewertung			
Bewertung der teileabhängigen Bereiche		Bewertung der struktur- und variantenabhängigen Bereiche	
Anzahl Teile		Auswahl Referenzbeispiel aus den drei Clustern	
Cluster- Verteilung über durchschnittliche Ist-Verteilung	Cluster-Verteilung über detaillierte Werte für zu bewertendes Beispiel	Anpassung der drei Komplexitätsarten gegenüber gewähltem Referenzbeispiel	
	Verteilung der Teileanzahl je Cluster auf mechanisch / elektrisch + elektronisch / ...	Zusatzeingaben wie Anzahl Teile, Schulungen, Funktionstestmaschinen	Anpassung der Aufwände in den Bereichen auf Haupt- oder Teilprozessebene

Abbildung 3.31: Integriertes Variantenmanagement [Bay10, S. 178]

3.5.7. Activity Based Costing Analysis

Die *Activity Based Costing Analysis* von Thyssen et. al. (2006) ist eine auf der traditionellen Prozesskostenrechnung basierende Methode, welche Entscheidungen hinsichtlich der Rentabilität eines gemeinsamen Moduls im Vergleich zu mehreren individuellen Baugruppen unterstützt. Das Ergebnis dieser Analyse ist die Bewertung, um wieviel höher die durchschnittlichen variablen Kosten mehrerer Baugruppen im Vergleich zu den durchschnittlichen variablen Kosten eines gemeinsamen Moduls sind [TIJ06, S. 252 ff.]

Dazu ist zunächst eine Prozesskostenanalyse innerhalb des Unternehmens aufzusetzen. Das Ergebnis dieser Analyse sind, wie bereits bei der klassischen Prozesskostenrechnung, die variablen Kosten der Hauptprozesse in Abhängigkeit verschiedener Komplexitätstreiber. Anschließend können auf dieser Ausgangsbasis Komplexitätskostenvergleiche durchgeführt werden. Eine beispielhafte Modulbewertung ist in Abbildung 3.32 visualisiert.

In diesem Beispiel wird analysiert, um wieviel höher die Materialkosten eines gemeinsamen Moduls im Vergleich zu der höheren Komplexität von sechs individuellen Baugruppen sein können. Dazu werden für jede Baugruppe 1 - 6 die Komplexitätstreiber angegeben. Auf dieser Basis können die verursachungsgerechten Kosten dieser Baugruppen berechnet werden. Zum Vergleich sind die Komplexitätstreiber eines einzelnen Moduls anzugeben und die

Kosten (Prozentualer Anteil)	Modul 1	Modul 2	Modul 3	Modul 4	Modul 5	Modul 6	Total, spezifische Module	Standard Modul	Differenz
Materialeinsatz									
Menge/Einheiten	106 (79)	14 (45)	29 (60)	4 (19)	154 (83)	36 (61)	343 (72)	343 (91)	0
Losgröße	11 (8)	4 (13)	5 (11)	4 (20)	13 (7)	10 (16)	47 (10)	13 (3)	34
Serienbetreuung	12 (9)	12 (38)	12 (24)	12 (60)	12 (6)	12 (20)	72 (15)	12 (3)	60
Warenbestand	5 (4)	1 (4)	2 (5)	0,3 (2)	7 (4)	2 (3)	18 (4)	10 (3)	8
Gesamtkosten	134 (100)	31 (100)	48 (100)	20 (100)	186 (100)	60 (100)	478 (100)	378 (100)	100
Einsparpotential pro Einheit	(478.000-378.000) / 6.600 = 15 Euro / Einheit								15

Abbildung 3.32: Activity Based Costing Analysis [TIJ06, S. 263]

damit einhergehenden Komplexitätskosten zu bestimmen. Anschließend werden die Kosten der sechs einzelnen Baugruppen aufsummiert und mit denen des standardisierten Moduls verglichen. Aufgrund der geringeren Komplexität des Standardmoduls im Vergleich zu den mengenabhängigen Durchschnittskosten der individuellen Baugruppen, können die Materialkosten des Standardmoduls in dieser Betrachtung um 15 Euro je Einheit höher sein [TIJ06, S. 263].

Mittels der Activity Based Costing Analysis können die Komplexitätskosten individueller Baugruppen im Vergleich zu Standardmodulen bewertet werden. Dabei wird keine explizite Trennung in einmalige und laufende Komplexitätskosten vorgenommen. Nutzeneffekte werden bei der Bewertung nicht betrachtet. Die Methode unterstützt Modulentcheidungen, Variantenbewertungen ganzer Produkte stehen nicht im Fokus. Trotz der Betrachtung von Modulentcheidungen werden keine Modullebenszyklen berücksichtigt. Der Aufwand bei Nutzung der Methode steht in keinem vertretbaren Verhältnis zu ihrem Erkenntnisgewinn. Der systematische Aufbau ermöglicht dennoch eine gute spätere Nachvollziehbarkeit. Aufgrund der spezifischen Schwerpunktsetzung der Methode ist das Entscheidungsspektrum eher gering.

3.6. Diskussion und Bewertung

In Abschnitt 3.2 wurden die an eine Methodik für ein holistisches Variantenmanagement modularer Produktfamilien gestellten Anforderungen hergeleitet. Darauf aufbauend sind in den beiden vorangegangenen Abschnitten insgesamt 15 verschiedene Methoden hinsichtlich ihrer Eignung, eine stabile modulare Produktarchitektur sicherzustellen, respektive Komplexitätskosten modularer Produktfamilien zu bewerten, untersucht worden. Keine der betrachteten Methoden war in der Lage, alle geforderten Aspekte abzudecken. Demzufolge kann die Methodenbewertung weiterhin getrennt durchgeführt werden.

Zunächst sind die Methoden aus der ersten Literaturrecherche zu betrachten. Eine kurze Erläuterung hinsichtlich deren Eignung die geforderten Kriterien zu erfüllen, wurde jeweils am Ende der Methodenbeschreibung in Abschnitt

3.4 gegeben. In Tabelle 3.1 ist eine Zusammenfassung dieser Einschätzungen aufgeführt. Dazu wurden die acht verschiedenen vorgestellten Methoden in den Zeilen aufgelistet. Die Anforderungen, die an eine Methode zur Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur gestellt werden, sind in den Spalten abgebildet. Die ersten drei Anforderungen wurden explizit an solche eine Methode gestellt und sind Hauptbestandteil der ersten Literaturrecherche. Die nachfolgenden vier Anforderungen werden generell an eine Methode zur Entscheidungsfindung gestellt und sind ebenfalls in der zweiten Literaturrecherche berücksichtigt. In der letzten Spalte ist die durchschnittliche Gesamtmethodebewertung angegeben. Die Systematik der Methodenmatrix ist an Bayer (2010) angelehnt.

Die einzelnen Methoden wurden hinsichtlich der aufgelisteten Kriterien auf einer Skala von 0 bis 5 bewertet (siehe Abbildung 3.33). Ein voller Kreis sagt aus, dass die Anforderung von der betrachteten Methode vollkommen erfüllt wird. Ein leerer Kreis zeigt auf, dass ein Kriterium von der betrachteten Methode nicht unterstützt wird, respektive eine Anwendung dieser Methode zur Erfüllung dieser Anforderung nicht geeignet ist. Teilweise ausgefüllte Kreise weisen auf eine partielle Kriterienerfüllung hin.

In Tabelle 3.1 ist ersichtlich, dass keine der erläuterten Methoden die geforderten Kriterien ausreichend berücksichtigt. Die fünf zuerst vorgestellten Arbeiten unterstützen das Kriterium einer Sicherstellung von Kommunalitäten über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg gar nicht. Die drei zuletzt genannten Methoden haben das beste Gesamtergebnis. Aber auch hier werden nicht alle Kriterien zur Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg methodisch erfüllt.

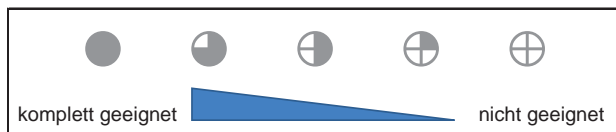


Abbildung 3.33: Bewertungsschema Methodenmatrix

Tabelle 3.1: Methodenbewertung Literaturrecherche I

Bewertung der Methoden: Stabile modulare Produktarchitektur								
	Sicherstellung stabile modulare Produktarchitektur			Allgemeine Anforderungen an Methode				Ergebnis
	Sicherstellung modularer Designregeln	Sicherstellung Kommutativitäten	Bewertung strategischer Aspekte	Bewertungsaufwand	Systematische Vorgehensweise	Spätere Nachvollziehbarkeit	Breites Entscheidungsspektrum	
Design Structure Matrix (DSM)	⊖	⊕	⊕	⊖	●	●	⊕	⊖
Modular Function Deployment (MFD)	⊕	⊕	⊖	⊖	●	⊕	⊕	⊕
Variant Mode and Effect Analysis (VMEA)	⊖	⊕	⊕	⊖	●	●	⊖	⊖
Design for Adaptability (DfA)	⊕	⊕	⊕	⊕	●	●	⊕	⊕
Design for Variety (DfV)	⊖	⊕	⊕	⊖	●	⊖	⊕	⊖
Variant Management Funnel	●	⊕	⊖	●	●	⊖	●	⊖
Produktfamilienpflege	●	●	⊕	●	●	⊖	●	⊖
Modularisierungs-Balanced Scorecard (M-BSC)	⊖	●	●	⊖	●	●	⊖	⊖

Daraus lässt sich schließen, dass es nicht ausreichend ist, eine der vorgestellten Methoden mit einer weiteren Methode aus der zweiten Literaturrecherche zu verknüpfen, um beiden Aspekten für ein holistisches Variantenmanagement modularer Produktarchitekturen gerecht zu werden. Vielmehr ist es notwendig, zur Sicherstellung dieser Erfordernisse in der finalen Methodik, einen eigenen Ansatz zu entwickeln oder diesen zumindest aus verschiedenen existierenden Methoden abzuleiten.

In Tabelle 3.2 sind die Ergebnisse der zweiten Literaturrecherche aufgelistet. Die Methodenmatrix ist analog zur Ergebniszusammenstellung der ersten Literaturrecherche aufgebaut. Die allgemeinen Anforderungen an eine Methodik wurden aus der ersten Literaturrecherche übernommen. Die spezifischen Kriterien der Teilaspekte sind hier auf die Analyse von Komplexitätsbewer-

tungsmethoden modularer Produktarchitekturen ausgelegt. Insgesamt sind die sieben verschiedenen vorgestellten Methoden aus Abschnitt 3.5 in den Zeilen der Bewertungsmatrix gelistet.

Hier ist erkennbar, dass keine der aufgelisteten Methoden die unterschiedlichen Modullebenszyklen explizit in die Bewertung miteinbezieht. Weiterhin ist nur eine der vorgestellten Methoden - zumindest teilweise - darauf ausgerichtet, Variantenentscheidungen neuer Module zu unterstützen. Eine Berücksichtigung der Nutzeneffekte verschiedener Szenarien erfolgt bei zwei Methoden. Die vorgestellten Methoden liefern jedoch gute Ansätze zur Bewertung von einmaligen und laufenden Komplexitätskosten. Für eine spätere ganzheitliche Methodik, die allen geforderten Aspekten gerecht wird, ist es sinnvoll, die Ansätze aus den verschiedenen Arbeiten zu berücksichtigen und weiterzuentwickeln.

Tabelle 3.2: Methodenbewertung Literaturrecherche II

Bewertung der Methoden: Komplexitätskosten modularer Produktarchitekturen									
	Komplexitätskostenbewertung				Allgemeine Anforderungen				Ergebnis
	Komplexitätskosten einmalig + laufend	Nutzeneffekte verschiedener Szenarien	Unterstützt Modul- und Produktentscheidungen	Berücksichtigung der Modullebenszyklen	Bewertungsaufwand	Systematische Vorgehensweise	Spätere Nachvollziehbarkeit	Breites Entscheidungsspektrum	
Complexity Cost Management Approach	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	●	●	⊕	⊕
Kostenorientierte Bewertung modularer Produktfamilien	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	●	●	⊕	⊕
Prozesskostenrechnung (PKR)	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	●	●	⊕	⊕
Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung (RPK)	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	●	●	⊕	⊕
Komplexitätskostenanalyse	●	●	⊕	⊕	⊕	●	●	⊕	⊕
Integriertes Variantenmanagement	●	⊕	⊕	⊕	●	●	●	●	⊕
Activity Based Costing Analysis	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	●	●	⊕	⊕

Fazit ist, dass keine der untersuchten Arbeiten allen geforderten Kriterien an ein holistisches Variantenmanagement modularer Produktfamilien gerecht wird. Weiterhin war es mit keiner Methode möglich, die notwendigen Anforderungen eines der beiden Teilbereiche zu erfüllen. Dementsprechend ist die Entwicklung einer neuen Methodik nötig, die alle notwendigen Kriterien berücksichtigt, die zur Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur mittels der Auswahl geeigneter Variantenszenarien zur Weiterentwicklung der modularen Struktur erforderlich sind.

3.7. Zusammenfassung

Im Rahmen des dritten Kapitels, das den Stand der Technik in Wirtschaft und Wissenschaft vorstellt, wurde zunächst der Bedarf einer Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien aus der Industrie abgeleitet. Dazu wurde die Relevanz modularer Produktarchitekturen dargelegt und anschließend der Stellenwert einer stabilen modularen Produktarchitektur in der Praxis aufgezeigt.

Auf Basis des Methodenbedarfs konnten die an solch eine Methodik gestellten Anforderungen konkludiert werden. Dazu wurden zunächst die Anforderungen, die prinzipiell an ein Variantenmanagement gerichtet werden, skizziert. Anschließend sind die Forderungen, die aufgrund der Charakteristika modularer Produktarchitekturen aufkommen, dargelegt worden. Zuletzt wurden die spezifischen Ansprüche, die an eine Methodik zur Entscheidungsfindung gestellt werden, aufgezeigt. Auf Basis dieser Anforderungen konnte die Arbeit innerhalb der Designtheorie und -forschung positioniert werden.

Bevor bestehende Methoden aus der Wissenschaft hinsichtlich der vorgestellten Ansprüche untersucht worden sind, wurden zunächst die Teilaspekte zu den Gesamtanforderungen an eine Methodik aggregiert. Auf dieser Basis konnte dann das Rahmenwerk der Methodenanalyse vorgestellt werden. Dieses dokumentierte, dass zunächst bestehende Methoden zur Sicherstellung einer stabili-

len modularen Produktarchitektur vorgestellt und anschließend Methoden zur Komplexitätskostenberechnung dargelegt werden.

Nach der Vorstellung von insgesamt 15 verschiedenen Methoden in zwei getrennt durchgeführten Literaturrecherchen wurde eine Gesamtbewertung hinsichtlich der Erfüllung der gestellten Anforderungen vorgenommen. Es konnte aufgezeigt werden, dass keine der existierenden Methoden allen Ansprüchen an eine Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien gerecht wird. Aus diesem Grund wird im nachfolgenden Kapitel 4 eine neue Methodik skizziert, die den geforderten Anforderungen entspricht.

4. Vorstellung der Methodik

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Anforderungen, die an ein holistisches Variantenmanagement modularer Produktfamilien gestellt werden, abgeleitet. Ziel einer solchen Methodik ist es, die wiederkehrenden Variantenanfragen modularer Produktfamilien zu begleiten, so dass eine nachhaltig stabile modulare Produktfamilie über deren Lebensdauer hinweg sichergestellt werden kann. Dazu ist es zum einen notwendig, Variantenkonzepte bezüglich deren Komplexität zu bewerten. Damit soll gewährleistet werden, dass nur solche Konzepte in die modulare Struktur integriert werden, die vorteilhaft für diese sind. Zum anderen gilt es, die modularen Designregeln sowie Kommunalitäten sicherzustellen, denn nur dann hat die modulare Struktur auf Dauer Erfolg. Weiterhin kann mittels der frühzeitigen Berücksichtigung strategischer Aspekte die Wiederverwendungsrate der verschiedenen Module, der Schlüsselfaktor der Modularisierung, hoch gehalten werden.

Auf Basis einer ausführlichen Literaturrecherche konnte aufgezeigt werden, dass keine der bestehenden Methoden alle Anforderungen, die an solch eine Methodik gestellt werden, erfüllen kann. Verschiedene Studien, ebenfalls in Kapitel 3 besprochen, zeigen jedoch den Bedarf solch einer Methodik, speziell für Unternehmen, die nicht der Automobilindustrie angehören, auf. Aus diesem Grund wird nun ein neuer Ansatz vorgestellt, der das Ziel hat, alle angesprochenen Kriterien abzudecken. Die Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien, VM_{ahead} Methodik genannt, wurde speziell an die Bedürfnisse modularer Strukturen angepasst und dient der Bewertung und Berücksichtigung aller relevanten Aspekte zur Sicherstellung einer dauerhaft stabilen und damit erfolgreichen modularen Produktarchitektur.

In Abschnitt 4.1 werden zunächst die Grundlagen der Methodik erläutert. Dazu wird die Methodik in den Modulentstehungsprozess eingeordnet und der beteiligte Personenkreis der Methodik wird vorgestellt. Anschließend beschäftigt sich Abschnitt 4.2 mit dem Aufbau der Methodik und deren einzelne Bausteine werden eruiert. Die Methodik selbst kann in zwei Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase wird die Methodik aufgebaut, in der zweiten Phase kommt es zur Anwendung. Die erste Phase wird zunächst in Abschnitt 4.3, Vorleistungen der Methodik, detailliert aufgezeigt und die Teilschritte werden vorgestellt. Anschließend wird die zweite Phase in Abschnitt 4.4, Anwendung der Methodik, erläutert. Dazu wird das Gesamtrahmenwerk zur leichteren Einordnung der Methodik vorgestellt und anschließend werden die einzelnen Anwendungsschritte präzisiert. Zuletzt wird in Abschnitt 4.5 dargestellt, wie die einzelnen Schritte der Methodenvorleistung in der Unternehmenspraxis mittels einer Methodenimplementierung operationalisiert werden können.

Zum besseren Verständnis des Komplettaufbaus der Methodik ist im Anhang A.1 eine Skizzierung des detaillierten Methodikenaufbaus inklusive einer Zuordnung zu den einzelnen Kapitelabschnitten und den graphischen Visualisierungen der Methodikenbestandteile gegeben. Dieser Aufbau kann hinzugezogen werden, um die einzelnen Methodikenschritte besser in das Gesamtkonzept einordnen zu können.

4.1. Grundlagen der Methodik

Ziel des Abschnittes ist es, die Grundlagen der Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien zu bilden, welche das Ziel hat, den in Kapitel 3 aufgezeigten Anforderungen an eine neue Methodik gerecht zu werden. Zur Verdeutlichung der Zielerreichung der Methodik trägt diese den Namen VM_{ahead} Methodik.

VM - Variantenmanagement modularer Produktarchitekturen

a - advanced (fortgeschritten)

h - holistic (holistisch)

e - easy applicably (einfach anwendbar)

a - accelerated (angemessener Zeitaufwand)

d - decision support (Entscheidungsunterstützung)

Zunächst wird in diesem Abschnitt die neue VM_{ahead} Methodik in den Modulentstehungsprozess eingeordnet. Damit kann der Bezugsrahmen der Methodik abgesteckt werden. Anschließend wird der beteiligte Personenkreis der Methodik vorgestellt.

4.1.1. Einordnung in den Modulentstehungsprozess

Die Methodik ist speziell für modulare Produktarchitekturen zugeschnitten. Dementsprechend ist es notwendig, diese in den Modulentstehungsprozess und nicht in den allgemeinen Produktentstehungsprozess einzuordnen. Im vorangegangenen Abschnitt konnte bereits dargelegt werden, dass im Vergleich zu anderen Branchen, die Automobilindustrie deutlich weiter im Bereich der modularen Produktstrukturierung ist. Unternehmen anderer Branchen, wie zum Beispiel der Gebrauchsgüterindustrie, folgen, so dass gerade hier ein großer Bedarf für methodische Unterstützung besteht. Dabei ist es nicht immer zielführend, die Methoden aus der Automobilbranche zu übernehmen, da diese hinsichtlich ihrer PLM Systeme und bei der Kennzahlenautomatisierung teilweise deutlich präzisere Ansätze verfolgen. Die nachfolgende Abbildung 4.1 zeigt einen allgemeinen Modulentstehungsprozess auf. Dazu wurde der auf die Automobilbranche zugeschnittene Modulentstehungsprozess von Koppenhagen (2014) verallgemeinert. Der Anknüpfungspunkt der neuen Methodik wurde dieser Darstellung hinzugefügt.

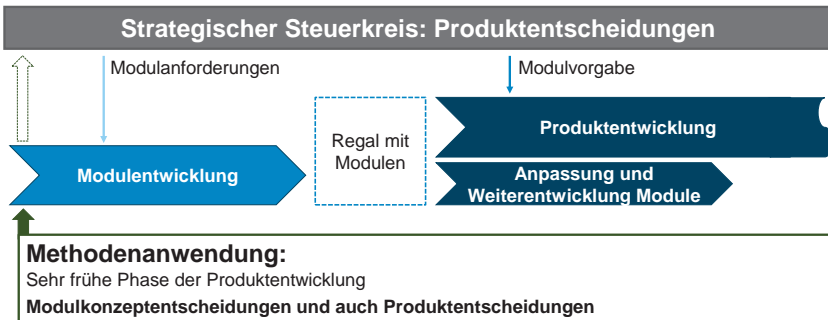


Abbildung 4.1: Einordnung in den Modulentstehungsprozess

Neue Produktprojekte bedienen sich aus den vorgelagerten Modulprojekten, indem sie allgemeingültige Module aus einem 'Regal' entnehmen und diese gegebenenfalls produktspezifisch anpassen. Entscheidungen hinsichtlich neuer Produkte und der Modulverwendung selber trifft ein übergeordneter Steuerkreis. Ist für ein neues Produktprojekt noch kein geeignetes Modul vorhanden, so muss eine Entscheidung gefällt werden, ob und wie dieses Modul entwickelt wird und ob so das Produktprojekt realisiert werden kann. Die neue VM_{ahead} Methodik soll diese Entscheidungen, die in der sehr frühen Phase der Entwicklung getroffen werden, unterstützen.

Dabei werden besonders Entscheidungen, die die Weiterentwicklung des modularen Baukastens ('Regal') betreffen, im Fokus der Methodik sein. Aber auch Produktentscheidungen können mittels dieser unterstützt werden. Eine Anwendung in der sehr frühen Phase der Entwicklung ist dabei besonders wichtig, da hier das größte Kosteneinsparungspotential gegeben ist und bis zu diesem Zeitpunkt geringe Aufwendungen angefallen sind.

4.1.2. Beteiligter Personenkreis der Methodik

Die Methodik kann, wie bereits erläutert, in zwei Phasen unterteilt werden. Daraus folgt, dass auch der beteiligte Personenkreis der Methodik in diesen zwei Phasen variiert und getrennt betrachtet werden sollte. Ziel der ersten

Phase ist es, Expertenwissen zusammenzutragen. Dieses kann anschließend in aggregierter Form bei neuen, wiederkehrenden Variantenentscheidungen durch den Personenkreis der zweiten Phase verwendet werden.

Die erste Phase der Methodik wird einmalig, initial durchgeführt. Diese Phase hat zum Ziel, notwendiges Expertenwissen für zukünftige Variantenentscheidungen zu sammeln und zu bündeln. Um Aufwände verschiedener Variantenszenarien zu erfassen, sind zunächst verschiedene Experten aus allen Bereichen des Modul- und auch Produktlebenszyklus, von der Entwicklung, über den Einkauf, Produktion, Logistik sowie auch Vertrieb, notwendig. Diese Experten werden auf Basis ihres Erfahrungsschatzes ausgewählt. Je sachkundiger und erfahrener ein Experte ist, desto höher die Datenqualität und damit auch die spätere Variantenbewertung [WBHSO16a, S. 598].

Da die Methodik speziell für modulare Produktarchitekturen aufgebaut ist, spielen die Modularisierungsverantwortlichen in dieser Vorleistungsphase eine entscheidende Rolle. Diese kennen die Ziele der modularen Struktur im Detail und unterstützen die Integration der modularen Designregeln bei Variantenentscheidungen. Weiterhin gehören zum aktiven Teilnehmerkreis die Produkt- sowie Modulprojektleiter. Diese helfen sicherzustellen, dass alle relevanten Aufwände neuer Varianten in späteren Entscheidungen Berücksichtigung finden. Zudem werden sie durch die frühzeitige Einbindung in den Methoden- aufbau mit der Methodik bereits vertraut gemacht. Damit wird die spätere Akzeptanz erhöht. Zuletzt sind in der ersten Methodenphase Experten aus dem Vertrieb einzubinden. Diese unterstützen bei der Erschließung aller relevanten strategischen Aspekte, hinsichtlich derer verschiedene, zukünftige Variantenszenarien zu bewerten sind. Die verschiedenen Teilnehmer der Methodenvorleistung sind in Tabelle 4.1 aufgelistet.

Ziel der zweiten Phase der Methodik, der Methoden- anwendung, ist es, wiederkehrende Variantenentscheidungen zu bewerten und ein geeignetes Variantenkonzept zu definieren. Darunter darf auch die Entscheidung fallen, die Variantenanfrage nicht zu erfüllen oder aber die Entwicklung unabhängig von der modularen Produktarchitektur durchzuführen. Solche Entscheidungen werden im Rahmen eines strategischen Steuerkreises (siehe Abbildung 4.1) getrof-

Tabelle 4.1: Personenkreis der Methodik

Beteiligter Personenkreis der Methodik		
Methodenvorleistung	Methodenanwendung	
Aktiver Personenkreis	Aktiver Personenkreis	Strategischer Steuerkreis
Experten aus allen Bereichen des Produktlebenszyklus	Modularisierungsverantwortliche	Oberes Management
Modularisierungsverantwortliche	Variantenverantwortliche	Vertrieb
Produkt- und Modulprojekteiter	Projektleiter	Nominierte aus den verschiedenen Produktlebenszyklus Bereichen
Experten aus dem Vertrieb	Entwicklungsingenieure	

fen, wenn erkennbar ist, dass eine Variantenanfrage nicht mit dem bestehenden Baukasten ('Regal') abgedeckt werden kann, sondern zunächst ein neues Modul oder eine neue Modulvariante zu entwickeln ist. Weiterhin kann die zweite Phase der Methodik auch für Entscheidungen hinsichtlich der Sinnhaftigkeit weiterer, neuer Produkte verwendet werden.

Dabei dient das aufbereitete Expertenwissen aus der ersten Phase als Grundlage. Der beteiligte Personenkreis dieser zweiten Phase kann in zwei Gruppen unterteilt werden. In der ersten Gruppe sind die aktiven Teilnehmer gelistet, welche die Variantenentscheidung vorbereiten und im Rahmen ihrer Verantwortung treffen. Der zweite Personenkreis ist optional und besteht aus Teilnehmern, welche bei Entscheidungen mit großer Tragweite auf das Unternehmen zum Entscheidungsgremium hinzuzufügen sind, um den finalen Beschluss zu fällen, wie mit einer Variantenanfrage umgegangen wird. Die beiden Teilnehmergruppen der Methodenanwendung sind ebenfalls in Tabelle 4.1 aufgeführt.

Der aktive Personenkreis der Methodenanwendung besteht, wie bereits in der ersten Phase, aus den Modularisierungsverantwortlichen. Diese sind dafür verantwortlich, dass die Auswirkungen neuer Varianten auf die modulare Struktur plausibel bewertet werden. Zentraler Teilnehmer der zweiten Phase ist zudem der Variantenverantwortliche, welcher für die Gesamtbewertung der Variantenanfrage Verantwortung trägt. Wichtig ist, dass der Variantenverantwortliche eine neutrale Position einnimmt. Besteht die Gefahr, dass dieser bereits vorgeeignet ist, so sollte eine andere Person gewählt werden, um sicherzu-

stellen, dass eine Entscheidung getroffen wird, die für das Unternehmen und nicht für einzelne Abteilungen am vorteilhaftesten ist [WBHSO16a, S. 598]. Ein zugehöriger Projektleiter liefert weiterhin die relevanten Informationen zu Rahmenbedingungen, wie beispielsweise Stückzahlen, möglichen technischen Lösungen oder Kosten der Szenarien für die Variantenentscheidungen. Diese Informationen dienen dem Variantenverantwortlichen als Eingangsgröße der Methodik. Weiterhin wird er durch Entwicklungsingenieure unterstützt, die notwendiges Detailwissen hinsichtlich der einzelnen technischen Lösungen liefern.

Handelt es sich um eine große, wichtige Entscheidung mit enormen Auswirkungen auf das Unternehmen, so ist der strategische Steuerkreis hinzuzuziehen. Er besteht aus dem oberen Management, dem Vertrieb sowie Nominierten aus den verschiedenen Bereichen des Produktlebenszyklus. Dieses Gremium erweitert den aktiven Teilnehmerkreis zur Herbeiführung einer Entscheidung.

4.2. Aufbau der Methodik

Die Methodik kann, wie bereits erläutert, in zwei Phasen unterteilt werden. Zunächst in die Methodenvorleistung, in welcher einmalig, initial notwendiges Expertenwissen gesammelt und gebündelt wird. In der anschließenden zweiten Phase, der Methodenanwendung, kann das zusammengetragene Wissen bei wiederkehrenden Variantenentscheidungen verwertet werden. Es dient somit als Entscheidungsgrundlage. In beiden Phasen spielen die drei Teilaspekte Komplexitätskosten, modulare Designregeln sowie Wiederverwendungsrate eine entscheidende Rolle, welche nachfolgend genauer erläutert werden. Dazu wird in diesem Abschnitt zunächst das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung vorgestellt. Anschließend wird dargelegt, wie die modularen Designregeln mittels der Methodik dauerhaft stabil gehalten werden können. Weiterhin wird aufgezeigt, wie durch die Methodik die Wiederverwendungsrate von Modulen und Modulvarianten, als Kern der Modularisierungsstrategie und als dritter Aspekt der Bewertung, erhöht wird. Zuletzt wird in diesem Abschnitt der Gesamtaufbau der Methodik vorgestellt.

Der Aufbau der Methodik ist dabei stark gekoppelt mit den Vorleistungen der Methodik, welche im nachfolgenden Kapitel besprochen werden. Für eine bessere Verlinkung des Methodikenaufbaus mit den Methodikenvorleistungen kann der im Anhang A.1 skizzierte Gesamtmethodikenaufbau inklusive der Zuordnung zu den einzelnen Kapitelabschnitten und der graphischen Visualisierungen der Methodikenbestandteile herangezogen werden.

4.2.1. Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung

Unternehmen, die eine modulare Produktarchitektur implementieren, haben Interesse daran, die Kosteneinsparung, die mit einer Modularisierung einhergeht, zu quantifizieren [BGK14, S. 124]. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Bewertung von Komplexitätskosteneffekten nicht nur bei der Implementierung, sondern auch bei der kontinuierlichen Weiterentwicklung der modularen Struktur relevant ist. Demnach spielen Komplexitätskosten der verschiedenen Alternativszenarien eine zentrale Rolle bei Variantenentscheidungen. Nachfolgend wird das theoretische Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung neuer Module, Modulvarianten und Produkte vorgestellt.

Grundhypothese des Rahmenwerkes der Komplexitätsbewertung ist, dass die Bewertung von Komplexitätskosten einen gewissen Aufwand mit sich bringt. Dieser Aufwand sollte nur dann betrieben werden, wenn der Erkenntnisgewinn höher als der damit verbundene Aufwand ist. Aus diesem Grund ist zu definieren, für welche Variantenentscheidungen solch eine Bewertung sinnvoll ist und für welche nicht. Weiterhin helfen vorbereitete Komplexitätskostenschemata, den Aufwand für eine Neubewertung zu verringern [WBHSO16b, S. 1439]. Das Komplexitätskosten-Rahmenwerk zeigt auf, wann eine Komplexitätsbewertung durchzuführen ist und reduziert den anschließenden Bewertungsaufwand mittels geeigneter, vorbereiteter Eingangsgrößen. Die verschiedenen Teilschritte zur Definition dieser Eingangsgrößen sind in Abbildung 4.2 dargestellt.

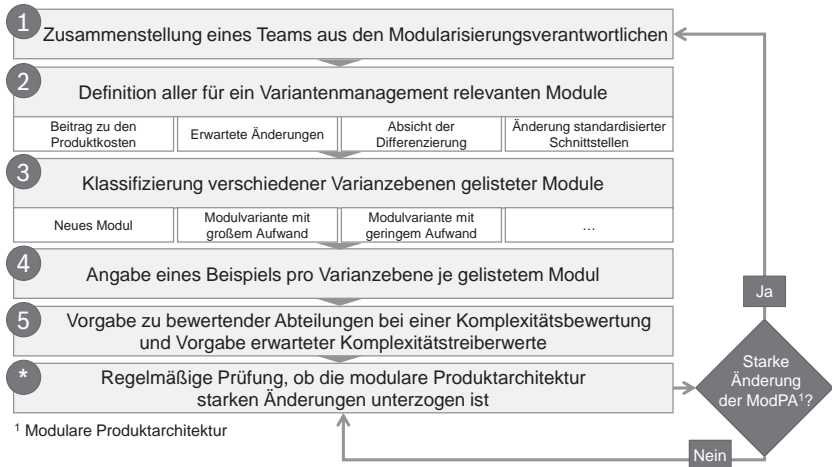


Abbildung 4.2: Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung [WBHSO16b, S. 1440]

Im ersten Schritt des Rahmenwerkes der Komplexitätsbewertung wird ein Workshop aufgesetzt. Teilnehmer sind zunächst die Verantwortlichen der Produktarchitektur sowie die Modulverantwortlichen. Diese kennen die modulare Struktur am besten und sind in der Lage einzuschätzen, welche Module besonders stark von Varianz beeinflusst werden und ob diese gewünscht ist oder nicht. Weiterhin sollten an diesem Workshop Teilnehmer aus dem Management zugegen sein. Begründung ist, dass nicht nur die Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur, sondern auch die finalen Entscheider Kenntnis über den Einfluss von Variantenentscheidungen auf die modulare Produktarchitektur haben sollten. Dieser Personenkreis hat die Aufgabe zu bestimmen, welche zukünftigen Variantenanfragen fundiert und detailliert bewertet werden müssen und welche nicht [WBHSO16b, S. 1439].

Im zweiten Schritt des Rahmenwerkes wird innerhalb des Workshops festgelegt, für welche Module die Durchführung eines Variantenmanagements und damit die Bewertung von Komplexitätskosten zu rechtfertigen ist. Dazu sind alle Module zu betrachten und hinsichtlich der nachfolgenden vier Kriterien

zu bewerten. Ergebnis ist eine Liste aller Module, die relevant für ein Variantenmanagement sind.

- **Kostenbeitrag:**

Ist der Kostenanteil dieses Moduls an den Gesamtproduktkosten hoch?

- **Änderungshäufigkeit:**

Werden häufig Änderungen erwartet?

- **Differenzierungsabsicht:**

Dient dieses Modul zur Differenzierung zwischen den verschiedenen Produkten und zur Abgrenzung von Wettbewerbern?

- **Schnittstellenanpassung:**

Müssen intermodulare Schnittstellen angepasst werden?

Ist der Anteil der Modulkosten an den Gesamtproduktkosten hoch, so sind Variantenanfragen, die auf eine reine Kosteneinsparung ohne zusätzlichen Mehrwert für den Endkunden abzielen, für dieses Modul wahrscheinlich. Bei einer monetären Bewertung solcher Variantenanfragen finden meist nur die direkten Kosten Berücksichtigung. Kosten der Komplexität werden selten betrachtet, obwohl diese die Effekte der direkten Kosten unter Umständen neutralisieren oder sogar übersteigen können und die Unternehmenskomplexität dementsprechend negativ beeinflussen können [WBHSO16b, S. 1440]. Module mit einer erwarteten hohen Änderungshäufigkeit sollten ebenfalls bei einem Variantenmanagement und einer damit einhergehenden Komplexitätsbewertung betrachtet werden. Häufige Änderungen dieser Module führen dazu, neue Komponenten einzuführen, ohne bestehende zu ersetzen. Weiterhin besteht die Gefahr, dass diese neuen kompletten Module und Modulvarianten keine existierenden substituieren, sondern parallel bestehen bleiben und damit die Unternehmenskomplexität erhöhen [WBHSO16b, S. 1440].

Module mit einer hohen Differenzierungsabsicht sind bei einem Variantenmanagement in der Regel nicht zu betrachten. Diese Module haben das Ziel, eine klare Abgrenzung zu Wettbewerbern, aber auch zwischen den verschiedenen Marken eines Unternehmens und zu den einzelnen Produkten mit

unterschiedlichen Werteklassen, zu ermöglichen. Da hier bewusst Varianz gewünscht wird, ist der Aufwand, der mit der Bewertung der Sinnhaftigkeit dieser neuen Module und Modulvarianten einhergeht, vermeidbar [WBHSO16b, S. 1440]. Weiterhin sind Variantenanfragen, die eine Änderung der intermodularen Schnittstellen nach sich ziehen immer, unabhängig von der Bewertung der vorangegangenen drei Kriterien, mittels eines Variantenmanagements zu betrachten. Bei der Komplexitätskostenbewertung sind die Effekte auf die benachbarten Module und die damit verbundenen Aufwände zu berücksichtigen, insofern diese durch die Schnittstellenänderung betroffen sind. Diese auf andere Module übertragenen Aufwände und Komplexitätskosten sind meist mit hohen Kosten verbunden und sind somit bei Variantenentscheidungen zu betrachten [WBHSO16b, S. 1440].

Im dritten Schritt werden für alle aufgelisteten Module verschiedene Varianzebenen bestimmt. Eine Varianzebene ist zu definieren als erwartete resultierende Komplexität eines neuen Moduls oder Modulvariante, die mit einer Variantenanfrage für dieses Modul einhergehen kann. Je höher die Varianzebene ist, desto höher ist die durch diese neue Variante entstandene Komplexität. Zur Bestimmung der Varianzebenen ist zu definieren, wann ein Entwicklungsingenieur ein neues Modul entwickelt und bis zu welchem Grad von einer Modulvariante gesprochen werden kann. Weiterhin sind verschiedene mögliche Modulvariantenebenen zu bestimmen und wie folgt zu klassifizieren: Modulvarianten mit einer hohen, mittleren und kleinen resultierenden Komplexität [WBHSO16b, S. 1440].

Im vierten Schritt ist je Modul und je Varianzebene ein aktuelles Beispiel für diese Ebene zu definieren. Dies ermöglicht ein besseres Verständnis und eine bessere Nachvollziehbarkeit der verschiedenen Varianzebenen für den späteren Anwender der Variantenmanagement-Systematik. Auf Basis der Vorgabe eines Beispiels und der damit verbundenen einfachen Nachvollziehbarkeit kann eine konsistente Verwendung der Varianzebene von Entscheidung zu Entscheidung sichergestellt werden [WBHSO16b, S. 1440].

Im fünften Schritt sind möglichst viele Komplexitätstreiberwerte, wie beispielsweise die Anzahl an Neuteilen, für die verschiedenen Varianzebenen

pro Modul zu bestimmen. Auch die verschiedenen Modullebenszyklen je Modul und Varianzebene sind anzugeben, damit die wiederkehrenden, jährlichen Komplexitätskosten über die passende Zeitdauer kalkuliert werden können. Zusätzlich werden innerhalb des Workshops alle von der Komplexität dieser neuen Variante beeinflussten Abteilungen aufgelistet. Basierend auf diesen Angaben kann die später vorgestellte Komplexitätskostenbewertung erstellt werden. Die Komplexitätskosten vorbewerteter Referenzbeispiele dienen als Vorlage für neue Variantenanfragen und damit zur Vereinfachung der Komplexitätsbewertung zukünftiger Variantenentscheidungen [WBHSO16b, S. 1440].

Ergebnis des Workshops ist eine Liste von Modulen und zugehörigen Varianzebenen, für welche eine fundierte Bewertung bei Variantenanfragen durchzuführen ist. Für jeden Listeneintrag werden weiterhin ein Beispiel, erwartete Komplexitätstreiberwerte, die Dauer des Modullebenszyklus sowie von der entstehenden Komplexität betroffene Abteilungen angegeben. Diese Liste hat solange Bestand, wie die modulare Produktarchitektur keinen drastischen Änderungen unterliegt. Ist dies jedoch der Fall, so ist ein neuer Workshop aufzusetzen und eine neue Einschätzung relevanter Module für ein Variantenmanagement vorzunehmen [WBHSO16b, S. 1440].

Abbildung 4.3 stellt dar, wie die Ergebnisse der einzelnen Workshop Schritte bei wiederkehrenden Variantenentscheidungen verwendet werden und damit wie die Anwendung des Rahmenwerks der Komplexitätsbewertung ermöglicht wird. Die linke Seite der Darstellung zeigt das vorgestellte Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung. Die rechte Seite visualisiert die Verwendung der Ergebnisse der einzelnen Workshop Schritte bei Variantenentscheidungen. Solch eine Entscheidung ist notwendig, sobald zukünftige Produktbedürfnisse nicht mehr mit dem bestehenden Baukasten abgedeckt werden können.

Initial ist bei einer neuen Variantenanfrage zu klären, mittels welchen Moduls diese erfüllt werden kann. Anschließend ist im ersten Schritt zu prüfen, ob dieses Modul in der Liste relevanter Module für Komplexitätsbewertungen aufgeführt ist. Ist dies der Fall oder müssen für diese Variantenanfrage Schnittstellen angepasst werden, so ist eine Komplexitätskostenanalyse durchzuführen.

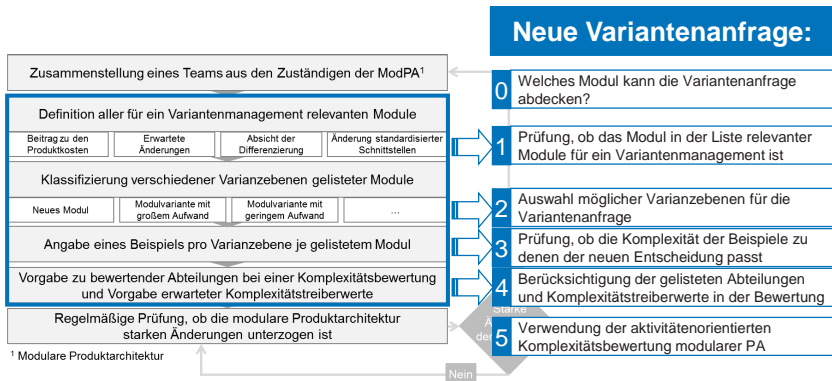


Abbildung 4.3: Anwendung des Rahmenwerkes [WBHSO16b, S. 1441]

Methodische Unterstützung der notwendigen Schnittstellenbewertung liefert die in Abschnitt 3.4 vorgestellte 'Design Structure Matrix (DSM)', welche die intermodularen Schnittstellen dokumentiert und zur Verfügung stellt [WBHSO16b, S. 1440 f.].

In einem zweiten Schritt sind von einem Entwicklungsingenieur oder dem Variantenverantwortlichen passende, im Workshop bereits vorbereitete, Varianzebenen für das zugehörige Modul auszuwählen. Auch ein Szenario ohne adäquates Referenzbeispiel oder die Möglichkeit einer Entwicklung unabhängig von der modularen Struktur sowie die Nichterfüllung der Variantenanfrage sind möglich. Das Konzept der Varianzebenen dient dazu, sicherzustellen, dass Konstrukteure sich nicht nur auf ein einzelnes Szenario fokussieren, sondern weitere Alternativszenarien mit verschiedenen Komplexitätsgraden in Betracht ziehen [WBHSO16b, S. 1441].

Im dritten Schritt werden die Beispiele der ausgewählten Varianzebenen mit den aktuellen möglichen Variantenszenarien hinsichtlich ihres Komplexitätsgrades verglichen. Beurteilungskriterium sind die angegebenen Komplexitätstreiberwerte. Stimmen diese Werte überein, so können die vorgewerteten Referenzbeispiele als Komplexitätskostenindikator Verwendung finden. Sind große Abweichungen erkennbar, so ist eine Neubewertung in Schritt fünf mittels

der Komplexitätsbewertungsmethode modularer Produktfamilien vorzunehmen. Dabei sind die aufgelisteten, von Varianz beeinflussten, Abteilungen zu berücksichtigen [WBHSO16b, S. 1441].

Die in Schritt vier berücksichtigten, von der Komplexität neuer Varianten beeinflussten, Abteilungen sowie vorgegebene Komplexitätstreiberwerte ermöglichen es zudem, ein erstes Gefühl für die durch das Variantenszenario entstehende Komplexität zu erhalten. Damit können einzelne Szenarien bereits ohne detaillierte Bewertung frühzeitig eliminiert werden [WBHSO16b, S. 1441]. Ein optimales Szenario kann unter Berücksichtigung der Nutzeneffekte dieser möglichen neuen Variante sowie der anderen Teilaspekte, welche in den nachfolgenden Abschnitten vorgestellt werden, ausgewählt werden

4.2.2. Sicherstellung der modularen Designregeln

Neben der kostenseitigen Bewertung neuer Varianten und der damit verbundenen Verwendung des Rahmenwerkes der Komplexitätsbewertung spielt die Sicherstellung der modularen Designregeln und damit die Bewertung des Einflusses verschiedener Variantenszenarien auf die modulare Produktarchitektur eine große Rolle innerhalb der Methodik. Bei dieser Analyse sind zwei Aspekte von Bedeutung. Zum einen sind die modularen Designregeln zu betrachten, welche sich durch standardisierte Schnittstellen und definierte modulare Bauräume auszeichnen [CL05, S. 773; WBO15, S. 1552], und zum anderen ist die kontinuierliche Sicherstellung von Kommunalitäten von Relevanz [BBGK15, S. 1 ff.].

Allgemeine Anforderung an eine Methodik ist ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Aufwand und Erkenntnisgewinn der Anwendung. Aus diesem Grund wird auf eine sehr detaillierte Bewertung der Effizienz der modularen Produktarchitektur und der nachhaltigen Stabilität dieser verzichtet, wie es bei der Modularisierungs-Balanced Scorecard (M-BSC) von Junge (2005) der Fall ist. Dennoch ist die Berücksichtigung standardisierter Schnittstellen sowie definierter modularer Bauräume von oberster Priorität und eine mögliche Verletzung dieser ist ein wichtiges Kriterium bei der Bewertung.

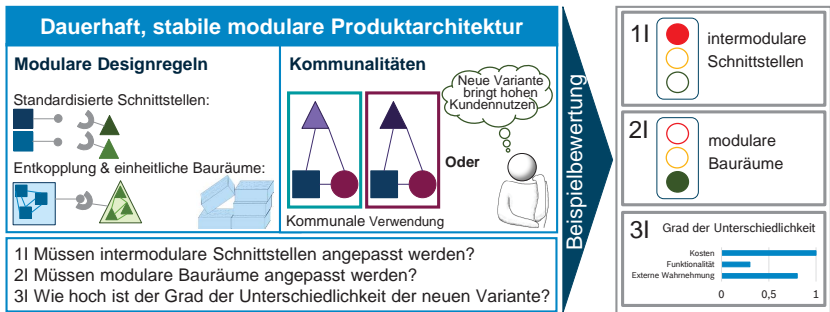


Abbildung 4.4: Bewertung des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur

Mit Hilfe einer in der Implementierungsphase der modularen Produktarchitektur erstellten Design Structure Matrix (DSM) wird ein einfacher Überblick über die intermodularen Schnittstellen ermöglicht. Die DSM ist bei wiederkehrenden Variantenbewertungen von dem Entwicklungsingenieur zu Rate zu ziehen. Anschließend ist mittels einer dreistufigen Bewertungsskala (Ampeldarstellung) anzugeben, ob intermodulare Schnittstellen anzupassen sind (rot), es zu einer erwarteten zukünftigen Anpassung bei diesem Szenario kommen kann (orange) oder aber die Variantenanfrage beziehungsweise Änderung lediglich innerhalb eines Moduls durchgeführt wird (grün). Eine beispielhafte Darstellung ist in Abbildung 4.4 gegeben. Weiterhin fragt die Methodik konsequent ab, inwieweit modulare Bauräume angepasst werden müssen. Dies ist ebenfalls durch einen Entwicklungsingenieur zu bewerten und darüber hinaus mittels der dreiskaligen Ampeldarstellung zu visualisieren.

Der dritte Teilaspekt hat zum Ziel, Kommunalitäten innerhalb der modularen Produktfamilie mittels der Methodik sicherzustellen. Dabei ist wichtig, dass bei dieser Betrachtung der Begriff Varianz nicht nur im Sinne einer Zunahme an Auswahlmöglichkeiten [Buc12, S. 135], sondern auch als der Grad der Unterschiedlichkeit dieser Auswahlmöglichkeiten zu verstehen ist [Buc12, S. 20]. Daraus lässt sich ableiten, dass eine neue Variante die modulare Produktarchitektur nur dann vorteilhaft erweitern kann, wenn diese neue Variante sich stark von bestehenden unterscheidet. Ist diese Differenzierung nicht gege-

ben, so sollte diese Variante im Sinne des Kommunalitätsgedankens vermieden werden.

Die VM_{ahead} Methodik sieht vor, den Grad der Unterschiedlichkeit bei Variantenszenarien hinsichtlich der Kriterien Kosten, Funktionalität sowie externe Wahrnehmung zu bewerten. Der Faktor Kosten stellt fest, ob sich ein Variantenszenario von bestehenden Modulen und Modulvarianten im Hinblick auf die Produktkosten unterscheidet. Der Aspekt Funktionalität zeigt auf, ob eine neue Variante eine funktionelle Unterscheidung zu bestehenden Modulen aufweist. Zuletzt bewertet der Indikator externe Wahrnehmung, inwieweit die Entwicklung dieser neuen Variante einen Vorteil für den Endkunden generiert. Dieser dritte Aspekt ist von besonderer Bedeutung. Der in der Wissenschaft geprägte Begriff der Konsumentenverwirrtheit sagt aus, dass ein Käufer durch eine zu große, wenig differenzierte Angebotsvielfalt abgeschreckt ('verwirrt') werden kann. Dies kann bis hin zu einer Kaufverweigerung führen [Buc12, S. 152 ff.]. Aus diesem Grund ist es nur dann sinnvoll neue Varianten zu generieren, wenn der Kunde einen klaren Unterschied zu bestehenden Varianten erkennen kann. Andernfalls handelt es sich um eine vorrangig interne Variante, die die Unternehmenskomplexität ohne externen Nutzen erhöht.

Mittels der ebenfalls in 4.4 dargestellten Visualisierung unter 3) lässt sich die Effektivität eines Variantenszenarios abbilden, woraus ein Ergebnis abgeleitet werden kann. Nur sinnhafte neue Module und Modulvarianten, also diejenigen, die durch funktionelle oder visuelle Differenzierungsmerkmale ein klares Unterscheidungsmerkmal aufweisen und im nächsten Schritt eine Kundennutzensteigerung erzeugen, sind in den Baukasten aufzunehmen. Andernfalls sind diese Variantenanfragen tendenziell abzulehnen. Lediglich ein klarer Unterschied zwischen möglichen Produktkosteneinsparungen, im Vergleich zu entstehenden Komplexitätskosten, kann solch eine Variante rechtfertigen.

4.2.3. Verbesserung der Wiederverwendungsrate

Neben der Bewertung der Effektivität neuer Module und Modulvarianten und damit der Sicherstellung, dass die 'richtigen' Varianten entwickelt werden, ist die Effizienz dieser neuen Komponenten und Baugruppen ebenfalls von Bedeutung. Dieser weitere Teilaspekt zur gewissenhaften Betrachtung der Kommunalitäten über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg ist Garant dafür, dass die neuen Varianten 'richtig' entwickelt werden. Das heißt, dass bereits frühzeitig die Wiederverwendungsrate im Fokus der Modulentwicklung steht.

Um eine hohe Wiederverwendungsrate zu ermöglichen, ist es notwendig, dass die zu entwickelnden Module und deren Varianten mit der zukünftigen Unternehmensausrichtung im Einklang sind. Eine konsequente Bewertung der Erfüllbarkeit von Unternehmens- und Variantenstrategieelementen bei Konzeptentscheidungen in der frühen Phase der Entwicklung hat das Ziel, die Wiederverwendungsrate zu erhöhen. Beobachtungen in der Praxis haben jedoch ergeben, dass die Ziele der modularen Produktarchitektur, wie auch deren Variantenstrategie, nicht ausreichend bekannt sind. Dies hat zur Folge, dass die existierenden Strategieelemente unzureichend bei der Bewertung unterschiedlicher Variantenszenarien Berücksichtigung finden und die Elemente nicht systematisch von Entscheidung zu Entscheidung gleichermaßen in Betracht gezogen werden [WBO15, S. 1552].

Wird die Unternehmens- und Variantenstrategie nicht frühzeitig bei neuen Variantenkonzepten berücksichtigt, so besteht die Gefahr, dass Modulneuentwicklungen gestartet werden, die in zukünftigen Produkten keine Wiederverwendung finden, da die Moduleigenschaften nicht mehr zur Unternehmensausrichtung passen [WBO15, S. 1552]. Die *Strategy-Contribution-Map* ermöglicht es, unterschiedliche Strategieelemente systematisch zu erfassen und eine einheitliche, später nachvollziehbare Bewertung zu ermöglichen. Der Ansatz der *Strategy-Contribution-Map*, wie auch die einzelnen Schritte zur Erstellung dieser, sind im nachfolgenden Abschnitt 4.3 im Detail vorgestellt.

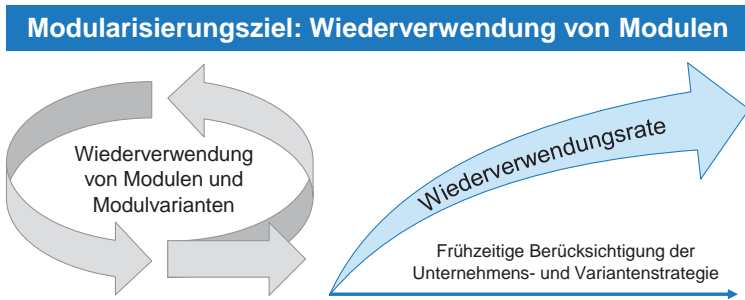


Abbildung 4.5: Verbesserung der Wiederverwendungsrate

Durch die damit verbundene frühzeitige Berücksichtigung von Unternehmens- und Variantenstrategieelementen kann die Wiederverwendungsrate verbessert werden (siehe Abbildung 4.5).

Neben der Betrachtung der Unternehmens- und Variantenstrategie innerhalb der VM_{ahead} Methodik spielen weitere Strategieelemente eine Rolle, die aufgrund des Bestehens einer modularen Produktfamilie von Relevanz sind. Typischerweise haben Unternehmen, die die Implementierung einer modularen Produktarchitektur planen, diverse weitere Ziele an die Einführung gekoppelt. Diese Strategieelemente werden häufig von den Produktarchitekturprojektleitern sowie dem Management gestellt und sind auf der operativen Arbeitsebene nur unzureichend bekannt. Die langfristige Sicherstellung dieser Absichten in neuen Variantenkonzepten kann ohne den bewussten Umgang jedoch nicht garantiert werden [WBO15, S. 1552]. Mittels des Konzeptes der *Strategy-Contribution-Map* finden die Elemente der Unternehmensstrategie, wie auch des Produktarchitekturprojektes sowie der Variantenstrategie bei wiederkehrenden Variantenentscheidungen Berücksichtigung.

4.2.4. Gesamtaufbau der Methodik

Wie bereits in der Einleitung des Kapitels erläutert, kann die Methodik in zwei Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase, der Vorleistungsphase, werden

verschiedene Eingangsgrößen gesammelt und anschließend gebündelt. Dieser Input dient der vereinfachten Vorbereitung wiederkehrender Variantenentscheidungen. In der zweiten Phase, der Anwendungsphase, dient der Input der ersten Phase als Basis für eine fundierte Bewertung verschiedener Variantenszenarien, die die modulare Produktfamilie weiterentwickeln. Dabei werden mittels der Methodik Variantenszenarien hinsichtlich der Aspekte Komplexitätskosten, strategische Bewertung sowie Sicherstellung der modularen Designregeln miteinander verglichen und ein optimales Szenario wird ausgewählt.

Das Schema der Methodik, einschließlich der beiden Phasen der Methodik, ist in Abbildung 4.6 dargestellt. In den vorangegangenen Kapiteln konnte der Bedarf solch einer Methodik aufgezeigt werden, welche die drei genannten Aspekte in Variantenentscheidungssituationen bewertet. Diese Faktoren bilden die grundlegende Basis der Methodik. Im Einzelnen:

- **Komplexitätskosten:**

Transparente Darstellung der Komplexitätskosten Auswirkungen neuer Varianten

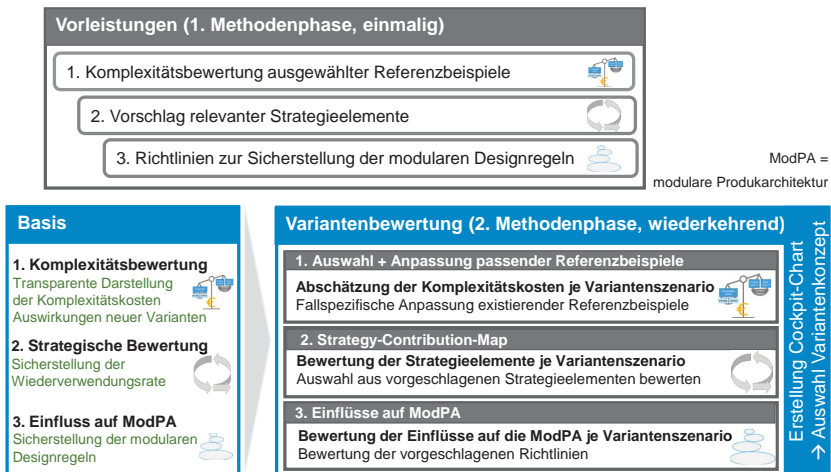


Abbildung 4.6: Schema der Methodik

- **Strategische Bewertung:**

Sicherstellung einer hohen Wiederverwendungsrate neuer Module und Modulvarianten

- **Einfluss auf die modulare Produktarchitektur:**

Sicherstellung der modularen Designregeln durch die klare Angabe, ob standardisierte, intermodulare Schnittstellen oder modulare Bauräume angepasst werden müssen sowie Sicherstellung von Kommunalitäten

Bei wiederkehrenden Variantenbewertungen sind mittels der Methodik alle drei genannten Teilaspekte konsequent zu bewerten. Zur Vereinfachung des Aufwands bei regelmäßig auftretenden Entscheidungssituationen sind Vorleistungen in der ersten Methodenphase zu erbringen, welche in der zweiten Phase Verwendung finden. Dazu werden zunächst Referenzbeispiele aller für ein Variantenmanagement relevanten Module definiert und deren Komplexitätskosten analysiert. Diese vorbewerteten Referenzbeispiele dienen als Bewertungsgrundlage neuer Szenarien. Weiterhin sind alle relevanten Strategieelemente zu sammeln und aufzuschlüsseln. Die Auswahl dieser Strategieelemente ist bei neuen Entscheidungen zu analysieren. Zuletzt dienen Richtlinien, die den Einfluss neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur widerspiegeln, als Bewertungskriterium, ob eine nachhaltig stabile modulare Produktarchitektur mittels betrachtetem Variantenkonzept aufrechterhalten werden kann. Die Gesamtheit der Bewertungsergebnisse verschiedener zu analysierender Variantenszenarien wird anschließend in einem Cockpit Chart dargestellt. Auf dieser Basis kann eine Entscheidung getroffen werden.

Der Gesamtaufbau der Methodik ist in Abbildung 4.7 visualisiert. Diese Grafik zeigt auf, welche Teilschritte in der ersten und der zweiten Phase der Methodik durchzuführen sind. Die initiale Vorleistungsphase kann in drei Vorbereitungs-schritte und die einmalige Methodenimplementierung unterteilt werden. Die Anwendungsphase kann in vier Schritte aufgeteilt werden.

In der **Vorleistungsphase** sind zunächst für die drei Basisaspekte der Methodik Vorleistungen zu erbringen. Anschließend werden im vierten Schritt diese Vorleistungen durch eine Methodenimplementierung für eine darauffolgende Ver-

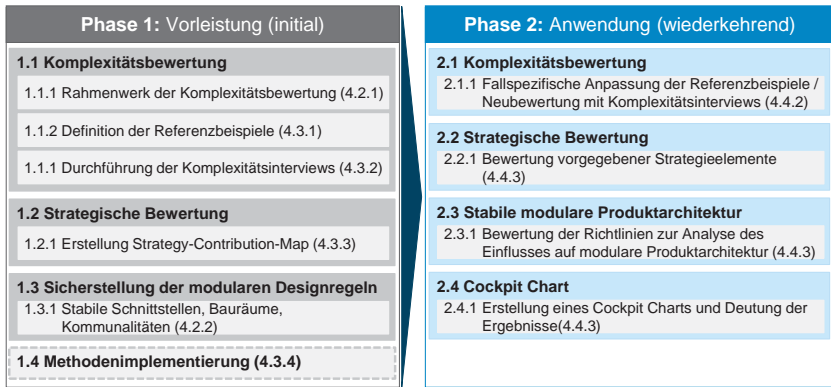


Abbildung 4.7: Gesamtaufbau der Methodik

wendung operationalisiert. Bestehende Methoden zur Bewertung von Komplexitätskosten gehen, wie in Abschnitt 3.5 erläutert, mit einem großen Aufwand einher. Als Teilbereich der VM_{ahead} Methodik wurde eine vereinfachte Form der Komplexitätsbewertung mittels Komplexitätsinterviews erarbeitet. Trotz der vereinfachten Komplexitätskostenbewertung nimmt dieser Aspekt der Vorleistungsphase den größten Zeitaufwand in Anspruch und ist demnach in drei weitere Unterschritte gegliedert.

Zunächst ist das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung, welches im vorangegangenen Abschnitt vorgestellt wurde, aufzustellen. Ergebnis ist eine Liste aller für eine Komplexitätsbewertung und ein Variantenmanagement relevanten Module sowie zugehöriger Varianzebenen mit korrespondierenden Komplexitätstreiberwerten und den hiervon beeinflussten Abteilungen. Anschließend sind pro gelistetem Modul und pro Varianzebene in einem zweiten Unterschritt passende Referenzbeispiele zu definieren, welche hinsichtlich ihrer Komplexität vorbewertet werden können und als Basis für zukünftige Bewertungen dienen. Dieser Schritt kann entweder innerhalb des Rahmenwerkes der Komplexitätsbewertung durchgeführt werden oder ist in Abhängigkeit des Aufwandes in einem separaten Prozessschritt zu erarbeiten. Im dritten Teilschritt sind anschließend, mittels Komplexitätsinterviews für jedes gelistete Referenzbei-

spiel, Komplexitätskosten zu berechnen. Das Ergebnis dient als Eingangsgröße für die zweite Methodenphase. Das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung wurde bereits erläutert (Abschnitt 4.2.1), da dieses unternehmensneutral aufgebaut ist. Die weiteren zwei Teilschritte werden im nachfolgenden Abschnitt 4.3 behandelt, da hier eine unternehmensspezifische Anpassung von Nöten ist.

Der zweite Schritt der Vorleistungsphase beginnt mit einer Sammlung aller vorhandenen, für Variantenentscheidungen relevanten Strategieelemente des Unternehmens. Die aus der Unternehmens-, Varianten- und Produktarchitekturprojektstrategie stammenden Elemente sind auf systematische Weise in der Strategy-Contribution-Map zu aggregieren. Dieses Werkzeug kann bei wiederkehrenden Variantenbewertungen Verwendung finden und ermöglicht eine konsistente Bewertung der Strategieelemente von Entscheidung zu Entscheidung. Das genaue Vorgehen wird in Teilkapitel 4.3.3 vorgestellt.

Im dritten Schritt sind die Richtlinien zur Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur in die Methodik zu integrieren. Dazu sind Kriterien aufzustellen, welche den Einfluss neuer Varianten auf die modulare Produktfamilie messen. In Abschnitt 4.2.2 wurden die hierfür relevanten Aspekte bereits erläutert. Eine weitere Erarbeitung dieser Aspekte, neben der Integration in die Methodenimplementierung, ist in der Vorleistungsphase nicht notwendig.

Im vierten und letzten Schritt der ersten Phase sind die gesammelten und gebündelten Eingangsgrößen zu einer Gesamtmethodik zusammenzufassen. Damit wird eine spätere, leichtere Verwendbarkeit in der Unternehmenspraxis ermöglicht. Der genaue Aufbau wird ebenfalls in den nachfolgenden Abschnitten erläutert. Die VM_{ahead} Methodik ist mit der Methodenimplementierung im Unternehmen initial eingeführt und unterstützt in der Anwendungsphase wiederkehrende Variantenentscheidungen durch die Auswahl eines optimalen Szenarios.

In der zweiten Phase, der **Anwendungsphase**, wird die VM_{ahead} Methodik für die Bewertung verschiedener Variantenszenarien herangezogen. Dabei führen vier Schritte den Anwender durch die Bewertung verschiedener Alternativszenarien. Nachdem die unterschiedlichen Variantenkonzeptszena-

rien ausgearbeitet wurden, kann im ersten Schritt eine Komplexitätsbewertung erfolgen. Sofern die vorliegenden Variantenszenarien von einem ähnlichen Komplexitätsgrad sind, können die bereits vorbewerteten Referenzbeispiele als Basis verwendet werden. Ist dies nicht der Fall, ist eine Neubewertung mittels Komplexitätsinterviews durchzuführen. Anschließend ist pro Szenario im zweiten Schritt eine Strategy-Contribution-Map zu erstellen und zu analysieren. Damit kann der Beitrag eines Variantenszenarios zur Unternehmens-, Produktarchitekturprojekt- sowie Portfoliostrategie gemessen werden. Im dritten Schritt ist der Einfluss der vorgeschlagenen Szenarien auf die modulare Produktarchitektur mittels vorgegebener Richtlinien zu bewerten. Hier sind die modularen Designregeln, also standardisierte Schnittstellen und modulare Bauräume, wie auch der Grad der Varianz zu analysieren. Die Ergebnisse aller drei Aspekte werden im Folgenden zu einem Cockpit Chart zusammengefasst. Dieser Überblick über die Bewertungsergebnisse ermöglicht die Auswahl eines für das Unternehmen und die modulare Produktarchitektur optimalen Szenarios.

4.3. Vorleistungen der Methodik

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt der allgemeine Aufbau der Methodik und die Bestandteile der zwei Phasen dieser Methodik vorgestellt wurden, werden jetzt die verschiedenen Schritte der initialen Vorleistungsphase dargestellt. Die Vorleistungsphase lässt sich in drei Schritte, zuzüglich der dazugehörigen Methodenimplementierung, die in einem separaten Abschnitt behandelt wird, aufteilen. Aufgrund des Umfangs der Komplexitätsbewertung, wird diese in drei weitere Teilschritte untergliedert. Da sich die Vorleistungen der Methodik nicht strikt vom allgemeinen theoretischen Aufbau trennen lassen, wurden die Teilschritte zur Erstellung des Rahmenwerkes der Komplexitätsbewertung sowie die Kriterien zur Bewertung des Einflusses auf die modulare Produktfamilie bereits im vorangegangenen Teil der Arbeit abgehandelt. Beide Aspekte sind unternehmensneutral und demnach nicht direkt der aktiven Vorleistung zuzuordnen. Die Definition der Referenzbeispiele sowie das Vorgehen zur Durchführung der Komplexitätsinterviews, als Teilschritte der Komplexi-

tätsbewertung, werden nachfolgend behandelt. Diese zählen eindeutig zur Vorleistung der Methodik und sind unternehmensspezifisch zu definieren. Ebenso wird auf die Erstellung der Strategy-Contribution-Map, aufgrund der Schwierigkeit der Verallgemeinerung, in diesem Abschnitt Bezug genommen.

Auch hier kann der im Anhang A.1 skizzierte Gesamtmethodikenaufbau inklusive der Zuordnung zu den einzelnen Kapitelabschnitten und den graphischen Visualisierungen der Methodikenbestandteile herangezogen werden. Dieser Aufbau dient dazu, die einzelnen Methodikenschritte besser in das Gesamtkonzept einordnen zu können. Die linke Seite dieser Übersicht verlinkt auf die Methodikenvorleistung und damit auf die einzelnen Themengebiete dieses Abschnitts.

4.3.1. Definition der Referenzbeispiele

Im vorangegangenen Abschnitt 4.2 wurde das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung vorgestellt. Bestandteil ist eine Liste mit allen für eine Komplexitätsbewertung relevanten Modulen, mit den verschiedenen Varianzebenen dieser Module und mit den erwarteten Komplexitätstreiberwerten, inklusive vorbereiteter Komplexitätskostenanalysen, dieser Ebenen. Diese vorbereiteten Komplexitätskostenbewertungen werden für die Bewertung neuer Variantenzenarien zu Rate gezogen und fallspezifisch angepasst. Daraus lässt sich schließen, dass die Definition der Varianzebenen eine Schlüsselposition bei der Komplexitätskostenbewertung einnimmt. Die verschiedenen Varianzebenen und zugehörigen, zu bewertenden Referenzbeispiele sind demzufolge sehr sorgfältig und zukunftstauglich auszuwählen. Die genaue Vorgehensweise ist in Abbildung 4.8 dargestellt.

Ergebnis des zweiten Schrittes im Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung ist einer Liste aller Module, für die der Aufwand einer detaillierten Komplexitätskostenanalyse bei neuen Variantenanfragen sinnvoll ist. Im Anschluss, Schritt drei, sind für die gelisteten Module verschiedene Varianzebenen zu definieren. Aus diesen werden beispielhafte, erwartete zukünftige Variantenanfragen mit

unterschiedlichen Komplexitätsniveaus abgeleitet. Varianzebenen lassen sich in drei Stufen bestimmen, diese sind in Abbildung 4.8 beispielhaft dargestellt. Anschließend werden notwendige Informationen für die definierten Referenzbeispiele der einzelnen Varianzebenen aufgelistet.

Die Bestimmung der Varianzebenen und der zugehörigen Referenzbeispiele ist pro gelistetem Modul separat durchzuführen. Begründung ist, dass die einzelnen Module einen unterschiedlich hohen Anteil an der Gesamtproduktkomplexität aufweisen und durch verschiedenartige Charakteristika zu deklarieren sind. So sind bei Modulen die elektrotechnische Funktionen erfüllen andere Varianzebenen festzulegen, als dies bei Modulen mit rein mechanischen Komponenten der Fall ist.

Zunächst sind für das aktuell zu betrachtende Modul die verschiedenen Gründe, die zu einer Änderung des bestehenden Moduls und dessen Modulvarianten führen, zu diskutieren. Allgemeine Gründe für Änderungen wurden in Abschnitt 1.2 vorgestellt. Für die Bestimmung der Varianzebenen sind die gewollten, bewussten Ursachen von Bedeutung (siehe ebenfalls Abschnitt 1.2). Die ungewollten sind nicht zu berücksichtigen. Beispiele sind Funktionserweiterungen, Änderungen aufgrund gesetzlicher Bestimmungen oder Kosteneinsparungen. Diese Änderungsursachen können von Modul zu Modul unterschiedlich sein und sind unternehmensspezifisch.

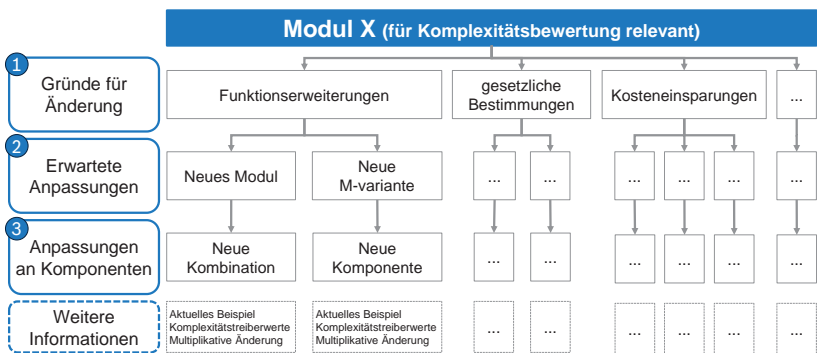


Abbildung 4.8: Definition der Referenzbeispiele

Darauf aufbauend werden für jeden Änderungsgrund mögliche Anpassungen, die mit derartigen Änderungen verbunden sind, aufgelistet. Wichtig ist, dass es pro Änderungsgrund verschiedene Anpassungen geben kann. So wird eine gewünschte Funktionserweiterung beispielsweise durch die Erschaffung eines neuen Moduls umgesetzt. Dies ist möglich, falls die geplante Funktionserweiterung einen so großen Einfluss auf die bestehenden Komponenten dieses Moduls hat, dass hier eine komplette Neuordnung beziehungsweise Neukombination sinnvoll erscheint. Handelt es sich wiederum um eine kleinere, funktionale Anpassung, so reicht es unter Umständen aus, eine neue Modulvariante zu generieren. Bei Bedarf können verschiedene Arten von Modulvarianten mit unterschiedlichen Komplexitätsgraden definiert werden. Wichtig ist, dass ein klares Verständnis in der Organisation darüber besteht, wann von einem neuen Modul respektive von einer neuen Modulvariante gesprochen wird. Diese Definition kann je nach Modul unterschiedlich sein und ist vor der Bestimmung der Varianzebenen zu diskutieren. Die aufgelisteten erwarteten Anpassungen pro Änderungsgrund stellen die verschiedenen möglichen Varianzebenen des zugehörigen Moduls dar.

Pro Varianzebene, also je erwartete Anpassung, sind detaillierte Informationen anzugeben. Die Kombination der Varianzebenen mit diesen Informationen resultiert in Referenzbeispielen. Zunächst ist für jede Varianzebene anzugeben, welche Anpassungen bei Modulkomponenten mit dieser Änderung verbunden sind. Hier ist zu bestimmen, ob neue Komponenten zu erwarten sind und ob bestehende Komponenten neu anzuordnen sind, geändert werden müssen oder wegfallen. Weiterhin sind zusätzliche Informationen anzugeben, damit eine Komplexitätskostenanalyse der Referenzbeispiele, durch Angabe dieser Daten vervollständigt, durchgeführt werden kann. Ein aktuelles Beispiel und Angaben über erwartete Komplexitätstreiberwerte sind anzuführen. Zudem ist es Aufgabe des Teams, zu bestimmen, ob es bei dieser Anpassung zu einer erwarteten multiplikativen Änderung kommen kann. Das heißt, ob die Durchführung des zu betrachtenden Referenzbeispiels zu Schnittstellenänderungen oder modularen Bauraumänderungen führt und damit eine Adaption anderer Module erforderlich ist. Diese zusätzlichen Informationen sind im Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung Bestandteil des vierten Schrittes und bei der

Definition der Referenzbeispiele anzuführen. Erst die Vervollständigung dieser Schritte führt zu einer klaren Fixierung der Referenzbeispiele.

Zuletzt sind die verschiedenen Referenzbeispiele je Modul absteigend nach den erwarteten Komplexitätskosten zu sortieren. Eine Neuordnung ist nach der detaillierten Komplexitätskostenanalyse möglich, ein Vorsortieren erleichtert jedoch die Kostenanalyse, welche im nachfolgenden Abschnitt 4.3.2 vorgestellt wird. Weiterhin erlaubt diese Sortierung eine qualitative Darstellung der Aufwände verschiedener neuer Varianten und gibt damit dem Management erste Anhaltspunkte zur Einordnung von Auswirkungen bei Variantenanfragen. Wurden je gelistetem Modul alle relevanten Referenzbeispiele definiert, so ist das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung abgeschlossen und die Basis der neuen Methode der Komplexitätskostenanalyse ist geschaffen.

4.3.2. Durchführung der Komplexitätsinterviews

Die VM_{ahead} Methodik hat zum Ziel, mittels einer neuen Systematik der Komplexitätskostenanalyse, den Bewertungsaufwand von Komplexitätskosten verschiedener Variantenszenarien gering zu halten. Durch eine vereinfachte Form der Bewertung, auf Basis von Komplexitätsinterviews sowie der Wiederverwendung vorbewerteter Referenzbeispiele, kann dies ermöglicht werden.

Basiskonzept der Komplexitätsbewertungssystematik ist die *ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung* von Schuh (1988), welche in Abschnitt 3.5 vorgestellt wurde. Neu ist, dass es sich primär um eine aktivitäten- anstelle einer ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung handelt. Auch hier werden die variantenabhängigen Teilprozesse bottom-up analysiert. Allerdings werden diese Teilprozesse nicht allgemein, sondern hinsichtlich der spezifischen Referenzbeispiele betrachtet. Dies ermöglicht eine transparente Gesamtdarstellung der Kostenentstehung je Referenzbeispiel. Diese gut nachvollziehbare Gesamtaufschlüsselung erlaubt eine leichte Anpassung der Kosten bei sich ändernden Unternehmensprozessen. Weiterhin ermöglicht die so geschaffene Transparenz eine gute Akzeptanz der berechneten Kosten bei dem beteiligten Personenkreis der Methodenanwendung.

Die Vorgehensweise der Wiederverwendung von vorbewerteten, analysierten Komplexitätskosten hat, zumindest teilweise, ihren Ursprung in der Methode des *integrierten Variantenmanagements* von Bayer (2010), welche ebenfalls in Abschnitt 3.5 erläutert wurde. Bayer verwendet gleichermaßen vorbewertete Komplexitätsanalysen verschiedener Varianzklassen. Der Detaillierungsgrad dieser unterschiedlichen Klassen war jedoch für eine modulare Produktarchitektur, aufgrund der fehlenden Betrachtung unterschiedlicher Module, unzureichend. Weiterhin wurde nur für Teilbereiche eine Vorbewertung durchgeführt, verschiedene Tätigkeiten sind weiterhin mittels der traditionellen Prozesskostenrechnung zur Gesamtkomplexität zuzurechnen.

Die Durchführung der Komplexitätsinterviews und damit die Berechnung der Komplexitätskosten der verschiedenen Referenzbeispiele lässt sich in eine Vorbereitungsphase und eine Komplexitätskostenanalysephase unterteilen, wie in Abbildung 4.9 ersichtlich. Eingangsgröße der Vorbereitungsphase sind die mittels des Rahmenwerkes der Komplexitätskosten bestimmten Referenzbeispiele. Für all diese Beispiele ist ein Komplexitätsinterview durchzuführen. Auf Basis der definierten Referenzbeispiele können die Vorlagen der Tätigkeitsanalyse aufgebaut werden.

Zunächst sind alle Abteilungen, welche von Varianz betroffen und ebenfalls innerhalb des Rahmenwerks gebündelt sind, für die Vorlage zu berücksichtigen. Für die Referenzbeispiele innerhalb eines Moduls sind die gelisteten Abteilungen in der Regel übertragbar. Dabei ist es möglich, dass in manchen

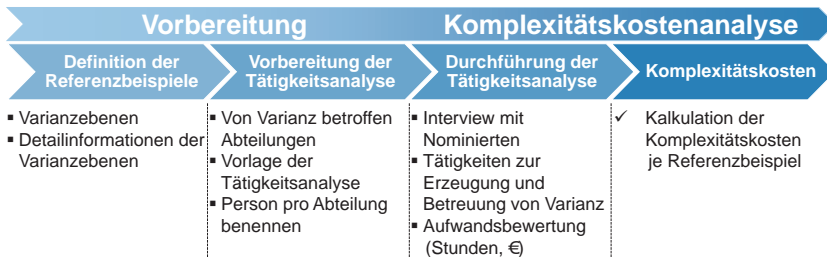


Abbildung 4.9: Durchführung der Komplexitätsinterviews

Abteilungen für gewisse Referenzbeispiele keine oder nur vernachlässigbare Aufwände anfallen. Hier werden in dem anschließenden Komplexitätsinterview die Zeilen frei gelassen. Von Modul zu Modul kann es jedoch vorkommen, dass unterschiedliche Abteilungen zu berücksichtigen sind. So ist beispielsweise die Designabteilung nur für Module relevant, die nach außen sichtbar sind. Rein funktionale Module, ohne äußere Sichtbarkeit, werden in dieser Abteilung nicht betrachtet und sind nicht aufzuführen.

Je Abteilung und je Referenzbeispiel ist eine Person zu nominieren, mit welcher der Variantenverantwortliche das Komplexitätsinterview durchführt. Auswahlkriterium für die Nominierung ist der Erfahrungsschatz. Je höher ihr Expertenwissen in der entsprechenden Abteilung, desto geeigneter ist eine Person für das Interview und desto besser und zuverlässiger sind die späteren Ergebnisse der Komplexitätskostenbewertung [WBHSO16a, S. 598]. In der Unternehmenspraxis muss nicht pro Referenzbeispiel und Abteilung eine Person nominiert werden. Oftmals können die verschiedenen Referenzbeispiele eines spezifischen Moduls von einem Nominierten behandelt werden.

Die definierten Abteilungen je Modul sowie die zugehörigen verschiedenen Referenzbeispiele werden als abschließender Schritt in der Vorbereitungsphase der Tätigkeitsanalysevorlage zugefügt. Ein Beispiel für ein derartiges Formblatt ist in Abbildung 4.10 zu sehen. In den Zeilen der Tätigkeitsanalyse werden die Abteilungen sowie Platzhalter für die variantenabhängigen Teilprozesse dieser Abteilungen aufgeführt. In den Spalten der Tätigkeitsanalyse sind die Referenzbeispiele inklusive der zugehörigen Informationen dargestellt. Pro Referenzbeispiel sind die erwarteten Komplexitätstreiberwerte anzugeben sowie eine kurze Beschreibung und eine Skizze des zugehörigen aktuellen Beispiels sind im Spaltenkopf zuzufügen. Weiterhin ist ein Platzhalter für die initialen Kosten, zur einmaligen Generierung einer solchen neuen Variante, sowie für die wiederkehrenden Kosten, die die jährlichen Betreuungsaufwände der Variante abbilden, vorgesehen [WBHSO16a, S. 598]. Die Tätigkeitsanalyse ist pro Modul aufzubauen, da aufgrund der verschiedenen zu betrachtenden Abteilungen verschiedene Tätigkeitsanalysen zu erwarten sind.

Vorlage der Tätigkeitsanalyse				
		Referenzbeispiele pro Modul		
		Referenzbeispiel 1		...
Variantenabhängige Abteilungen	Variantenabhängige Tätigkeiten (Teilprozesse)	Initialkosten	Wiederkehrende Kosten / Jahr	
Entwicklung	Teilprozess 1 Teilprozess 2 ...	h € ...	h/a €/a
Einkauf				Kostenabschätzung: h: # Personen, Dauer, %uale Arbeitszeit €: Musterkosten, externes Budget, ...
Controlling				
Produktdokumentation				
Qualitätssicherung				
Vertrieb				
Produktion Modul				
Produktion Produkt				
Logistik				

Abbildung 4.10: Vorlage der Tätigkeitsanalyse

Die vorbereitete Tätigkeitsanalyse ist die Basis der Komplexitätsinterviews. Solch ein Interview wird mit jeder nominierten Person durchgeführt. Im ersten Schritt des Interviews werden alle variantenabhängigen Tätigkeiten der gerade betrachteten Abteilung in die Tätigkeitsanalysevorlage eingetragen. Dabei sind sowohl alle Tätigkeiten zur Erzeugung einer neuen Variante, wie auch zur Betreuung dieser über deren Lebenszyklus hinweg von Relevanz. Mit besonderer Sorgfalt sind all diejenigen Tätigkeiten aufzulisten, die durchzuführen sind, falls intermodulare Schnittstellen oder modulare Bauräume anzupassen sind [WBHSO16a, S. 598]. Die monetäre Bewertung dieser Tätigkeiten ist durchzuführen, wenn bei einer späteren Variantenentscheidung eine Verletzung der modularen Designregeln erkennbar ist. Multiplikative Effekte auf andere Module sind mit einem sehr hohen Aufwand verbunden und können nur mit hohen Nutzeneffekten gerechtfertigt werden. Ohne kostenseitige Bewertung ist dies jedoch schwierig. Zur prinzipiellen Bestimmung der variantenabhängigen Tätigkeiten dient das Referenzbeispiel mit der höchsten Komplexität je Modul als Basis. Damit wird sichergestellt, dass alle anfallenden Tätigkeiten genannt werden. Bei Referenzbeispielen mit einer geringeren Komplexität bleiben nicht relevante Tätigkeiten unberücksichtigt.

Nach Auflistung aller Teilprozesse können die verschiedenen Referenzbeispiele hinsichtlich der Aufwände, die bei diesen Tätigkeiten auftreten, bewertet werden. Die Aufwände können zum einen in Arbeitsstunden angegeben werden und dann mittels des Abteilungskostensatzes in monetäre Aufwände umgewandelt werden. Arbeitsstunden werden, wie in Abbildung 4.10 verdeutlicht, bewertet durch die Anzahl der Mitarbeiter, die an dieser Aufgabe für ein bestimmtes Referenzbeispiel arbeiten, der Zeitspanne, über die sie tätig sind, und deren prozentuale Arbeitszeit, mit der sie an diesem Teilprozess beschäftigt sind. Zum anderen sind auch direkte monetäre Angaben möglich. Diese spiegeln beispielsweise Musterkosten oder ein externes Budget wider [WBH-SO16a, S. 598].

Wichtig bei der Durchführung der Komplexitätsinterviews ist, dass diese durch einen neutralen, unvoreingenommenen Variantenverantwortlichen geleitet werden. Einerseits muss dieser garantieren, dass eine möglichst exakte Bewertung durchgeführt wird und dabei alle relevanten Teilprozesse berücksichtigt werden. Andererseits hat der Variantenverantwortliche die Aufgabe sicherzustellen, dass interdisziplinäre Tätigkeiten korrekt, über die verschiedenen beteiligten Abteilungen hinweg, Berücksichtigung finden und Interdependenzen ordnungsgemäß in die Bewertung einfließen [WBH-SO16a, S. 598].

Die Durchführung der Komplexitätsinterviews sollte nicht mittels elektronischen Ausfüllens des Formblatts erfolgen. Vielmehr konnte in einer Vorstudie geprüft werden, dass eine Bewertung auf einer physisch existierenden Vorlage zu deutlich besseren, fundierten Ergebnissen führt. Die Begründung hierfür ist, dass der Interviewteilnehmer durch die direkte elektronische Dokumentation immer die Möglichkeit hatte, die Zahlen anzupassen. Demzufolge wurden oftmals Werte angegeben, die anschließend angepasst wurden. Eine Bewertung mit vorausgegangener, ausreichender Überlegung wurde wiederum bei der physischen Dokumentation erreicht, da die Zahlen nur mittels Durchstreichen geändert werden konnten. So war sichergestellt, dass eine Zahl erst dann eingetragen wurde, wenn man sich bewusst für diese entschieden hatte. Nach dem Interview ist die physische Dokumentation durch den interviewleitenden Variantenverantwortlichen in die elektronische Form zu überführen. Dabei sind

alle Annahmen, die während des Interviews getroffen wurden, mittels Kommentaren zu dokumentieren.

Wurden alle Komplexitätsinterviews abgehandelt, können im letzten Schritt die Komplexitätskosten der einzelnen Referenzbeispiele mittels Gleichung (4.1) berechnet werden.

$$CC(x) = \begin{pmatrix} t_{o,1,x} \\ t_{o,2,x} \\ \dots \\ t_{o,y,x} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_y \end{pmatrix} + \sum_{i=1}^y m_{o,i,x} + \left(\begin{pmatrix} t_{r,1,x} \\ t_{r,2,x} \\ \dots \\ t_{r,y,x} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_y \end{pmatrix} + \sum_{i=1}^y m_{r,i,x} \right) * a_{ml} \quad (4.1)$$

Die Komplexitätskosten $CC(x)$ des Referenzbeispiels x berechnen sich aus der Summe der initialen Aufwände sowie der wiederkehrenden Aufwände über den Modullebenszyklus hinweg. Die einmaligen Komplexitätskosten sind im ersten Teil der Gleichung abgebildet, während die laufenden Komplexitätskosten durch den zweiten Teil der Gleichung berechnet werden. Initiale Komplexitätskosten $t_{o,i,x}$ sind die Summe aller initialen Aufwände in Stunden t der betrachteten Abteilungen i des Referenzbeispiels x . Diese initialen Aufwände werden mit den verschiedenen Abteilungskostensätzen r_i multipliziert. Zu diesen initialen, zeitlichen Aufwänden, umgewandelt in monetäre Größen, werden alle direkten monetären Aufwände $m_{o,i,x}$ der verschiedenen Abteilungen i addiert. Die laufenden Komplexitätskosten $t_{r,i,x}$ sind die Summe aller wiederkehrenden Aufwände in Stunden t der betrachteten Abteilungen i des Referenzbeispiels x . Auch diese werden mit den jeweiligen Abteilungskostensätzen r_i multipliziert, um anschließend die laufenden monetären Aufwände $m_{r,i,x}$ zu addieren. Ergebnis sind die jährlichen laufenden Kosten des Referenzbeispiels x . Zur Bestimmung der Gesamtkomplexitätskosten werden die errechneten jährlichen Komplexitätskosten mit der Dauer des Modullebenszyklus in Jahren a_{ml} multipliziert [WBHSO16a, S. 598].

Ergebnis der Komplexitätskosteninterviews sind die Lebenszykluskomplexitätskosten aller aufgelisteten Referenzbeispiele. Mittels dieser Methodik lassen sich nicht nur die Komplexitätskosten unterschiedlicher Module oder Modulvarianten berechnen, auch die Bewertung neuer Produktvarianten ist möglich.

4.3.3. Erstellung der Strategy-Contribution-Map

Eines der Ziele der modularen Produktarchitektur ist eine hohe Wiederverwendungsrate verschiedener Module und Modulvarianten eines modularen Baukastens. Eine konsequente Betrachtung der strategischen Unternehmensausrichtung bei Variantenentscheidungen kann diese deutlich erhöhen. Beobachtungen aus der Praxis zeigen jedoch, dass die verschiedenen Strategieelemente eines Unternehmens auf der ausführenden Ebene nicht ausreichend bekannt sind. Die Strategy-Contribution-Map kann hier unterstützen [WBO15, S. 1552].

Die Strategy-Contribution-Map erzeugt Transparenz hinsichtlich der strategischen Ausrichtung eines Unternehmens. Weiterhin stellt sie sicher, dass diese Strategieelemente konsequent bei Variantenentscheidungen Berücksichtigung finden und eine konsistente Betrachtung von Bewertung zu Bewertung ermöglicht wird. Es ist nicht möglich, eine standardisierte Strategy-Contribution-Map vorzustellen, da diese unternehmensbezogen aufzubauen ist [WBO15, S. 1553]. Die verschiedenen Schritte zum Aufbau einer unternehmensspezifischen Strategy-Contribution-Map sind in Abbildung 4.11 aufgezeigt.

Zur Erstellung einer Strategy-Contribution-Map sind alle strategischen Elemente eines Unternehmens zu sammeln. Dazu wird ein interdisziplinärer Workshop aufgesetzt. Teilnehmer sind neben dem mittleren Management auch die Verantwortlichen des modularen Produktarchitekturprojektes, des Vertriebes sowie weitere Teilnehmer unterschiedlicher Fachabteilungen. In diesem Team werden die verschiedenen Strategieelemente des Unternehmens diskutiert und die für Variantenbewertungen relevanten Strategieelemente ausgewählt. Grund für diese Teamformation ist, dass alle relevanten strategischen Aspekte über Abteilungsgrenzen hinweg in die Überlegungen einfließen und auch ein abgestimmtes Grundverständnis bei allen Abteilungen herbeigeführt wird [WBO15, S. 1553].

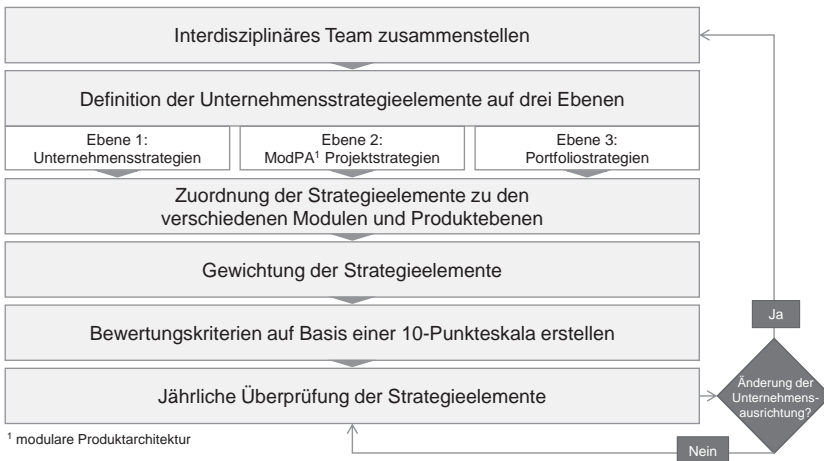


Abbildung 4.11: Erstellung der Strategy-Contribution-Map

Bei der Bestimmung der Strategieelemente sind drei Ebenen mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden zu betrachten. Die generische Unternehmensstrategie bildet die oberste Ebene ab. Diese Strategieelemente werden von der Geschäftsleitung eines Unternehmens definiert. Allerdings können diese zu generisch sein, um bei Variantenentscheidungen regelmäßig Berücksichtigung zu finden. Eine klare Beschreibung dieser Elemente ermöglicht jedoch eine bessere Nutzbarkeit bei Variantenentscheidungen. Auf der zweiten Ebene sind die Ziele und die Motivation der modularen Produktarchitektur zu betrachten. Denn mit der Entscheidung zur Implementierung einer modularen Produktarchitektur sind meist bestimmte Erwartungen verbunden. Weiterhin werden oftmals weitere, zusätzliche Ziele mit der grundlegenden Änderung der Produktarchitektur verknüpft. Diese Strategieelemente sind gleichermaßen innerhalb des Workshops zu diskutieren, aufzulisten und zu erläutern. Auf der dritten Ebene sind die Portfolio- beziehungsweise Variantenstrategieelemente zu untersuchen. Hier muss beispielsweise eine Abstimmung der existierenden mit den geplanten Modulen und Modulvarianten erfolgen. Mit den zu dieser Ebene zugehörigen Strategieelementen soll sichergestellt werden, dass neue Varianten

nur dann entwickelt werden, wenn auch tatsächlich Bedarf besteht und diese keine negativen Auswirkungen auf das Gesamtportfolio haben. Ergebnis dieses zweiten Methodenschrittes ist eine Gesamtaufistung aller strategischen Elemente auf den drei Ebenen sowie eine Erläuterung all dieser Elemente, um ein einheitliches Verständnis zu garantieren [WBO15, S. 1553]. Wichtig ist, dass nur diejenigen Elemente zu berücksichtigen sind, die für Variantenentscheidungen von Relevanz sind. Alle anderen Strategieelemente sind in diesem Zusammenhang nicht weiter zu betrachten.

Die verschiedenen, gelisteten Strategieelemente sind dabei nicht für alle Module oder das Gesamtprodukt gleichermaßen relevant. Hat ein Unternehmen zum Beispiel zum Ziel, zukünftig nur noch Geräte mit einem herausragenden Design anzubieten, so ist dieses Strategieelement für alle Module, die die äußere Erscheinung des Produktes beeinflussen, hervorzuheben. Für Module die innerhalb des Produktes Anwendung finden und äußerlich nicht erkennbar sind, hat dieses Element keine Relevanz. Pro Strategieelement ist somit im dritten Schritt anzugeben, für welche Module oder welche Produktebene dieses Strategieelement bei Variantenentscheidungen zu betrachten ist.

Weiterhin sind nicht alle Strategieelemente gleichermaßen von Bedeutung. Das interdisziplinäre Team muss sich im nächsten Schritt auf eine Gewichtung der verschiedenen Aspekte einigen. Dies hilft zum einen dafür, dass die passenden Strategieelemente für zukünftige Bewertungen besser ausgewählt werden können und zum anderen wird die Möglichkeit für die Berechnung eines gewichteten Durchschnittswertes geschaffen [WBO15, S. 1554]. Zuletzt ist im fünften Schritt eine 10-stufige Bewertungsskala pro Strategieelement anzugeben. Diese Skala ist angelehnt an die ebenfalls 10-stufige Bewertungsskala von Kepner und Tregoe 1991, deren Entscheidungsanalyse auf Basis dieser Skalenform erfolgt [KT91, S. 94 ff.]. Ingenieure sind bereits mit diesem Vorgehen vertraut und damit kann eine bessere Konsistenz von Bewertung zu Bewertung erreicht werden. Mit Vorbereitung der Bewertungsskala ist der Workshop abgeschlossen, als Ergebnis kann die Strategy-Contribution-Map erstellt werden.

Die Ergebnisse des Workshops sind jährlich abzugleichen. Ist erkennbar, dass sich die strategische Unternehmensausrichtung bedeutend geändert hat, so ist der Workshop erneut durchzuführen. Damit wird ein konsequenter Abgleich der aktuellen Unternehmensstrategie mit potentiellen Variantenszenarien ermöglicht [WBO15, S. 1554].

Die im Workshop diskutierten Strategieelemente und die dazugehörigen Erklärungen, Modulrelevanzangaben sowie Gewichtungen sind Grundlage der Strategy-Contribution-Map, welche eine grafische Darstellung der Strategieunterstützung einer zu betrachtenden Variante ist. Aus der Gesamtheit der Strategieelemente sind für die Erzeugung der Grafik pro Strategieebene vier Elemente auszuwählen. Dies macht in Summe 12 Strategieelemente, hinsichtlich derer ein Variantenszenario zu bewerten ist. Diese Anzahl wurde von der traditionellen Balanced Scorecard abgeleitet. Sie erlaubt maximal vier bis sieben zu betrachtende Kriterien pro Perspektive. Begründung ist, dass eine höhere Anzahl an Elementen den Bewertungsaufwand unangemessen ansteigen lässt und die Bewertung darüber hinaus zu kompliziert wird. Eine geringere Anzahl an Elementen führt zu einer unzureichenden Aussagekraft [KN96, S. 68 ff.; WBO15, S. 1554].

Die vier Strategieelemente pro Strategieebene, die bei einer Variantenentscheidung ausgewählt wurden, bilden die Strategy-Contribution-Map, deren grafische Darstellung als Star Plot erfolgt (siehe Abbildung 4.12). Der Star Plot ist ein geeignetes Werkzeug zur Darstellung von multivariaten Datenanalysen. Eine arbiträre Anzahl an darstellbaren Variablen wird mit dieser Darstellung ermöglicht, so dass die insgesamt zwölf abzubildenden Größen problemlos erfassbar sind. Grundvoraussetzung ist, dass den verschiedenen Variablen die gleiche Skala oder zumindest die gleiche Skalenrichtung zugrunde liegt. Somit stellt ein größerer Wert am Rande des Star Plots immer eine bessere Beurteilung gegenüber einem kleineren Wert nahe des Kerns des Star Plots dar [Fri91, S. 1159 ff.; WBO15, S. 1554].

Die Strategy-Contribution-Map spiegelt zwei Werte wider. Zum einen den Nominalwert, welcher die 100%ige Erfüllung aller ausgewählten Strategieelemente eines Szenarios repräsentiert, und zum anderen den Effektivwert, also den tatsächlichen Beitrag eines Variantenszenarios hinsichtlich der zu betrachtenden Strategieelemente. Je näher der Effektiv- am Nominalwert liegt, desto besser ist ein Variantenszenario bewertet. Eine beispielhafte Darstellung ist in Abbildung 4.12 auf der rechten Seite ersichtlich. Die Strategieelemente COS 1-4 repräsentieren die vier Elemente der Unternehmensstrategie, PRS 1-4 die vier Größen der Produktarchitektur sowie POS 1-4 die Portfolio Strategieelemente [WBO15, S. 1554].

Neben der grafischen Visualisierung beinhaltet die Strategy-Contribution-Map eine mathematische Darstellung der Strategieerfüllung der Variantenszenarien. Dazu werden die durchschnittliche Strategieerfüllung \bar{x} , die gewichtete durchschnittliche Strategieerfüllung $\bar{x}_{weighted}$ sowie der Median x_{med} angefügt [WBO15, S. 1554]. Die Vorgehensweise bei der Bewertung und anschließenden grafischen sowie mathematischen Darstellung der Strategieerfüllung wird im folgenden Abschnitt 4.4 erläutert.

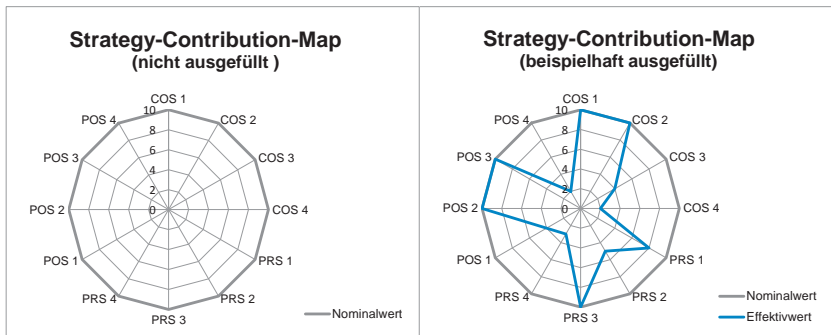


Abbildung 4.12: Strategy-Contribution-Map

4.4. Anwendung der Methodik

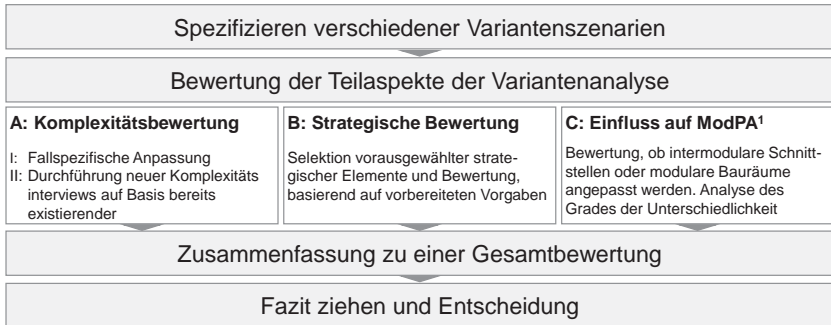
Sind alle Methodenvorleistungen erbracht, so kann die zweite Phase, die Anwendungsphase, eingeleitet werden. In dieser Phase sind die gesammelten und gebündelten Daten Ausgangsbasis für wiederkehrende Variantenentscheidungen. Das genaue Vorgehen der Variantenbewertung sowie der Entscheidungsfindung werden im aktuellen Abschnitt vorgestellt. Die Vorgehensweise der Methodenimplementierung wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert, da dies Kenntnis über die einzelnen Schritte der Methodenanwendung voraussetzt.

Zunächst wird in diesem Abschnitt das Rahmenwerk der Gesamtmethodik und damit die theoretische Vorgehensweise bei Variantenbewertungen vorgestellt. Anschließend werden die einzelnen Schritte bei der Bewertung verschiedener Variantenszenarien erläutert. Abschließend wird dargelegt, wie die einzelnen Teilergebnisse der Methodik zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst werden und wie dieses gedeutet werden kann.

Auch hier kann der im Anhang A.1 skizzierte Gesamtmethodikenaufbau inklusive der Zuordnung zu den einzelnen Kapitelabschnitten und den graphischen Visualisierungen der Methodikenbestandteile herangezogen werden. Dieser Aufbau dient dazu, die einzelnen Methodikenschritte besser in das Gesamtkonzept einordnen zu können. Die rechte Seite dieser Übersicht verlinkt auf die Methodikenanwendung und damit auf die einzelnen Themengebiete dieses Abschnitts.

4.4.1. Rahmenwerk der Gesamtmethodik

Als Grundlage dieses Abschnitts wird die allgemeine Vorgehensweise der Methodenanwendung, basierend auf den Vorleistungen, erläutert. Diese Vorgehensweise spiegelt das Rahmenwerk der Gesamtmethodik wider und ist in Abbildung 4.13 dargestellt. Das Rahmenwerk kann in vier allgemeine Schritte unterteilt werden. Innerhalb des zweiten Schrittes sind die drei Teilaspekte der Variantenanalyse parallel auszuführen.



¹ modulare Produktarchitektur

Abbildung 4.13: Vorgehensweise bei Variantenentscheidungen

Im ersten Schritt wird zunächst die Variantenentscheidung vorbereitet. Dazu werden initial die verschiedenen zu bewertenden Variantenszenarien von einem Variantenverantwortlichen und weiterer, von ihm zu benennenden, Mitarbeiter der einzelnen Fachabteilungen definiert. Die in der Vorleistungsphase initiierten Varianzebenen mit den dazugehörigen Referenzbeispielen sind dabei zu Rate zu ziehen und als Denkanstoß für mögliche Alternativszenarien zu betrachten. Damit wird sichergestellt, dass nicht nur ein einzelnes Variantenszenario berücksichtigt und bevorzugt behandelt wird, sondern verschiedene Möglichkeiten der Weiterentwicklung der modularen Produktarchitektur in Betracht gezogen werden (siehe Abbildung 4.14).

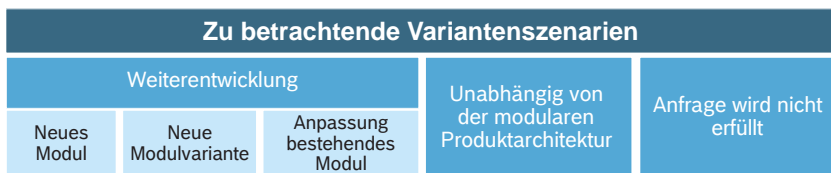


Abbildung 4.14: Szenarien der Weiterentwicklung der modularen Produktarchitektur

Die Methodik sieht vor, dass bis zu fünf verschiedene Variantenszenarien untersucht werden können. Eine größere Anzahl lässt den Bewertungsaufwand unverhältnismäßig ansteigen. Weiterhin steigt die Wahrscheinlichkeit von zu ähnlichen Szenarien bei einer steigenden Anzahl an Alternativszenarien an. Dies erlaubt keine klare Bewertung. Aus diesem Grund sind die verschiedenen zu betrachtenden Szenarien mit Bedacht auszuwählen, wenn möglich qualitativ zu bewerten und unter Umständen bereits vor der eigentlichen Analyse auszusortieren. Wurde final eine Entscheidung für ein spezifisches Szenario getroffen, ist es ein weiteres Ziel, das in der frühen Phase der Produktentwicklung definierte Konzept gesamtheitlich zu optimieren. Aus diesem Grund werden sich ähnelnde Szenarien nur einmal in der Variantenbewertung betrachtet.

Sobald die Alternativszenarien definiert sind, hat der Variantenverantwortliche die Aufgabe, die für eine Variantenbewertung notwendigen Informationen zu sammeln und zur Verfügung zu stellen. Dazu sind zunächst die einzelnen Szenarien zu erläutern und zu skizzieren. Weitere Informationen, wie erwartete direkte Kosten des Szenarios oder, falls nicht bewertbar, erwartete Kostenabweichungen zu den anderen Szenarien sowie erwartete Stückzahlen, sind anzugeben. Zudem ist der Modullebenszyklus zu bestimmen, um die laufenden Komplexitätskosten über den passenden Zeitraum zu den Gesamtkomplexitätskosten zuzurechnen. Pro Variantenszenario ist ein bestehendes Modul oder Produkt anzugeben, welches dem zu betrachtenden Szenario am ähnlichsten ist. Darauf basierend, kann anschließend der Innovationsgrad dieser möglichen neuen Variante bewertet werden. Zuletzt ist zu bestimmen, in wie vielen Produktionsstandorten das Modul produziert und in wie vielen Produktionswerken es in das Produkt eingebaut wird. Diese Angabe ist notwendig, da die Komplexitätskosten in den Bereichen Logistik und Produktion auch von der Anzahl der zu betrachtenden Werke abhängt.

Wurden all diese Informationen angegeben, so kann die Variantenanalyse im zweiten Schritt durchgeführt werden. Dazu sind die drei verschiedenen Teilaspekte der Methodik parallel zu analysieren. Zur Bewertung der Komplexitätskosten ist entweder ein passendes vorbewertetes Referenzbeispiel fall-spezifisch anzupassen oder, falls dieses nicht zur Verfügung steht, mittels der

Komplexitätsinterview-Vorgehensweise, auf Basis der angegebenen Abteilungen und Tätigkeiten, eine neue Abschätzung durchzuführen. Gleichzeitig ist eine strategische Bewertung dieser potentiellen Varianten vorzunehmen. Dazu werden aus den vorbereiteten Strategieelementen insgesamt zwölf zu bewertende Elemente ausgewählt und die Erfüllung des jeweiligen Elements durch das betrachtete Szenario bewertet. Als dritter Teilaspekt ist pro Variantenszenario zu bewerten, ob intermodulare Schnittstellen oder modulare Bauräume angepasst werden müssen. Weiterhin ist der Grad der Unterschiedlichkeit zu der im ersten Schritt angegebenen ähnlichsten existierenden Variante zu bestimmen, um somit Kommunalitäten über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg sicherzustellen.

Im dritten Schritt werden die Ergebnisse der einzelnen Teilaspekte zu einem Gesamtergebnis aggregiert und in einem Cockpit Chart dargestellt. Aus diesem wird final im vierten Schritt eine Schlussfolgerung abgeleitet, so dass auf Basis vollständiger Informationen eine Variantenentscheidung gefällt werden kann. Der Variantenverantwortliche kann mittels der Verwendung dieser Methodik sicherstellen, dass getroffene Entscheidungen vorteilhaft für die Unternehmenskomplexität sind und die modulare Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg nachhaltig stabil gehalten wird. Denn eine Verletzung der modularen Designregeln kann die Stabilität in Gefahr bringen. Diese Inkompatibilität wird mittels der Methodik jedoch klar kommuniziert und somit bewusst in Kauf genommen.

4.4.2. Variantenbewertung

Sind alle notwendigen Eingangsgrößen für eine Variantenentscheidung vorbereitet, so kann die eigentliche Variantenbewertung mittels der VM_{ahead} Methodik durchgeführt werden. Wie im vorangegangenen Abschnitt in Abbildung 4.13 visualisiert, gliedert sich die Variantenanalyse in drei parallele Teilschritte: Die Komplexitätsbewertung, die Bewertung des Strategiebeitrages sowie die Analyse des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur.

A: Komplexitätsbewertung

Zunächst wird das Vorgehen zur Bewertung von Komplexitätskosten verschiedener Variantenszenarien erläutert. Dazu wurden im ersten Methodenschritt, der initialen Spezifizierung der Variantenszenarien, mögliche Konzepte aufgelistet, mittels derer eine bestimmte Variantenanfrage erfüllt werden kann. Basierend auf diesen Informationen kann das für diese Entscheidungssituation zu betrachtende Modul ausgewählt und der Modullebenszyklus angegeben werden. Eine detaillierte Variantenanalyse sollte nur dann durchgeführt werden, wenn die zu betrachtenden Module als für ein Variantenmanagement relevant aufgeführt sind. Diese Liste wurde in der ersten Phase der Methodik mittels des Rahmenwerkes der Komplexitätsbewertung erstellt. In besonderen Ausnahmefällen kann jedoch auch für ein nicht gelistetes Modul eine Komplexitätskostenanalyse durchgeführt werden. Damit sind prinzipiell drei verschiedene Vorgehensweisen möglich (siehe Abbildung 4.15 - eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben), welche je nach zu betrachtendem Modul und spezifischem Fallbeispiel zu wählen sind.

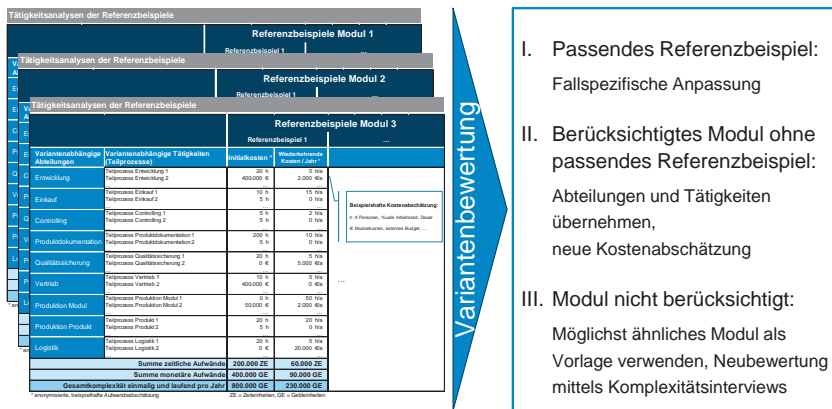


Abbildung 4.15: Komplexitätsbewertung neuer Variantenszenarien

Datengrundlage dieses Methodenschrittes bilden die mittels Komplexitätsinterviews vorbereiteten Referenzbeispiele der verschiedenen, für ein Variantenmanagement relevanten, Module. Ist das betroffene Modul des aktuell zu betrachtenden Variantenszenarios als relevant aufgeführt, so ist Vorgehensweise eins oder zwei zu wählen. Ist das Modul nicht angegeben, so ist der dritte Ansatz zu verwenden (siehe Abbildung 4.15).

Standardansatz der Methodik ist die erste Vorgehensweise. Zur Bestimmung der Komplexitätskosten des zu betrachtenden Szenarios, ist nach den Referenzbeispielen des betrachteten Moduls zu filtern und ein möglichst ähnliches Beispiel auszuwählen. Dieses wird anschließend fallspezifisch angepasst. Die Entwicklungsaufwände sind dabei immer detailliert zu betrachten, da diese sehr unterschiedlich sein können und einen sehr großen Anteil an der Gesamtkomplexität ausmachen. Dazu können die hinterlegten Annahmen der einzelnen Tätigkeitsabschätzungen zu Rate gezogen werden. Die Komplexität in den Abteilungen Produktion, Logistik und Einkauf ist stark teileinduziert. Die Hinterlegung der Teileabhängigkeit in Formeln ermöglicht eine einfache, automatisierte Anpassung. Regeln für die Anpassung der anderen Unternehmensbereiche sind unternehmensspezifisch vorzugeben. Eine detaillierte Auswertung der gesamten Referenzbeispiele dient als Datenbasis. Weiterhin bilden die angegebenen Komplexitätstreiberwerte, wie beispielsweise die erwartete Anzahl an Neuteilen oder der Platzbedarf des Szenarios, einen Indikator für weitere mögliche Anpassungen. Die Methodik sieht vorrangig die Komplexitätsbewertung gelisteter Module vor.

Ist das aktuell betrachtete Modul zwar für eine Verwendung des Variantenmanagements gelistet, jedoch kein passendes Referenzbeispiel vorhanden, so ist der zweite Ansatz der Komplexitätsbewertung zu wählen. Dieser sieht eine teilweise Neubewertung mittels Komplexitätsinterviews vor. Dazu ist zunächst vom Variantenverantwortlichen das Referenzbeispiel auszuwählen, das aus technischer Sicht dem zu betrachtenden Szenario am nächsten kommt. Eine komplette Neubewertung der Entwicklungsaufwände, auf Basis der vorgegebenen Tätigkeiten, ist durchzuführen. Dies kann mit demjenigen Experten durchgeführt werden, der bereits bei der Analyse der Referenzbeispiele mitgewirkt

hat. Die stark teileinduzierten Abteilungen, wie Produktion, Logistik sowie Einkauf, benötigen dabei keine komplette Neubewertung. Vielmehr dient der Automatismus zur Anpassung der Aufwände auf Basis von Neuteilen als erste Grundlage. Anschließend kann der Variantenverantwortliche, basierend auf den in der Methodik hinterlegten Anmerkungen, die zusätzlich notwendigen Adaptionen durchführen. Abteilungen, die modulspezifisch aber fallneutral in der Vorleistungsphase bewertet wurden, sind nicht weiter zu betrachten.

In Ausnahmefällen bietet die Methodik die Möglichkeit, ein Variantenszenario zu bewerten, dessen zugehöriges Modul als nicht relevant gelistet wurde. Hier ist zunächst eines der gelisteten Module auszuwählen, welches dem zu Betrachtenden aus technischer Sicht am ähnlichsten ist. So ist für ein Strukturmodul ein ebenfalls rein mechanisches Modul, und nicht ein Elektronikmodul, zu wählen. Anschließend können die für das Referenzmodul definierten Abteilungen sowie Tätigkeiten als Ansatzpunkt für ein neues, in allen Abteilungen durchzuführendes Komplexitätsinterview dienen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Tätigkeiten unter Umständen zu vervollständigen oder zu kürzen sind. Die zu befragenden Experten sind in den meisten Fällen neu zu bestimmen. Da eine Neubewertung im Vergleich zu einer fallspezifischen Anpassung eines existierenden Referenzbeispiels mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden ist, sollte dies nur dann durchgeführt werden, wenn abschätzbar ist, dass der Erkenntnisgewinn dieser Bewertung höher als der Aufwand zur Durchführung ist. Mit der Auflistung aller relevanten Module für ein Variantenmanagement wurde jedoch bereits in Betracht gezogen, wann dies der Fall ist und dementsprechend ist sorgfältig abzuwägen, für welchen Fall eine Ausnahme zulässig ist.

Ergebnis bei allen drei Vorgehensweisen der Komplexitätsanalyse sind die initialen Kosten zur Erzeugung einer neuen Variante und die jährlichen, wiederkehrenden Kosten einer Variante während der Serienbetreuung. Mit diesen Werten und dem angegebenen Modullebenszyklus können mittels Gleichung (4.1) die Lebenszyklus-Komplexitätskosten eines Variantenszenarios bestimmt werden. Ob diese als Gesamtsumme übernommen werden oder zu Komplexitätskosten pro Stück, durch Division mit dem erwarteten

Gesamtvolumen, heruntergebrochen werden, ist dem Variantenverantwortlichen freigestellt. Anschließend sind diesen Kosten die erwarteten Vorteile gegenüberzustellen. Dazu sind die erwarteten zusätzlichen Erlöse oder die mit dieser neuen Variante verbundenen Kosteneinsparungen im Vergleich zu bestehenden, teureren Lösungen zu bestimmen. Sind all diese Informationen verfügbar, ist die Bewertung des ersten Teilaspektes abgeschlossen.

B: Strategische Bewertung

Parallel zur Komplexitätskostenanalyse ist die strategische Ausrichtung der verschiedenen Variantenszenarien zu bewerten. Das genaue Vorgehen ist in Abbildung 4.16 ersichtlich (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Zunächst sind die in der Vorleistungsphase der Methodik ermittelten Strategieelemente nach ihrer Relevanz hinsichtlich des zu betrachtenden Moduls zu sortieren. Dies erleichtert die Auswahl von insgesamt zwölf zu bewertenden Strategieelementen, da nur noch diese Elemente stehen bleiben, die für das aktuell zu bewertende Modul von Bedeutung sind. Ist diese Vorsortierung erfolgt, kann die Bewertung durchgeführt werden.

Dazu sind zunächst vier, für diese Variantenentscheidung relevante, Strategieelemente für jede der drei Strategieebenen - Unternehmen, Produktarchitekturprojekt sowie Portfolio - auszuwählen. Die vorbereitete Gewichtung der einzelnen Elemente dient als Hilfestellung. Sind für die aktuelle Variantenentscheidung spezielle Kriterien von Bedeutung, so können bis zu drei eigene Strategieelemente, also je ein Element pro Strategieebene, hinzugefügt werden. In Abbildung 4.16 war dies nicht der Fall und nur vordefinierte Strategieelemente sind ausgewählt. Die Bewertungsvorlage sieht bereits einen Platzhalter für solche individuellen Strategieelemente vor. Wurden die insgesamt zwölf Elemente von dem Variantenverantwortlichen und Vertriebsmitarbeitern ausgewählt, sind diese in die Bewertungsvorlage zu übertragen (siehe Abbildung 4.16). Neben dem Namen der ausgewählten Strategieelemente werden die zugehörige Beschreibung, Gewichtung sowie die vordefinierten Bewertungskriterien ebenfalls in diese Vorlage übernommen.



Abbildung 4.16: Strategische Bewertung neuer Variantenszenarien

Mit Hilfe eines Auswahlmenüs können anschließend die einzelnen Variantenszenarien hinsichtlich ihrer strategischen Ausrichtung bewertet werden. Die Bewertungskriterien der vorgegebenen 10-stufigen Skala dienen dabei als Richtlinie. Werte von 0-4 bedeuten prinzipiell, dass dieses Variantenszenario ein Strategieelement negativ bestimmt. Der Wert 5 zeigt, dass dieses Szenario auf die Strategien des Unternehmens weder positiven noch negativen Einfluss hat. Wird ein Szenario mit den Werten 6-10 bewertet, so deutet dies darauf hin, dass mit diesem Szenario die strategische Ausrichtung positiv beeinflusst wird. Getroffene Annahmen bei der Bewertung sind dabei zwingend zu dokumentieren, um eine spätere Nachvollziehbarkeit zu ermöglichen. Zur Verdeutlichung der Strategiebeeinflussung werden die Zahlenwerte wie folgt farblich hinterlegt: Werte von 0-4 werden rot hinterlegt, Werte von 6-10 grün und der neutrale Wert 5 mit gelb. So ist ein einfacher Vergleich der verschiedenen Szenarien möglich, wie in Darstellung 4.16 ersichtlich.

Anschließend wird die Bewertung der Strategiebeeinflussung eines Variantenszenarios in die Strategy-Contribution-Map übernommen. Diese Grafik dient dem späteren Gesamtvergleich der einzelnen Variantenszenarien. Neben dieser grafischen Darstellung ist eine mathematische Analyse durchzuführen, die ebenfalls in der Gesamtbewertung wiedergegeben wird. Dazu sind der arithmetische Mittelwert, der gewichtete arithmetische Mittelwert sowie der Median zu berechnen. Prinzipiell dient das arithmetische Mittel als Grundlage

eines Szenarienvergleiches. Sind sich diese Werte sehr ähnlich, ist eine Rangfolge jedoch nur schwer zu bestimmen und die beiden weiteren Größen sind zu Rate zu ziehen. Das gewichtete arithmetische Mittel berücksichtigt die Relevanz der einzelnen Strategieelemente. So fließt der Wert einer für ein Unternehmen wichtigeren Strategie stärker in die Gesamtbewertung ein, als der eines untergeordneten Strategieelementes. Der Median verdeutlicht, ob die strategische Beeinflussung der einzelnen Elemente in Summe eher positiv oder negativ ist, indem der mittlere Wert der einzelnen Elemente dargestellt wird. Damit können Bewertungsunterschiede aufgezeigt werden [WBO15, S. 1534]. Auf Basis der grafischen wie auch mathematischen Bewertung der Strategiebeeinflussung kann abgeschätzt werden, ob das neue Modul- oder Modulvariantenkonzept zur Umsetzung der Unternehmensstrategie beiträgt und damit in Zukunft die Möglichkeit einer Wiederverwendung gegeben ist oder die Wahrscheinlichkeit einer Folgenutzung eher gering ist.

C: Einfluss auf die modulare Produktarchitektur:

Neben den Komplexitätskosten und der strategischen Beeinflussung ist parallel der Einfluss der Variantenszenarien auf die modulare Produktarchitektur abzuschätzen. Ziel dieser Bewertung ist es, eine nachhaltig stabile modulare Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg sicherzustellen. Dazu ist eine Analyse der Einhaltung der modularen Designregeln sowie des Grades der Varianz innerhalb der Methodik vorgesehen. Die modularen Designregeln werden hinsichtlich Schnittstellenänderungen und Anpassungen der modularen Bauräume bewertet. Der Grad der Varianz gibt an, inwieweit sich eine neue Variante von bestehenden Varianten unterscheidet. Neue Module, Modulvarianten sowie Produkte sollten nur dann eingeführt werden, wenn diese für den Kunden eine klare Differenzierung zum bestehenden Portfolio bieten. Andernfalls hat eine Variantenanfrage einen internen Grund und ist im Sinne der Komplexitätsreduzierung zu vermeiden. Das Vorgehen bei der Bewertung des Einflusses neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur ist in Abbildung 4.17 dargestellt (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben).

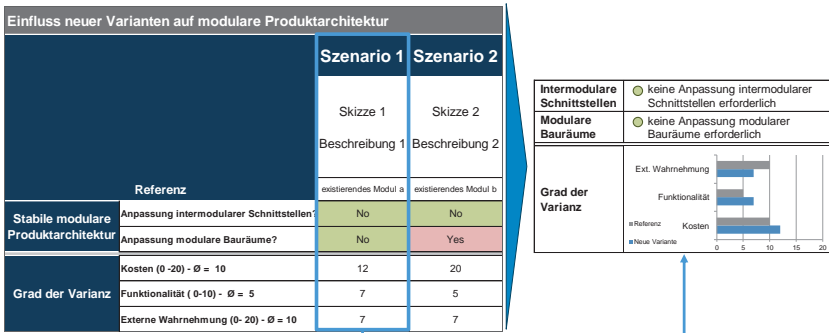


Abbildung 4.17: Einfluss neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur

Zur Bewertung werden die verschiedenen Szenarien zur Weiterentwicklung der modularen Produktarchitektur nebeneinander gestellt und hinsichtlich der drei genannten Kriterien bewertet. Dazu sieht die Methodik vor, die in der Vorbereitung der Variantenentscheidung vorgegebenen Informationen in diesen Bewertungsaspekt zu übernehmen. Relevant ist die Beschreibung und Skizzierung der Szenarien zur Bewertung der modularen Designregeln sowie das ebenfalls definierte, existierende Referenzmodul zur Analyse des Grades der Varianz.

Zunächst ist die Stabilität der modularen Produktarchitektur zu bewerten. Dazu hat der Variantenverantwortliche als Aufgabe, zu bestimmen, ob ein betrachtetes Szenario mit den modularen Designregeln kompatibel ist. Mittels der Design Structure Matrix (DSM), vorgestellt in Abschnitt 3.4, kann eine Verletzung der intermodularen Schnittstellen geprüft werden. Die DSM dokumentiert, welche Module miteinander in Verbindung stehen - also intermodulare Schnittstellen haben - und wie die Ausprägung dieser Schnittstellen aussieht. Basierend darauf lässt sich bewerten, ob diese anzupassen sind. Dazu sind die Werte 'nein' und 'ja' im Auswahlménü der Methodik zu wählen. Anschließend ist eine potentielle Verletzung der modularen Bauräume zu bewerten. Dazu können bestehende CAD-Zeichnungen existierender Module herangezogen werden, um eine mögliche Anpassung der vorgegebenen Dimensionen abzuschätzen. Auch hier ist mittels eines Auswahlménüs eine einfache Bewertung mit 'nein' und 'ja' in der Methodik vorgesehen (siehe Abbildung 4.17).

Neben den modularen Designregeln bewertet dieser Methodenschritt den Grad der Varianz. Dazu werden die bestehenden Variantenszenarien anhand der Kriterien Funktion, Kosten sowie externe Wahrnehmung hinsichtlich ihrer Unterscheidung zu dem existierenden Referenzmodul verglichen. Die drei Kriterien sind auf einer Skala von 1-10 zu bewerten. Der Wert 5 sagt aus, dass sich das neue Variantenszenario von dem existierenden Referenzbeispiel nicht unterscheidet. Die Werte 1-4 zeigen auf, dass das Variantenszenario weniger vorteilhaft ist, also höhere Kosten, eine geringere Funktionalität oder eine negativere externe Wahrnehmung aufweist. Die Werte 6-10 deuten darauf hin, dass die potentielle neue Variante besser als das angegebene Referenzmodul ist und demnach geringere Kosten, eine höhere Funktionalität oder eine positivere externe Kundenwahrnehmung aufzeigt. Die Werte werden mittels eines Balkendiagramms visualisiert, wobei das Referenzmodul jeweils mit dem neutralen Wert 5 dargestellt wird. Sind ein oder zwei Kriterien von einer höheren Bedeutung, so ist die Bewertung auch auf einer 20-stufigen Skala möglich. Der neutrale Wert ist in diesem Fall bei 10 angesetzt.

In dem Beispiel in Abbildung 4.17 sind die Kriterien externe Wahrnehmung sowie Kosten von höherer Wichtigkeit als das Kriterium Funktion. Sie sind dementsprechend höher skaliert worden. Die externe Wahrnehmung des Szenarios 1 ist in diesem Beispiel geringer bewertet als die des Referenzbeispiels und dementsprechend wird diese Variante vom Kunden als suboptimal wahrgenommen. Weiterhin ist die neue Variante hinsichtlich Funktionalität und Kosten vorteilhafter als die bestehende und somit positiv zu bewerten. Die externe Wahrnehmung und die Kosten wurden gleichermaßen hochskaliert, jedoch gegenteilig bewertet. Die externe Wahrnehmung ist dabei etwas schlechter bewertet, als die Kosten vergleichsweise besser bewertet sind. Diese Effekte kompensiert die normalskalierte Bewertung der Funktionalität. In Summe ist dieses Variantenszenario damit hinsichtlich des Grades der Varianz als neutral zu bewerten. Die niedrigeren Kosten bei gleichzeitig höherer Funktionalität werden vom Kunden als nachteilig wahrgenommen. Derartige Varianten sind zu vermeiden.

Sind alle drei Teilaspekte der Variantenbewertung, also die Komplexitätsbewertung, die strategische Bewertung wie auch der Einfluss auf die modulare Produktarchitektur, analysiert, können die Teilresultate zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst werden. Nachdem ein Fazit gezogen wurde, kann die Entscheidung für eines der Szenarien getroffen werden. Die Vorgehensweise zur Erstellung eines Cockpit Charts und die anschließende Entscheidung werden im nachfolgenden Abschnitt behandelt.

4.4.3. Ergebniszusammenfassung und Fazit

Sind die drei Teilaspekte der Variantenbewertung analysiert worden, können diese zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst werden. Dazu werden in einem Cockpit Chart die Einzelergebnisse der verschiedenen Variantenszenarien, unter Einbeziehung aller relevanten Teilaspekte, zusammengestellt. Für einen besseren Überblick wird nur das Endergebnis pro Teilaspekt wiedergegeben. Eine schematische Zusammenführung der Teilergebnisse ist in Abbildung 4.18 dargestellt (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben).

In das Cockpit Chart werden zur besseren Übersicht lediglich die initialen und laufenden Komplexitätskosten, die Gesamtkomplexitätskosten in Abhängig-

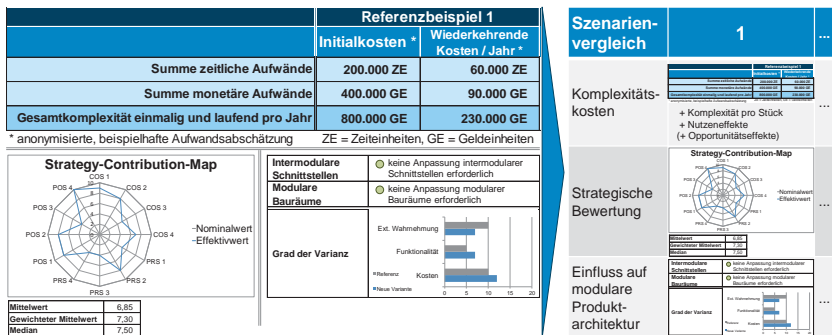


Abbildung 4.18: Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart

keit des Modullebenszyklus sowie die Komplexitätskosten pro Stück übernommen. Zu den Komplexitätskostenaspekten werden zusätzlich die Nutzeneffekte neuer Varianten oder, falls dies nicht möglich ist, erwartete Opportunitätskosten angeführt. Ebenso wird nicht die komplette Analyse des strategischen Einflusses der Szenarien in die Gesamtbewertung aufgenommen. Übertragen wird nur die grafische Darstellung in Form der Strategy-Contribution-Map sowie die mathematische Repräsentation mittels (gewichteter) Mittelwert und Median. Der Einfluss eines neuen Variantenszenarios auf die modulare Produktarchitektur wird zum einen in Form einer Ampeldarstellung wiedergegeben, die mit den Farben rot, grün oder gelb angibt, ob die modularen Designregeln verletzt werden. Zum anderen gibt ein Balkendiagramm den Grad der Varianz im Vergleich zu einer Referenzvariante an.

Auf Basis des Cockpit Charts kann anschließend ein geeignetes Variantenszenario ausgewählt werden. Dabei muss eine Entscheidung innerhalb des Spannungsfeldes Kosten, Zukunftsfähigkeit sowie Beständigkeit getroffen werden, wie in Abbildung 4.19 dargestellt. Hat sich ein Unternehmen dazu verpflichtet, dass neue Module und Modulvarianten den initial definierten modularen Designregeln folgen müssen, so können bereits alle Szenarien als irrelevant markiert werden, die mit einer roten Ampel bei einem der beiden Kriterien angeführt sind. Möchte ein Unternehmen jedoch ein möglichst flexibles System, so kann es unter Umständen erlaubt sein, die intermodularen Schnitt-

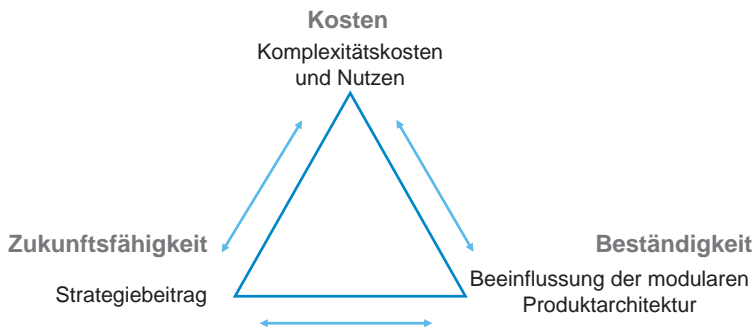


Abbildung 4.19: Spannungsfeld der Variantenbewertung

stellen oder modularen Bauräume anzupassen. Hier muss jedoch sichergestellt werden, dass bei einer oder zwei roten Ampeln die korrespondierenden Komplexitätskosten, aufgrund einer Anpassung der benachbarten Module, bewertet wurden. Sind verletzte modulare Designregeln kein Ausschlusskriterium neuer Varianten, so muss zwischen den drei Aspekten Kosten, also Komplexitätskosten wie auch Nutzeneffekten, Zukunftsfähigkeit, also der Bewertung des Strategiebeitrages, sowie Beständigkeit, und damit des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur, abgewogen werden.

Die Methodik bietet durch Analyse dieser drei Aspekte die Basis, alle relevanten Gesichtspunkte für Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien zu bemessen. Basierend auf transparenten Informationen kann anschließend eine Entscheidung für oder gegen diverse Variantenkonzepte gefällt werden. Welches der drei Kriterien des Spannungsfeldes der Variantenbewertung bei solch einer Entscheidung letztlich überwiegt, ist unternehmens- und fallspezifisch zu diskutieren.

4.5. Methodenimplementierung

Thema der Forschungsfrage F0 ist, wie eine Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien in der Gebrauchsgüterindustrie operationalisiert werden kann. Neben dem Ziel einer möglichst wirtschaftlichen Methodenanwendung, also die Schaffung eines hohen Nutzens der Ergebnisse mit einem geringen Aufwand der Anwendung, spielt die Implementierung in der Unternehmenspraxis eine wichtige Rolle. Da sich die Methodik aus verschiedenen Bausteinen zusammensetzt, ist es von besonderer Wichtigkeit, eine leicht zu handhabende Anwendung mittels einer IT-Unterstützung zu ermöglichen. Die Methodik stellt dabei keine besonderen Ansprüche an notwendige Software. Vielmehr soll eine Implementierung in der Entwicklungsumgebung Visual Basic für Applikationen (VBA) in Kombination mit Microsoft Excel die Anwendbarkeit auch in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) ermöglichen, falls diese nicht über ein Budget für aufwändige Softwareanwendungen verfügen.

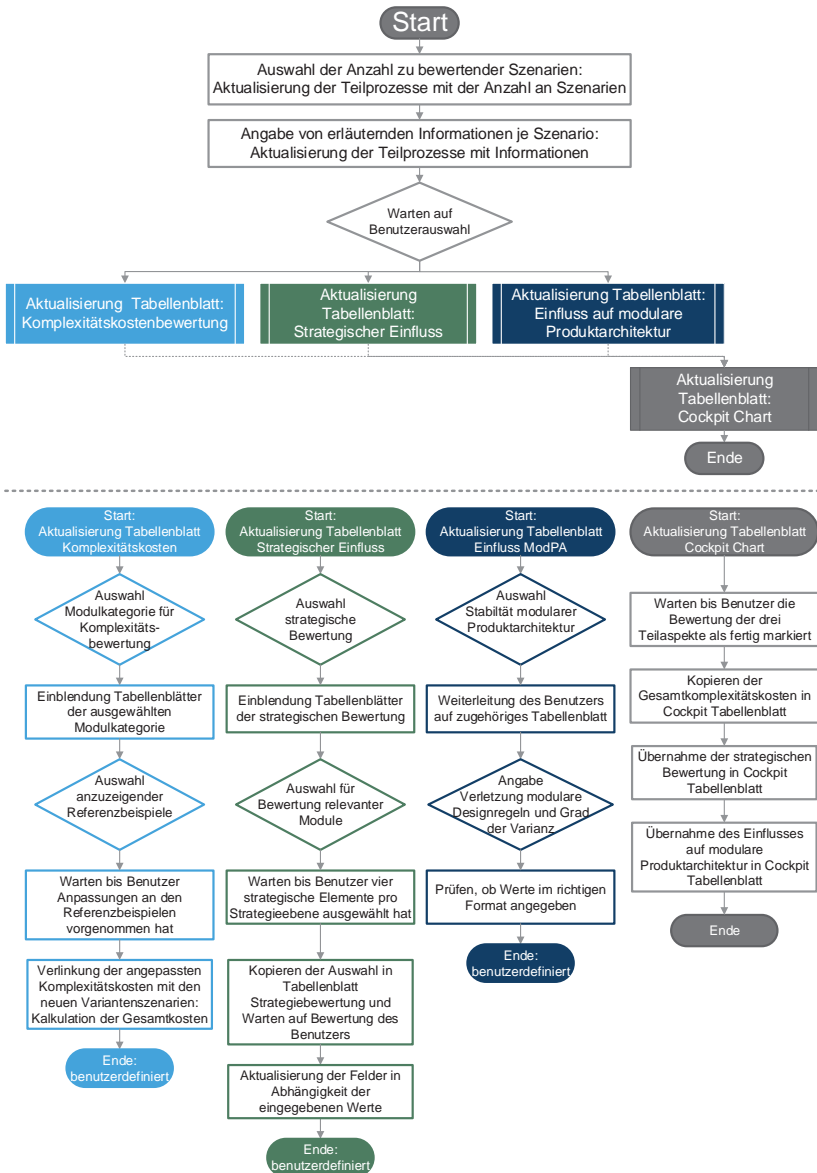


Abbildung 4.20: Flussdiagramm der Methodenimplementierung

Die Methodenimplementierung muss dabei die drei zunächst losgelösten Teilaspekte Komplexitätsbewertung, strategischer Einfluss sowie Einfluss auf die modulare Produktarchitektur berücksichtigen. Zielzustand ist eine transparente Gesamtbewertung zur einfachen Entscheidungsfindung. Ein Flussdiagramm, welches die Methodenimplementierung mit Microsoft Excel darstellt, ist in Abbildung 4.20 visualisiert. Der obere Teil der Grafik zeigt die einzelnen Schritte der Gesamtmethodik auf. Der untere Teil des Flussdiagramms spiegelt die einzelnen Teilprozesse innerhalb der Gesamtmethodik wider.

Kern der mittels VBA programmierten Methodenimplementierung sowie erster Berührungspunkt eines Anwenders mit der Methodik ist die Eingabemaske, welche in Abbildung 4.21 dargestellt ist (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Die Eingabemaske dient neben der initialen Dateneingabe dazu, den Benutzer durch die einzelnen Methodenschritte zu führen. Die Eingabemaske erlaubt es, den Anwender durch die einzelnen Teilaspekte der Bewertungsmethodik zu leiten und deren Bearbeitungsstand zu visualisieren. Damit ist die Eingabemaske das zentrale Element der Gesamtbewertung und Basis der oberen Hälfte des Flussdiagramms. Daneben sieht die Methodenimplementierung die Bewertung von drei Teilaspekten und einer anschließenden Ergebniszusammenfassung in einem Cockpit Chart vor. Die Implementierung dieser insgesamt vier Teilprozessschritte ist im unteren Bereich des Flussdiagramms wiedergegeben. Die Implementierung der Methodik ist in Englisch durchzuführen, damit sichergestellt werden kann, dass eine weltweite Verwendung unterstützt wird. Für den Fall, dass nur eine Sprache im Unternehmen vorherrschend ist, kann die Methodik auch in der jeweiligen Sprache aufgebaut werden.

In der Eingabemaske muss der Benutzer zunächst die Anzahl der zu betrachtenden Variantenszenarien auswählen und dies bestätigen. Das Programm passt anschließend die Eingabemaske sowie alle anderen Bewertungsblätter und das Cockpit Chart an die Anzahl der Szenarien an. Per Default ist ein einzelnes Szenario vorgegeben, welches Minimum für eine Variantenbewertung ist. Maximal kann der Benutzer fünf Szenarien auswählen, da andernfalls der Bewertungsaufwand zu hoch und der Erkenntnisgewinn bei der Analyse ähnlicher Szenarien unzureichend ist.

Variant Management - Scenario Description & Start of Assessment	
Select total amount of scenarios	1 ▾
<p>Please specify the different variant scenarios and update all relevant information below</p> <p>Afterwards press:</p> <p>Update scenarios</p>	Scenario 1:
	<p>Finalized? Press "Ready" at corresponding excel sheets</p> <p>Update Cockpit Sheet</p>
<p>Complexity costs</p> <p>Select sheet <input type="text" value="Please choose"/> ▾ <- Go to</p>	<input type="checkbox"/>
<p>Strategic evaluation</p> <p>Select sheet <input type="text" value="Strategies Collection"/> ▾ <- Go to</p>	<input type="checkbox"/>
<p>Maintaining ModPA</p> <p>Select sheet <input type="text" value="Maintaining mod. Prod"/> ▾ <- Go to</p>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 4.21: Eingabemaske Methodik

Nachdem die zu betrachtende Anzahl an Szenarien aktualisiert wurde, wird der Methodenanwender gebeten, die einzelnen Szenarien mit einer kurzen Beschreibung und einer Skizze zu versehen und die angefragten Informationen zur Verfügung zu stellen. Ist der Anwender damit fertig, kann mit einem Klick auf 'Update scenarios' dem Programm signalisiert werden, dass alle notwendigen Informationen angegeben sind und diese Daten in die anderen Bewertungsblätter übernommen sowie in den weiteren relevanten Programmstellen

hinterlegt werden können. Anschließend wartet das Programm, bis der Benutzer mit der Bewertung fortfährt.

In der Eingabemaske hat der Nutzer die Möglichkeit, sich auf die Bewertungsblätter der einzelnen Teilaspekte leiten zu lassen. Vielmehr ist für ihn auch ersichtlich, ob eine einzelne Teilbewertung bereits abgeschlossen ist, das heißt mit einem Haken versehen ist, oder noch bearbeitet werden muss. Wurde die Bewertung der drei geforderten Teilaspekte abgeschlossen, kann der Anwender ein Cockpit Chart erstellen lassen. Mit der Erstellung dieser Ergebnisübersicht ist die Methodenanwendung abgeschlossen. Die Implementierung mittels VBA in Kombination mit Excel bietet zudem die Möglichkeit, einen Zwischenstand zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt mit der Analyse fortzufahren.

Neben der Implementierung des Methodenrahmenwerkes, der dazugehörigen Unterstützung bei der Informationsbereitstellung und der Überwachung der Durchführung der einzelnen Teilbewertungen ist die detaillierte Analyse der Teilaspekte ebenfalls Bestandteil der Methodenimplementierung. Dabei kann der Benutzer frei wählen, mit welchem der drei Punkte er beginnen möchte. Er kann diesen Teilaspekt während der Bearbeitung zwischenspeichern und mit einem anderen Teilaspekt fortfahren.

A: Komplexitätsbewertung

Zunächst wird die systemseitige Unterstützung der Komplexitätsbewertung vorgestellt. Diese ist in Abbildung 4.22 visualisiert (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Basis der Komplexitätsbewertung ist eine fallspezifische Anpassung bereits vorbewerteter Referenzbeispiele aller für ein Variantenmanagement relevanter Module. Diese Referenzbeispiele sind in ausgeblendeten Tabellenblättern der Excel-Datei hinterlegt. Um diese, für den Benutzer zunächst nicht sichtbaren, Tabellenblätter verwenden zu können, kann innerhalb der Eingabemaske ausgewählt werden, welches Modul für den Benutzer relevant ist. Anschließend wird der Benutzer durch Bestätigung eines Buttons auf das zugehörige Tabellenblatt weitergeleitet. Dazu wird der Anwender nicht direkt zu den vorbewerteten

Referenzbeispielen geleitet, sondern zunächst auf eine kurze Erklärungsseite. Hier hat er weiterhin die Möglichkeit auszuwählen, ob alle Referenzbeispiele eingeblendet werden sollen oder aber nur eine Teilauswahl.

Sobald die vorbereiteten Referenzbeispiele sichtbar sind, kann der Nutzer eine fallspezifische Anpassung vornehmen und damit ein bestehendes Referenzbeispiel an die Gegebenheiten des aktuellen Szenarios anpassen.

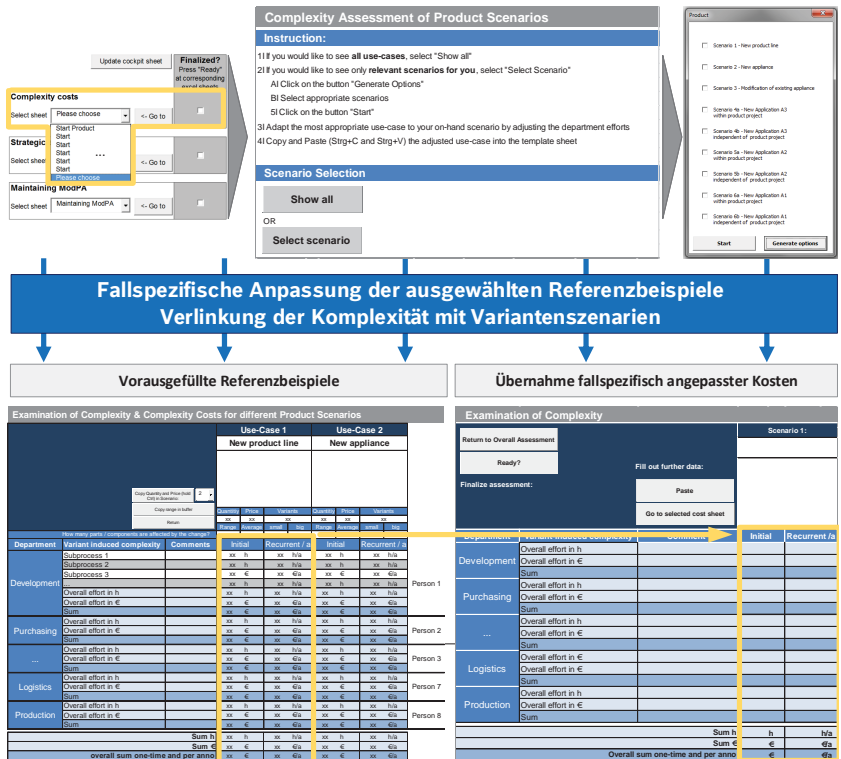


Abbildung 4.22: Implementierung der Komplexitätsbewertung

Dabei werden die in der Eingabemaske angegebenen Informationen bezüglich erwarteter Komplexitätstreiberwerte bereits in die Referenzbeispiele übernommen und automatisch aktualisiert. Wurden die fallspezifischen Anpassungen der Referenzbeispiele abgeschlossen, können die Ergebnisse der einzelnen Abteilungen mittels eines Buttons in den Zwischenspeicher kopiert werden. Anschließend kann sich der Nutzer, ebenfalls über einen Button, auf das Tabellenblatt der eigentlichen Komplexitätsbewertung der aktuell zu betrachtenden Szenarien leiten lassen. Hier kann er mit einem weiteren Button die Werte einfügen. Hat der Anwender die Komplexitätsbewertung finalisiert, kann er dies im zugehörigen Tabellenblatt vermerken. In der Eingabemaske wird hinter diesem Teilaspekt ein Haken gesetzt. Es besteht zudem immer die Möglichkeit, die Bewertung zu einem späteren Zeitpunkt nochmals anzusehen und zu ändern. Der Methodenanwender kann also auch ohne Fertigstellung zur Eingabemaske zurückkehren. In diesem Fall ist noch kein Haken hinter dem Teilaspekt gesetzt.

B: Strategische Bewertung

Auch bei der Bewertung des strategischen Einflusses verschiedener Variantenszenarien sind die notwendigen Tabellenblätter mit den aufgelisteten Strategieelementen zunächst ausgeblendet. Sobald der Methodenanwender mit der Bewertung dieses Teilaspektes beginnt, kann er sich mittels Klick auf den zugehörigen Button der Eingabemaske zu den entsprechenden Bewertungsbereichen leiten lassen. Dieser erste Schritt und das weitere Vorgehen ist in Abbildung 4.23 abgebildet (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Zunächst wird der Benutzer, wie auch bereits bei der Komplexitätsbewertung, auf eine Seite mit Erläuterungen geführt. Neben der Beschreibung der weiteren Vorgehensweise zur Bewertung des strategischen Einflusses neuer Varianten auf das Unternehmen kann ausgewählt werden, ob alle gelisteten Strategieelemente angezeigt werden sollen oder nur die für ein bestimmtes Modul relevanten. Je nach Auswahl werden mittels Buttonklick die gewünschten Strategieelemente der drei verschiedenen Strategieebenen inklusive Erklärungen, Gewichtung sowie Bewertungsschema angezeigt.

Durch einen Klick auf ausgewählte Strategieelemente können diese in die Bewertungsdatei der aktuellen Variantenszenarien übertragen werden. Dabei können je Strategieebene maximal 4 Elemente ausgewählt werden, andernfalls reagiert das Programm mit einer Fehlermeldung. Sofern alle insgesamt zwölf Kriterien zur Bewertung des strategischen Einflusses ausgewählt wurden, kann sich der Anwender mittels eines Buttons auf das eigentliche Bewertungstabellenblatt führen lassen. In diesem sind alle ausgewählten zwölf Strategieelemente, ihre zugehörige Beschreibung, ihre Gewichtung sowie die Bewertungskriterien aufgelistet. Die in der Eingabemaske definierten Variantenkonzepte sind ebenfalls angegeben. Anschließend kann für jedes Szenario eine Bewertung der verschiedenen Strategieelemente auf einer Skala von 1-10 vorgenommen werden. Sobald ein Wert in die vorgesehenen Felder eingetragen wurde, färbt sich dieses je nach Eingabewert mit rot (1-4), gelb (5) oder grün (6-10). Mittels der Kommentarfunktion können Annahmen für ein späteres, besseres Verständnis hinterlegt werden. Auch hier ist es möglich, die Bewertung zu unterbrechen. Falls dies nicht notwendig ist und die Bewertung

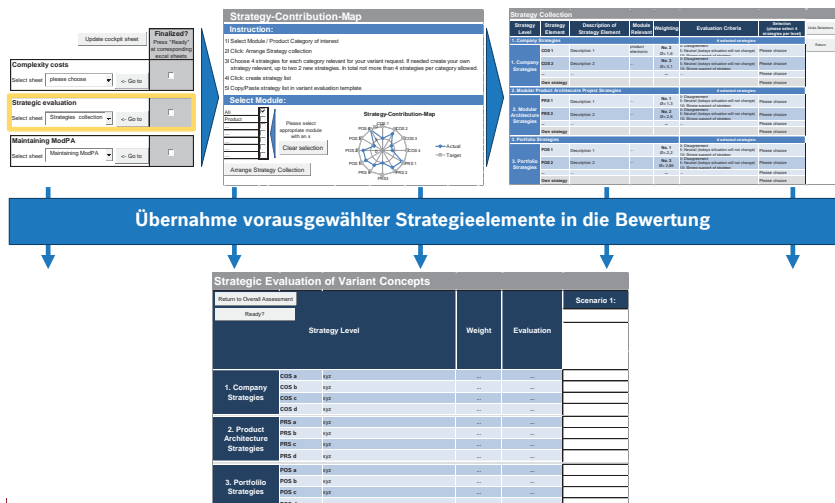


Abbildung 4.23: Implementierung der strategischen Bewertung

abgeschlossen wurde, kann der Benutzer dies angeben und wird wieder auf die Eingabemaske zurückgeleitet. Dort ist dann ein Haken bei der Fertigstellung der strategischen Bewertung gesetzt.

C: Einfluss auf die modulare Produktarchitektur:

Drittes und letztes Kriterium der Methodenbewertung ist der Einfluss neuer Variantenszenarien auf die modulare Produktarchitektur. Hier sieht die Methode keine unternehmensspezifischen Vorleistungen vor. Dementsprechend wird der Methodenanwender unmittelbar durch einen Klick auf diesen Teilaspekt zur Variantenkonzeptbewertung weitergeleitet (siehe Abbildung 4.24 - eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Auch hier sind die in der Eingabemaske definierten Konzepte wiedergegeben. Diese sind hinsichtlich der in der Methodik definierten Kriterien und demnach mit Blick auf die modularen Designregeln sowie den Grad der Varianz zu analysieren. Wie auch bei den anderen zwei Teilaspekten kann der Benutzer die Bewertung unterbrechen oder mittels Klick als abgeschlossen markieren und zur Eingabemaske zurückkehren.

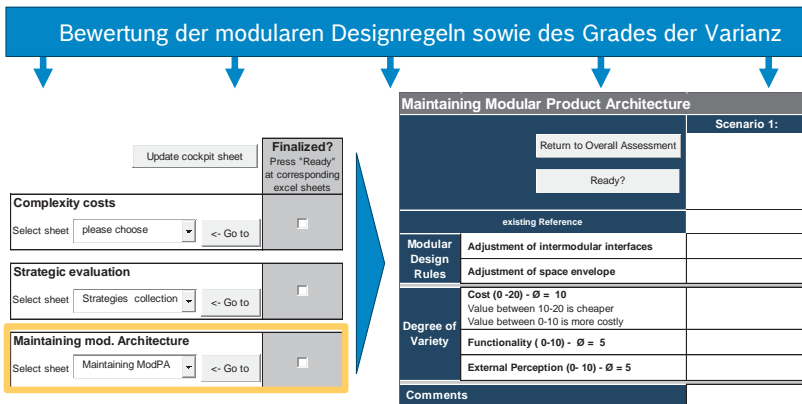


Abbildung 4.24: Implementierung der Auswirkungen auf modulare Struktur

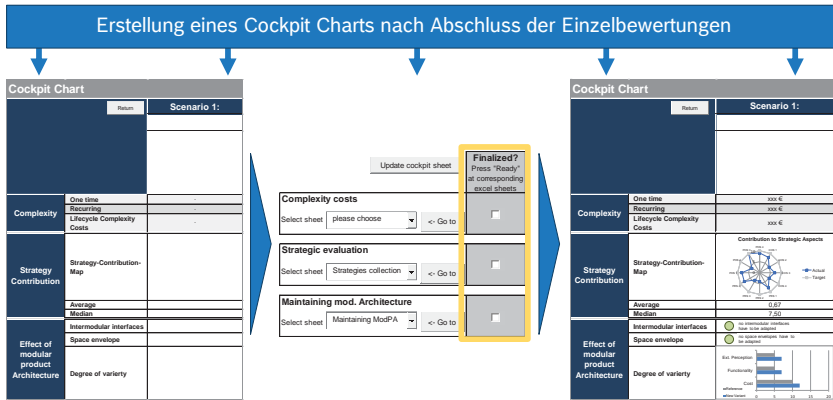


Abbildung 4.25: Implementierung des Cockpit Charts

D: Cockpit Chart:

Wurden alle drei Teilaspekte vom Methodenanwender als 'vollständig analysiert' markiert, kann das Cockpit Chart erstellt werden. Dieses wird bereits mit der Eingabe der Variantenkonzepte als leeres Tabellenblatt erstellt und durch Klick auf den Button 'Update Cockpit Chart' in der Eingabemaske mit den Ergebnissen der einzelnen Bewertungsaspekte befüllt (siehe Abbildung 4.25 - eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Gleichzeitig wird der Benutzer auf das Cockpit Chart geführt. Basierend auf dieser vollständigen und transparenten Gesamtübersicht kann eine Entscheidung getroffen werden. Mit der Erstellung des Cockpit Charts ist gleichermaßen die Methodik abgeschlossen, was im Flussdiagramm visualisiert ist.

4.6. Zusammenfassung

Im Rahmen des Kapitels 4 wurde eine neue Methodik für ein holistisches Variantenmanagement modularer Produktfamilien, die VM_{ahead} Methodik,

vorgestellt. Ziel der Methodik ist es, eine nachhaltig stabile modulare Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg sicherzustellen, indem nur solche neuen Variantenkonzepte weiter verfolgt werden, die vorteilhaft für die interne Unternehmenskomplexität sind und gleichermaßen die modularen Designregeln berücksichtigen. Zunächst wurden die Grundlagen der Methodik vorgestellt. Dazu wurde die Methodik in der frühen Phase des Modulentstehungsprozesses positioniert und der beteiligte Personenkreis der Methodik präsentiert.

Anschließend konnte der allgemeine Aufbau der Methodik vorgestellt werden, der sich in zwei Phasen unterteilt. Zunächst in die erste Phase, in der die Vorleistungen der Methodik erarbeitet werden. Dazu werden möglichst viele relevante Daten für eine spätere Variantenbewertung initial gesammelt und aggregiert. Diese Daten können in der zweiten Methodenphase, in welcher mittels der Methodik wiederkehrende Variantenentscheidungen unterstützt werden, Verwendung finden. Um alle für die Vorleistungsphase relevanten Informationen sammeln zu können, wurde zunächst das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung vorgestellt und die Durchführung erläutert. Weiterhin wurden die Vorgehensweise zur Sicherstellung der modularen Designregeln sowie die Vorgehensweise zur Bewertung der Strategieelemente und damit zu einer Verbesserung der Wiederverwendungsrate von Modulen und Modulvarianten aufgezeigt.

Nachdem die Grundlagen der Methodik vorgestellt wurden, wurden im anschließenden Abschnitt die einzelnen Schritte zur Erarbeitung der Vorleistungen der Methodik aufgeführt. Die Vorleistungsphase untergliedert sich dabei in drei größere Teilaspekte. Zunächst sind Referenzbeispiele möglicher zukünftiger Variantenkonzepte zu definieren, welche hinsichtlich ihrer Komplexität zu bewerten sind und mittels fallspezifischer Anpassung bei den wiederkehrenden Variantenentscheidungen zu Rate gezogen werden können. Weiterhin wurde der Teilaspekt der Komplexitätsbewertung mittels Komplexitätsinterviews präsentiert. Zuletzt wurde die Erstellung der Strategy-Contribution-Map veranschaulicht.

Basierend auf den Vorleistungen der Methodik wurde im darauffolgenden Abschnitt die Anwendung der Methodik aufgezeigt. Hierzu wurde zunächst das Rahmenwerk der Gesamtbewertung vorgestellt und das vereinfachte Verfahren der Komplexitätsbewertung auf Basis vorbewerteter Referenzbeispiele erläutert. Weiterhin wurde die Vorgehensweise der Ergebniszusammenfassung skizziert und thematisiert. Wie diese Ergebnisse für eine abschließende Entscheidung einzuordnen sind, wurde ebenfalls aufgezeigt.

Zum Ende des Kapitels wurden die Vorbereitungen zur Methodenimplementierung dargelegt. Die Implementierung ist mittels VBA in Kombination mit Excel vorgesehen. Dies dient zur einfachen Operationalisierung der Methodik in der Industriepraxis.

Nachdem in diesem Kapitel die VM_{ahead} Methodik allgemein vorgestellt wurde, wird die Methodik im nachfolgenden Abschnitt 5 an einem Fallbeispiel aus der Heizungsindustrie validiert.

5. Validierung der Methodik

Im vorangegangenen Kapitel 4 wurde eine neue Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien, die VM_{ahead} Methodik, vorgestellt. Mittels einer konsequenten Bewertung der kostenseitigen Auswirkungen verschiedener Variantenszenarien, einer Analyse der strategischen Beeinflussung der Szenarien sowie einer Analyse der Einflüsse auf die modulare Produktarchitektur dieser Szenarien soll eine nachhaltig stabile modulare Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg ermöglicht werden.

Diese vorgestellte Methodik gilt es im aktuellen Kapitel 5 zu validieren. Eine Verifikation der Methodik ist aufgrund des mittelfristigen Betrachtungshorizontes der Studie nicht möglich. Die Verifikation der mittels Komplexitätsinterviews berechneten Komplexitätskosten kann beispielsweise erst mit Ende des Modul- oder Produktlebenszyklus erfolgen und ist damit frühestens nach mehreren Jahren durchführbar. Die Validierung der Methodik, die speziell auf die Gebrauchsgüterindustrie zugeschnitten ist, wird an einem Fallbeispiel aus der Heizungsbranche durchgeführt.

Bevor die Validierung vorgestellt werden kann, wird zunächst die in der Einleitung dieser Arbeit herausgestellte Problemstellung wiedergegeben. Auf Grundlage dieser werden die Aufgabenstellung und die daraus resultierenden Erfolgsfaktoren der Methodik sowie die grundlegenden Eigenschaften der Methodik abgeleitet, welche Bestandteil der Forschungsfragen sind. Basierend darauf können die Prüfungshypothesen der Validierung in Abschnitt 5.1 deduziert werden.

Anschließend kann in Abschnitt 5.2 das Validierungsdesign vorgestellt werden. Dazu werden zunächst das verwendete Forschungsdesign und der dazu-

gehörige Validierungsplan erörtert. Anschließend wird die Vorgehensweise der Datensammlung erläutert und die verwendeten Fragebögen werden vorgestellt. Weiterhin wird in Abschnitt 5.3 die Fallstudie präsentiert.

Die eigentliche Validierung wird in zwei Schritte unterteilt, um die zwei Phasen der Methodik abzudecken. Dazu werden erst in Abschnitt 5.4 die Vorleistungen der Methodik validiert. Bestandteil ist die Validierung der Erstellung von Referenzbeispielen, die Validierung von Komplexitätsinterviews sowie die Validierung der Strategy-Contribution-Map. Anschließend wird die Validierung der Anwendung dieser Methodik in Abschnitt 5.5 besprochen. Bestandteil dieses Abschnitts ist die Validierung einer Variantenbewertung, gefolgt von der Validierung einer auf der Methodik basierenden Variantenentscheidung.

5.1. Aufgaben und Thesen der Methodik

In der Einleitung dieser Arbeit wurde die Problemstellung herausgearbeitet. Sie zeigt auf, dass für eine nachhaltig stabile ('gepflegte') modulare Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg ein geeignetes Kontrollinstrument zur Beherrschung der Variantenvielfalt gefordert ist. Basierend auf einer ausführlichen Literaturrecherche konnte in Kapitel 3 aufgezeigt werden, dass keine der bestehenden Methoden und Studien aus der Wissenschaft allen Anforderungen, die an solch ein Kontrollinstrument gestellt werden, gerecht wird und dementsprechend eine neue Methodik gefordert ist. Auf Grundlage dieser Problemstellung lässt sich die Aufgabenstellung der neuen VM_{ahead} Methodik herleiten.

Aufgabenstellung der Methodik:

Die Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien soll die Nutzungs- und auch Implementierungsphase modularer Strukturen bei der Auswahl geeigneter Variantenkonzepte unterstützen. Ziel ist die Sicherstellung einer nachhaltig stabilen modularen Produktarchitektur mit einem effizienten Verhältnis von externer zu interner Varianz.

Bei näherer Betrachtung der Aufgabenstellung ist ersichtlich, dass für die Methodik verschiedene Erfolgsfaktoren eine Rolle spielen, welche nachfolgend aufgeführt sind.

Erfolgsfaktoren der Methodik:

● **Nachhaltigkeit:**

Sicherstellung, dass die modularen Designregeln bei Variantenentscheidungen berücksichtigt werden und die Auswirkungen einer möglichen Verletzung dieser Regeln transparent dargestellt sind.

● **Interne Varianz:**

Ziel ist, die interne Varianz, vor allem auf Konzeptebene, optimal zu gestalten. Grundlage bildet eine Bewertung der Auswirkungen der entstehenden Komplexität neuer Varianten.

● **Externe Varianz:**

Ziel ist, die externe Varianz nicht zu beschränken. Die Kosten der Komplexität müssen mit dem Nutzen zusätzlicher externer Vielfalt abgeglichen werden.

● **Szenarioanalyse:**

Konsequente Bewertung verschiedener Konzepte und Szenarien bei Variantenentscheidungen und Vergleich derselben. Basierend darauf ist eine Bestimmung des optimalen Szenarios zur Weiterentwicklung der modularen Produktfamilie möglich.

● **Ganzheitliche Betrachtung:**

Sicherstellung, dass alle relevanten Aspekte bei Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien berücksichtigt werden. Diese sind: Komplexität und ihre Kosten, strategische Elemente sowie Auswirkungen auf die modulare Produktarchitektur.

● **Modularisierung:**

Anforderungen und Erfolgsfaktoren der modularen Produktarchitektur werden bei Variantenentscheidungen berücksichtigt.

Die Anforderungen, die hinsichtlich der Charakteristika modularer Produktarchitekturen zu berücksichtigen sind, sind von besonderer Bedeutung für eine neue Methodik. Diese neue Methodik eines Variantenmanagements soll dabei vor allem Entscheidungen neuer Module und Modulvarianten betrachten, Produktentscheidungen sind zweitrangig. Weiterhin sind sowohl einmalige als auch laufende Komplexitätskosten von Bedeutung. Zur Berechnung der Gesamtkomplexität ist der Modullebenszyklus zu berücksichtigen. Charakteristikum der Modularisierung ist die Wiederverwendung von Modulen und Modulvarianten in verschiedenen Produkten, was ebenfalls bei einer Methodik zu berücksichtigen ist. Die Sicherstellung der modularen Designregeln über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg ist von oberster Priorität und wurde deswegen bereits separat unter der Erfolgsgröße 'Nachhaltigkeit' betrachtet. Ebenso sind eine konsequente Berücksichtigung verschiedener Szenarien und die Auswahl eines optimalen Szenarios vorteilhaft für die Weiterentwicklung der modularen Produktarchitektur, was ebenfalls separat mittels des Erfolgsfaktors 'Szenarioanalyse' aufgelistet ist.

Neben den Erfolgsfaktoren der Methodik können aus den Forschungsfragen weitere, grundlegende Eigenschaften der Methodik abgeleitet werden.

Grundlegende Eigenschaften der Methodik:

- Die Methodik kann bereits in der sehr frühen Phase der Modul- und Produktentwicklung, ohne ausgearbeitetes Konzept, angewandt werden.
- Die Vorgehensweise, die verwendeten Visualisierungswerkzeuge und das Bewertungsverfahren sind leicht nachvollziehbar und gut verständlich.
- Die Methodik ist so aufgebaut, dass eine Vergleichbarkeit bei gleichzeitiger Bewertung verschiedener Szenarien und bei aufeinanderfolgenden Variantenentscheidungen gegeben ist.
- Das Bewertungsverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung von Variantenszenarien modularer Produktfamilien bei geringem Erhebungsaufwand erforderlicher Daten.

Die Methodik sollte bereits in der sehr frühen Phase der Produktentwicklung, ohne im Detail ausgearbeiteter Konzepte, anwendbar sein. Begründung ist, dass in dieser Phase das größtmögliche Einsparpotential vorhanden ist. Weiterhin sollten die Vorgehensweise, die verwendeten Visualisierungswerkzeuge und das Bewertungsverfahren leicht nachvollziehbar und gut verständlich sein, um eine möglichst hohe Akzeptanz in der Industriepraxis zu erreichen. Dabei sollte die Methodik so aufgebaut sein, dass eine Vergleichbarkeit bei der gleichzeitigen Bewertung verschiedener Szenarien und bei aufeinanderfolgenden Variantenentscheidungen gegeben ist. Grundgedanke der Methodik ist, dass das Bewertungsverfahren eine aussagekräftige und transparente Bewertung von Variantenszenarien modularer Produktfamilien bei geringem Erhebungsaufwand der notwendigen Daten ermöglicht.

Aus den Erfolgsfaktoren der Methodik sowie den grundlegenden Eigenschaften der Methodik können die Prüfungshypothesen der Validierung abgeleitet und damit die Hypothesen der Problemstellung der Arbeit konkludiert werden. Zunächst ist zu prüfen, ob die Methodik die Nutzungsphase der modularen Produktarchitektur unterstützen kann und ob die modulare Struktur hinsichtlich interner Komplexität vorteilhaft weiterentwickelt wird. Dieser Aspekt ist in Hypothese 1 zusammengefasst.

H1: *Die Methodik unterstützt die Nutzungsphase modularer Produktfamilien bei Variantenentscheidungen mit dem Ziel, ein effizientes Verhältnis aus interner zu externer Varianz dauerhaft sicherzustellen.*

Weiterhin wird Prüfungshypothese 2 aufgestellt, um zu testen, ob die Methodik den Charakteristika modularer Produktarchitekturen gerecht wird und speziell bei dieser Art der Produktarchitektur anwendbar ist.

H2: *Die Methodik ist auf modulare Produktarchitekturen zugeschnitten und die Charakteristika modularer Produktfamilien werden explizit berücksichtigt.*

Daneben ist eine Methodik gefordert, die es ermöglicht, mit einem geringen Bewertungsaufwand eine fundierte Variantenentscheidung zu ermögli-

chen. Auf Basis von Prüfungshypothese 3 ist zu prüfen, ob die vorgestellte Methodik dieser Anforderung gerecht wird.

H3: *Das Bewertungsverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung neuer Module und Modulvarianten bei geringem Erhebungsaufwand der notwendigen Daten und schafft dabei größtmögliche Transparenz bei der Bewertung. Grundlage bildet ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der Komplexitätskosten neuer Varianten.*

In der Validierung der Methodik ist weiterhin zu prüfen, ob die Vorgehensweise sowie die Bewertungsergebnisse verständlich und auch im Nachhinein leicht nachvollziehbar sind. Diese zu prüfende Anforderung wird mittels Hypothese 4 aufgestellt.

H4: *Die Vorgehensweise und das Bewertungsverfahren sind leicht nachvollziehbar und verständlich.*

Da die Methodik zum Ziel hat, eine nachhaltig stabile modulare Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg sicherzustellen, ist eine Kompatibilität neuer Variantenszenarien mit den modularen Designregeln von besonderer Bedeutung. Auf Grundlage von Hypothese 5 soll die strikte Bewertung und transparente Darstellung einer etwaigen Verletzung dieser validiert werden.

H5: *Die Nachhaltigkeit der modularen Struktur wird durch Bewertung der Auswirkungen neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur sichergestellt. Etwaige Verletzungen der modularen Designregeln werden bewertet und transparent dargestellt.*

Neben einer möglichen Verletzung der modularen Designregeln, hat die neue Methodik ebenso alle weiteren relevanten Aspekte bei Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien zu berücksichtigen. Dazu zählen die Sicherstellung von Kommunalitäten über die Lebensdauer der modularen Produktarchitektur hinweg sowie eine hohe Wiederverwendungsrate der Module und Modulvarianten. Die Erfüllung dieser Anforderungen untersucht Hypothese 6.

H6: *Die Methodik führt zu einer gesamtheitlichen Betrachtung neuer Varianten, indem sichergestellt wird, dass alle relevanten Aspekte bei Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien berücksichtigt werden.*

Dabei sollten mittels der neuen Methodik nicht einzelne Variantenkonzepte bewertet, sondern vielmehr sollte ein Vergleich verschiedener Szenarien zur Weiterentwicklung der modularen Produktarchitektur ermöglicht werden. Aus diesem Grund ist eine Unterstützung zur Generierung diverser Konzepte notwendig. Dabei sollte eine ausreichende Informationsbasis hinsichtlich der einzelnen Konzepte aufgebaut werden, so dass ein Vergleich dieser ermöglicht wird. Die Sicherstellung dieser Anforderung ist in Prüfungshypothese 7 beschrieben.

H7: *Eine Szenarioanalyse wird durch eine konsequente Bewertung verschiedener Konzepte und Szenarien und einem anschließenden Vergleich selbiger erreicht. Die Auswahl des optimalen Szenarios kann durch die Methodik unterstützt werden. Dabei ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch die Methodik sichergestellt.*

Abschließend ist festzuhalten, dass die Methodik in der sehr frühen Phase der Entwicklung anzuwenden ist. Auf Basis von Hypothese 8 ist zu untersuchen, ob die Methodik, trotz der in dieser Phase geringen Informationsdichte der einzelnen Konzepte, dennoch eine ausreichende Datenbasis für eine Variantenentscheidung aufbauen kann.

H8: *Die Methodik ist so aufgebaut, dass sie bereits in der sehr frühen Phase der Entwicklung angewandt werden kann und damit zu einem größtmöglichen Einsparpotential führt.*

5.2. Validierungsdesign

Nachdem im vorausgegangenen Abschnitt die verschiedenen Prüfungshypothesen der Validierung dargestellt wurden, kann nun das Validierungsdesign

vorgestellt werden. Hierzu wird zunächst das anzuwendende Forschungsdesign präsentiert und auf dieser Basis der Validierungsplan erläutert. Anschließend kann die Vorgehensweise der Datensammlung aufgezeigt werden. Ein Teil der Daten wird dabei mittels eines Fragebogens aggregiert, welcher ebenfalls in diesem Abschnitt beschrieben wird.

5.2.1. Forschungsdesign

Die verschiedenen vorgestellten Prüfungshypothesen sind aus der an die Methodik gestellte Aufgabenstellung abgeleitet worden. Auf dieser Basis kann ein passendes Forschungsdesign ausgewählt werden. Zur Auswahl eines geeigneten Designs hat Yin (2014) einen Kriterienkatalog erstellt, mittels dessen eine für die aktuelle Forschungsarbeit zugeschnittene Forschungsmethode bestimmt werden kann. Die Vorgehensweise zur Auswahl des Forschungsdesigns ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

Nach Yin (2014) ist zunächst die Struktur der Forschungsfrage zu klären. Basierend auf den vorgestellten Prüfungshypothesen zielt die hier zu betrachtende Forschungsfrage auf die Fragen „Wie“ und „Warum“ ab und ist damit von erklärender Form. Es werden die Fragen gestellt: „Wie“ gut ist die Methodik und „warum“ führt sie zu einer Verbesserung? Für die Beantwortung dieser Forschungsfragen können die Forschungsmethoden Experiment, historische Analyse sowie Fallstudie angewandt werden.

Methodik	(1) Struktur der Forschungsfrage	(2) Kontrolle der Verhaltensweisen erforderlich?	(3) Fokus auf aktuellen Vorgängen?
Experiment	Wie, Warum?	Ja	Ja
Umfrage	Wer, Was, Wo, Wie viele, Wie viel?	Nein	Ja
Archivforschung	Wer, Was, Wo, Wie viele, Wie viel?	Nein	Ja / Nein
Historische Analyse	Wie, Warum?	Nein	Nein
Fallstudie	Wie, Warum?	Nein	Ja

Abbildung 5.1: Auswahl des Forschungsdesigns [Yin14, S. 9]

In Folge ist zu klären, ob die Durchführung des Studienfalls zu kontrollieren ist, oder ob dieser realitätsnah mit unvorhersehbaren Ereignissen ausgeübt werden kann. Die vorliegenden Prüfungshypothesen lassen auf eine praxisbezogene Überprüfung schließen, die Validierung sollte möglichst realistisch sein. Eine Kontrolle des Studienfalls ist weder notwendig, noch gewollt. Als mögliche Methoden verbleiben die historische Analyse sowie die Fallstudie.

Abschließend ist nach der Kategorisierung von Yin (2014) zu bestimmen, ob sich der Studienfall auf vergangene oder zukünftige Ereignisse konzentriert. Die zu validierende Methodik ist aus einer Forschungslücke neu entstanden. Aufgrund des Innovationsgrades liegen keine Ereignisse und Daten vor, so dass eine neue Studie durchzuführen ist. Demnach bleibt die Fallstudie als einziges geeignetes Forschungsdesign übrig.

Nachdem die Fallstudie als Methode zur Validierung ausgewählt wurde, ist das passende Fallstudiendesign zu wählen. Es sind prinzipiell zwei Arten von Fallstudien möglich, die Einzelfallstudie oder die Mehrfachfallstudie [Yin14, S. 18; Kip12, S. 132]. Bewertungskriterien zur Auswahl der geeigneten Fallstudienarten wurden von Kipp (2012) zusammengetragen und sind in Abbildung 5.2 dargestellt.

Forschungsmethoden zur Validierung	Bewertungskriterien				
	Praxisbezug des Studienfalls	Praxisbezug des Studienumfelds	Absicherung Ergebnisse (Kontrollgruppe / statistisch)	Generalisierbarkeit der Ergebnisse	Realisierbarkeit (Verfügbarkeit)
Einzelfallstudie anhand eines Beispiels aus der Praxis	●	●	○	◐	●
Mehrfache Fallstudien anhand von Beispielen aus der Praxis	●	●	◐	●	○

● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt

Abbildung 5.2: Auswahl des Fallstudiendesigns [Kip12, S. 132]

In puncto Praxisbezug des Studienfalls, wie auch des Studienumfeldes, erfüllen die Einzelfallstudie sowie die Mehrfachfallstudie diese Forderungen gleichermaßen, hier ist keine Unterscheidung vorzunehmen. Eine Absicherung der Ergebnisse wird jedoch mit der Einzelfallstudie nicht und mit der Mehrfachfallstudie nur teilweise ermöglicht, denn nur diese gleicht die Prüfungshypothesen mit unterschiedlichen Fällen ab. Daraus folgt, dass die Mehrfachfallstudie eine Generalisierbarkeit der Ergebnisse zur Folge hat. Die Einzelfallstudie erfüllt die Generalisierbarkeit nur teilweise, da die Methodik an nur einem Fall getestet wird und lediglich theoretisch auf andere Fälle übertragbar ist. Weiterhin ist die Verfügbarkeit passender realer Fälle in der gewünschten Qualität nur bedingt gegeben. Dementsprechend ist die Realisierbarkeit der Validierung in einem angemessenen Zeitrahmen nur für die Einzelfallstudie gegeben. Die Mehrfachfallstudie führt zu einem längeren Validierungszeitraum, welcher im Rahmen einer Dissertation nur bedingt berücksichtigt werden kann.

Die Validierung der VM_{ahead} Methodik wird als Fallstudie durchgeführt. Dabei dient eine Einzelfallstudie mit einem Beispiel aus der Praxis als Datengrundlage, da diese den besten Kompromiss aus Realisierbarkeit der Validierung und Generalisierbarkeit der Ergebnisse bietet.

Die Validierung selbst, auf Grundlage einer Einzelfallstudie, wird in zwei Schritten durchgeführt. Zunächst werden die Vorleistungsphase der Methodik und anschließend die Anwendungsphase der Methodik validiert. Dabei wird für beide Validierungsschritte dieselbe Fallstudie zugrunde gelegt. Begründung hierfür ist, dass die Nutzung der Methodik erst dann validiert werden kann, wenn die in der vorgelagerten Phase aggregierten Vorleistungen durchgeführt wurden.

5.2.2. Vorgehensweise bei der Datensammlung

Für die Validierung eines Studienfalls mittels einer Einzelfallstudie existieren diverse Möglichkeiten der Datensammlung. Diese sind in Abbildung 5.3 dargestellt.

Beweisquelle	Stärken	Schwächen
Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Gleichbleibend</i> - wiederkehrende Untersuchung möglich • <i>Unauffällig</i> - nicht als Ergebnis einer Fallstudie entwickelt • <i>Konkret</i> - kann exakte Namen, Bezüge und Details einer Veranstaltung enthalten • <i>Umfassend</i> - schließt große Zeitspanne, viele Veranstaltungen und wechselndes Umfeld mit ein 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Auffindbarkeit</i> - Datensätze zu finden kann sich als schwierig erweisen • Stichprobenverzerrung, falls Erfassung unvollständig • <i>Verzerrung bei Berichterstattung</i> - spiegelt (unbewusste) Voreingenommenheit des Verfassers wider • <i>Zugänglichkeit</i> - könnte vorsätzlich zurückgehalten werden
Archivmaterial	<ul style="list-style-type: none"> • [wie bei Dokumentation angeführt] • Präzise und meistens quantitativ 	<ul style="list-style-type: none"> • [wie bei Dokumentation angeführt] • Verfügbarkeit aufgrund Datenschutzes
Interviews	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Zielgerichtet</i> - zielt direkt auf Fallstudieninhalte ab • <i>Aufschlussreich</i> - liefert Erklärungen sowie persönliche Sichtweisen (z.B. Empfindungen, Einstellungen und Wahrnehmungen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Verzerrungen aufgrund unpräzise formulierter Fragenstellungen • Antworttendenzen • Ungenauigkeiten aufgrund mangelhaftem Abruf • <i>Reflexivität</i> - interviewter Akteur gibt Interviewer die Antwort, die dieser hören will
Direkte Beobachtung	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Unmittelbarkeit</i> - bildet Handlungen in Echtzeit ab • <i>Kontextbezogen</i> - deckt Kontext des Falls ab 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitintensiv • <i>Selektivität</i> - umfassende Berichterstattung ohne Vielzahl an Beobachtern schwierig • <i>Reflexivität</i> - abweichender Ablauf durch Anwesenheit der Beobachter • <i>Kosten</i> - Arbeitsaufwand der Beobachter
Teilnehmer Beobachtung	<ul style="list-style-type: none"> • [wie bei direkter Beobachtung angeführt] • Aufschlussreich über zwischenmenschliches Verhalten und die Beweggründe 	<ul style="list-style-type: none"> • [wie bei direkter Beobachtung angeführt] • Verzerrungen aufgrund von Eingriffen des Beobachters in die Veranstaltung
Materielle Gegenstände	<ul style="list-style-type: none"> • Aufschlussreich über kulturelle Merkmale • Aufschlussreich über technische Abläufe 	<ul style="list-style-type: none"> • Selektivität • Verfügbarkeit

Abbildung 5.3: Möglichkeiten der Datensammlung [Yin14, S. 106]

Prinzipiell gibt es sechs verschiedene Formen der Beweisführung: Dokumentationen, Archivmaterial, Interviews, direkte Beobachtungen, Beobachtungen der Studienteilnehmer und materielle Gegenstände [Yin14, S. 106]).

Die verschiedenen Formen der Datensammlung haben unterschiedliche Stärken und Schwächen. Die Dokumentation sowie das Archivmaterial haben den Vorteil, dass sie beständig sind und dabei über einen längeren Zeitraum gesammelt werden können. Bei dieser Art der Sammlung kann es dafür zu einer voreingenommen Datenauswahl kommen und der Zugriff auf diese Daten kann erschwert sein. Gerade bei archivierten Unterlagen kann die Einsicht auf Dokumente aufgrund privater Zugriffsrechte verwehrt werden. Das Interview bietet die Möglichkeit, zielgerichtete Informationen über den Studienfall zu sammeln. Bei einer mangelhaften Durchführung können die Ergebnisse jedoch einseitig und inkkurat sein. Die direkte Beobachtung sowie auch Beobachtungen von Studienteilnehmern haben den Vorteil, dass die Ergebnisse in Echtzeit

und kontextbezogen gesammelt werden. Dabei ist die Beobachtung zeitaufwendig und kann unter Umständen selektiv sein. Die Datensammlung mittels materieller Gegenstände hat den Vorteil, dass sie sehr gute Einblicke in die Validierungsergebnisse ermöglicht. Das ist aber nur dann der Fall, wenn diese auch wirklich vorhanden sind [Yin14, S. 106 f.]). Eine komplette Auflistung von Stärken und Schwächen der Datensammelungsformen ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

Für die in dieser Arbeit durchzuführende Fallstudie wurden drei Formen der Datensammlung ausgewählt: Dokumentationen, Interviews und direkte Beobachtungen. Zur Dokumentation der Fallstudie wurden Kalendereinträge, E-Mails, Poster-Dokumentationen, vorbereitete Agenden sowie Besprechungsprotokolle verwendet. Interviews wurden gesammelt durch die Kombination von geführten Gesprächen sowie der Ausgabe eines standardisierten Fragebogens. Direkte Beobachtungen wurden während der Fallstudiedurchführung notiert und komplettieren somit die Datensammlung. Basierend auf diesen drei Quellen konnte eine objektive Datensammlung mittels der Dokumentation durchgeführt werden. Die subjektive Wahrnehmung der Fallstudienteilnehmer sowie der Fallstudienbeauftragten wurde mittels Interviews und Beobachtungen dokumentiert. Die Form der Datensammlung je Forschungshypothese wurde detailliert aufgeschlüsselt und ist in Tabelle 5.1 und 5.2 aufgeführt.

In Tabelle 5.1 und 5.2 sind zunächst in der ersten Spalte die Prüfungshypothesen aufgelistet. Die zweite Spalte zeigt auf, innerhalb welches Validierungsschrittes diese Prüfungshypothese zu testen ist, das heißt, ob diese während der Validierung der Vorleistung oder der Anwendung der Methodik zu prüfen ist. Ist eine Hypothese in beiden Phasen zu analysieren und weichen die Formen der Datensammlung in diesen Phasen voneinander ab, so wurde die Hypothese aufgeteilt und zweifach aufgeführt.

Da die einzelnen Prüfungshypothesen teilweise mehrere Unteraspekte aufführen, wird in der dritten Spalte der zu validierende Teilaspekt, respektive Bestandteil der Prüfungshypothese, aufgeführt. Sind mehrere Teilaspekte zu analysieren, so werden diese als einzelne Zeilen gelistet und die Prüfungshypothesen werden somit bis zu 4-mal aufgelistet.

Tabelle 5.1: Festlegung der Datensammlung Teil I

Prüfungshypothese	Validierungsschritt	Bestandteil der Prüfungshypothese	Art der Datensammlung
1a Die Methodik unterstützt die Nutzungsphase II, Anwendung der Methodik modularer Produktfamilien bei Variantenentscheidungen mit dem Ziel, ein effizientes Verhältnis aus interner zu externer Varianz dauerhaft sicherzustellen.	II, Anwendung der Methodik	Unterstützt die Nutzungsphase bei Variantenentscheidungen bei der Weiterentwicklung modularer Strukturen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation einer Variantenbewertung ▪ Beobachtung der Personen
1b Die Methodik unterstützt die Nutzungsphase II, Anwendung der Methodik modularer Produktfamilien bei Variantenentscheidungen mit dem Ziel, ein effizientes Verhältnis aus interner zu externer Varianz dauerhaft sicherzustellen.	II, Anwendung der Methodik	Ziel ist ein effizientes Verhältnis von interner zu externer Varianz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Komplexitätsberechnung ▪ Dokumentation Abgleich Komplexitätskosten zu mit Stückzahl multiplizierten Herstellkosten
2 Die Methodik ist auf modulare Produktarchitekturen zugeschnitten und die Charakteristika modularer Produktfamilien werden explizit berücksichtigt.	I, Vorleistungen der Methodik II, Anwendung der Methodik	Berücksichtigung der Charakteristika modularer Produktfamilien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation Aufbau der Bewertung ▪ Expertenbefragung der Verantwortlichen der modulareren Produktarchitektur
3a Das Bewertungsverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung neuer Module und Modulvarianten bei geringem Erhebungsaufwand der notwendigen Daten und schafft dabei größtmögliche Transparenz bei der Bewertung. Grundlage bildet ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der Komplexitätskosten neuer Varianten.	II, Anwendung der Methodik	Aussagekräftige Bewertung neuer Module und Modulvarianten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation Variantenbewertung ▪ Beobachtung des Entscheidungspremiums ▪ Standardisierter Fragebogen bei Variantenbewertung
3b Das Bewertungsverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung neuer Module und Modulvarianten bei geringem Erhebungsaufwand der notwendigen Daten und schafft dabei größtmögliche Transparenz bei der Bewertung. Grundlage bildet ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der Komplexitätskosten neuer Varianten.	II, Anwendung der Methodik	Geringer Aufwand zur Erhebung der notwendigen Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation Variantenbewertung ▪ Beobachtung bei Variantenbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Variantenbewertung
3c Das Bewertungsverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung neuer Module und Modulvarianten bei geringem Erhebungsaufwand der notwendigen Daten und schafft dabei größtmögliche Transparenz bei der Bewertung. Grundlage bildet ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der Komplexitätskosten neuer Varianten.	II, Anwendung der Methodik	Größtmögliche Transparenz der Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation Variantenbewertung ▪ Beobachtung bei Variantenbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Variantenentscheidung
3d Das Bewertungsverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung neuer Module und Modulvarianten bei geringem Erhebungsaufwand der notwendigen Daten und schafft dabei größtmögliche Transparenz bei der Bewertung. Grundlage bildet ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der Komplexitätskosten neuer Varianten.	I, Vorleistungen der Methodik	Vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der Komplexitätskosten neuer Varianten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation Bewertung Komplexitätskosten ▪ Beobachtung bei Komplexitätsbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Komplexitätsbewertung

Tabelle 5.2: Festlegung der Datensammlung Teil II

Prüfungshypothese	Validierungsschritt	Bestandteil der Prüfungshypothese	Art der Datensammlung
<p>Die Vorgehensweise und das Bewertungsverfahren sind leicht nachvollziehbar und verständlich.</p> <p>4</p>	<p>I. Vorleistungen der Methodik II. Anwendung der Methodik</p>	<p>Leicht nachvollziehbar und verständlich</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beobachtung bei Sammlung von Daten für Referenzbeispiele ▪ Beobachtung bei Variantenbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei initialer Datensammlung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Variantenbewertung
<p>Die Nachhaltigkeit der modularen Struktur wird durch Bewertung der Auswirkungen neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur sichergestellt. Etwaige Verletzungen der modularen Designregeln werden bewertet und transparent dargestellt.</p> <p>5a</p>	<p>II. Anwendung der Methodik</p>	<p>Nachhaltigkeit der modularen Struktur</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Expertenbefragung von Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur
<p>Die Nachhaltigkeit der modularen Struktur wird durch Bewertung der Auswirkungen neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur sichergestellt. Etwaige Verletzungen der modularen Designregeln werden bewertet und transparent dargestellt.</p> <p>5b</p>	<p>II. Anwendung der Methodik</p>	<p>Verletzung der modularen Designregeln bewerten und transparent darstellen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Expertenbefragung von Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur
<p>Die Methodik führt zu einer gesamtheitlichen Betrachtung neuer Varianten, indem sichergestellt wird, dass alle relevanten Aspekte bei Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien berücksichtigt werden.</p> <p>6</p>	<p>II. Anwendung der Methodik</p>	<p>Gesamtheitliche Betrachtung neuer Varianten</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Beobachtung im Entscheidungsgremium ▪ Expertenbefragung von Konstruktionsingenieuren und Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur
<p>Eine Szenarioanalyse wird durch eine konsistente Bewertung verschiedener Konzepte und Szenarien und einem anschließenden Vergleich selber erreicht. Die Auswahl des optimalen Szenarios kann durch die Methodik unterstützt werden. Dabei ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch die Methodik sichergestellt.</p> <p>7a</p>	<p>II. Anwendung der Methodik</p>	<p>Konsequente Bewertung verschiedener Konzepte und Szenarien</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Beobachtung bei Variantenentscheidungen ▪ Expertenbefragung von Konstruktionsingenieuren
<p>Eine Szenarioanalyse wird durch eine konsistente Bewertung verschiedener Konzepte und Szenarien und einem anschließenden Vergleich selber erreicht. Die Auswahl des optimalen Szenarios kann durch die Methodik unterstützt werden. Dabei ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch die Methodik sichergestellt.</p> <p>7b</p>	<p>II. Anwendung der Methodik</p>	<p>Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch die Methodik ist sichergestellt</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Beobachtung bei Variantenentscheidungen ▪ Expertenbefragung von Konstruktionsingenieuren
<p>Die Methodik ist so aufgebaut, dass sie bereits in der sehr frühen Phase der Entwicklung angewandt werden kann und damit zu einem größtmöglichen Einsparpotential führt.</p> <p>8</p>	<p>II. Anwendung der Methodik</p>	<p>Kann in der sehr frühen Phase der Entwicklung angewandt werden</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Beobachtung bei Variantenentscheidungen ▪ Expertenbefragung von Konstruktionsingenieuren

In der letzten Spalte sind die Formen der Datensammlung für die in den vorausgegangenen Spalten aufgelisteten Prüfungshypothesen respektive deren Teilaspekte dargelegt. Basierend auf dieser Gliederung konnten die einzelnen Teilergebnisse der durchgeführten Fallstudie gesammelt werden. Damit wurde die Basis geschaffen, um ein Fazit zu ziehen.

An die Dokumentation der Fallstudienenergebnisse, wie auch an die direkte Observation der Durchführung, werden keine gesonderten Ansprüche gestellt. Die Durchführung der Einzelfallstudie wird so genau wie möglich dokumentiert, um damit die sowohl objektiven wie auch subjektiven Wahrnehmungen bestens für eine abzuleitende Quintessenz zur Verfügung zu stellen. Wie bereits erläutert wurde, ist der standardisierte Fragebogen jedoch mit besonderer Sorgfalt vorzubereiten, da andernfalls einseitige, voreingenommene Ergebnisse eine mögliche Folge sind. Aus diesem Grund wird im nachfolgenden Abschnitt die Vorgehensweise zur Erstellung des standardisierten Fragebogens näher geschildert.

5.2.3. Vorstellung der Fragebögen

In Tabelle 5.1 und 5.2 ist ersichtlich, dass sowohl für die Validierung der Vorleistungsphase als auch für die Validierung der Anwendungsphase der Methodik ein Fragebogen zur Datensammlung sinnvoll ist. Aus diesem Grunde sind zwei, für die einzelnen Phasen der Methodik zugeschnittene, Fragebögen notwendig. Die kompletten Fragebögen sind in Anhang A.2 abgebildet. Das Vorgehen des Fragebenaufbaus sowie ausgewählte Stellen der Fragebögen werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

Nach Porst (2009) besteht ein Fragebogen aus einer Titelseite, dem eigentlichen Fragenkatalog sowie einer Schlussseite. Ziel der Titelseite ist, den Studienteilnehmer über den Studienhintergrund sowie den prinzipiellen Inhalt des Fragebogens zu informieren. Weiterhin sollte darauf hingewiesen werden, dass die Teilnahme an der Umfrage auf freiwilliger Basis erfolgt. Zusätzlich sollte die Titelseite die Möglichkeit bieten, persönliche Angaben des Studienteilneh-

mers zu erfragen [Por09, S. 31 ff.]. Die Schlussseite des Fragebogens hat zur Aufgabe, dem Studienteilnehmer für die Teilnahme an der Umfrage zu danken. Weiterhin kann hier die Möglichkeit eingeräumt werden, den Fragebogen mit weiteren Anmerkungen zu ergänzen, soweit diese nicht abgefragt wurden [Por09, S. 157 ff.].

An den eigentlichen Hauptteil des Fragebogens wird die Anforderung gestellt, dass dieser klar strukturiert und mit Bedacht aufgebaut ist. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Ergebnisse einseitig oder voreingenommen sind. Zunächst ist zu klären, ob der Fragebogen mittels geschlossener oder offener Fragen aufgebaut sein sollte. Geschlossene Fragen bieten eine vorgegebene Anzahl an begrenzten Antwortmöglichkeiten, aus denen der Studienteilnehmer auswählen kann. Hingegen bieten offene Fragen keine vorgefertigten Antwortkategorien, der Studienteilnehmer muss hier mit seinen eigenen Worten auf die Fragen eingehen. Auch halboffene Fragen sind möglich, die neben einer begrenzten Anzahl an Antworten die Möglichkeit offen halten, eine selbst formulierte Antwort zu geben [Por09, S. 51 ff.]. Um für die Validierung der vorliegenden Arbeit eine spätere gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen, wurden geschlossene Fragen gewählt. Weiterhin wurde eine einzelne offene Frage aufgenommen, um dem Studienteilnehmer die Option einzuräumen, eigene Kommentare oder Anmerkungen mitzuteilen.

Nachdem die Form der Antwortmöglichkeiten bestimmt wurde, ist die Bewertungsskala festzulegen. Diese muss dem Fragebogenteilnehmer klar erläutert werden, um mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden. Bei einem geschlossenen Fragebogen kann zwischen Nominal-, Ordinal-, Intervall- sowie Ratio-Skalen ausgewählt werden. Bei Nominal-Skalen liegt ein gegenseitiger Ausschluss der Ausprägungen vor. Die Ausprägungen bei Ordinal-Skalen stehen wiederum in Relation zueinander. Die Intervall-Skala ist eine Erweiterung der Ordinal-Skala, so dass nun die Abstände zwischen den Skalenwerten gleich groß sind. Ratio-Skalen haben einen echten Nullpunkt und der Fragebogenteilnehmer kann zwischen negativen und positiven Werten auswählen. Für die hier verwendeten Fragebögen wurde eine Ordinal-Skala gewählt, da diese für eine Stimmungsbild-Abfrage am besten geeignet ist und hier keine ausführli-

che statistische Analyse geplant war, die mit Hilfe der Intervall- oder Ratio-Skala möglich gewesen wäre [Por09, S. 69 ff.].

Neben der Skalen-Art ist festzulegen, ob eine ungerade oder gerade Anzahl an Antwortausprägungen zugelassen wird. Eine ungerade Anzahl an Antwortmöglichkeiten bietet bei der Ordinal-Skala eine Fluchtkategorie. Der Teilnehmer kann den neutralen, mittleren Wert auswählen. Hingegen zwingt eine gerade Anzahl an Ausprägungen den Umfrageteilnehmer sich für oder gegen etwas auszusprechen [Por09, S. 69 ff.]. Lediglich in der Gewichtung seiner Antwort kann er wählen. Im vorliegenden Fall wurde eine gerade Menge an Ausprägungen gewählt und darüber hinaus die Option 'Kann ich nicht sagen' aufgenommen. Die verwendete Skalenform ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Die hier verwendete Skalenart erlaubt keine Mehrfachnennungen, es ist lediglich eine Antwortmöglichkeit pro Frage zulässig.

Wie bereits erwähnt, wurden zwei Fragebögen erstellt, von denen einer die Validierung der Vorleistungsphase der Methodik und der andere die Validierung der Anwendungsphase der Methodik unterstützt. Der Fragebogen der Vorleistungsphase dient dazu, die neue Methodik zur initialen Bestimmung von Komplexitätskosten mittels Komplexitätsinterviews genauer zu hinterfragen. Diese Interviews beanspruchen den größten Zeitraum innerhalb der Vorleistungsphase und sind demnach von besonderem Interesse bei der Validierung. Der zweite Fragebogen wiederum erfragt ein Meinungsbild der Gesamtmethodikenanwendung.

Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.4: Skalenform Fragebogen

2. Struktur der Methode					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Der Aufbau der Excel Datei zur Komplexitätsbewertung ist <i>übersichtlich</i> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufbau der Excel Datei ermöglicht eine spätere <i>Nachvollziehbarkeit der berechneten Komplexität</i> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufbau der Excel Datei ermöglicht eine spätere <i>Nachvollziehbarkeit der getroffenen Annahmen</i> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bewertung der Aufwände in Stunden und Multiplikation mit den standortabhängigen Kostensätzen ermöglicht <i>Flexibilität (Wiederverwendung für andere Standorte)</i> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.5: Fragebogen 1: Struktur der Komplexitätskostenmethode

Der erste Fragebogen ist in vier Teilaspekte gegliedert. Zunächst ist im ersten Abschnitt der Gesamteindruck der Komplexitätsinterviewmethode zu bewerten. Anschließend wird ein Stimmungsbild bezüglich der Struktur, der Durchführbarkeit sowie der Methodenergebnisse erfragt. Im zweiten Abschnitt 'Struktur der Methode' (Abbildung 5.5) wird der Aufbau der Komplexitätsbewertungsmethode hinterfragt. Der dritte Abschnitt 'Durchführbarkeit der Methode' (Abbildung 5.6) zielt darauf ab, eine Bewertung hinsichtlich der Definition der variantenabhängigen Tätigkeiten sowie der Angabe der zeitlichen und monetären, einmaligen wie auch laufenden Aufwände zu erfragen. Mittels des vierten Abschnittes 'Ergebnisse der Methode' (Abbildung 5.7) wird die Sinnhaftigkeit der Komplexitätskosteninterview-Ergebnisse und deren Verwendung bei Variantenentscheidungen hinterfragt. Auf der Schlussseite des Fragebogens wird dem Studienteilnehmer die Möglichkeit eingeräumt, weitere, bislang nicht angesprochene, Anmerkungen zur Methode zu geben.

3. Durchführbarkeit der Methode					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Definition der einzelnen Tätigkeiten, die für neue Varianten durchzuführen sind, fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bewertung des <i>einmaligen</i> Aufwandes der einzelnen Tätigkeiten für die Variantenszenarien fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bewertung des <i>laufenden</i> Aufwandes der einzelnen Tätigkeiten für die Variantenszenarien fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufwand zur Bewertung der Tätigkeiten und Aufwände ist angemessen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.6: Fragebogen 1: Durchführbarkeit der Komplexitätskostenmethode

4. Ergebnisse der Methode					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Ergebnisse führen zu mehr Transparenz im Unternehmen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Entscheidungsgrundlage neuer Varianten wird durch die Komplexitätsbewertung verbessert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich freue mich, dass in Zukunft berücksichtigt wird, welche Auswirkungen neue Varianten auf meine Abteilung haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.7: Fragebogen 1: Ergebnisse der Komplexitätskostenmethode

Der zweite Fragebogen zielt darauf ab, ein Meinungsbild hinsichtlich der Anwendung der Gesamtmethodik zu erfragen. Auch hier wurde der Fragebogen in vier Kategorien unterteilt. Zunächst wird, wie bereits beim ersten Fragebogen, der Gesamteindruck der Methodik bewertet. Im zweiten Abschnitt 'Struktur der Methodik' (Abbildung 5.8) werden die strukturierte Vorgehensweise sowie die Übersichtlichkeit des Aufbaus mittels einer Excel Datei abgefragt. Abschnitt drei 'Durchführbarkeit der Methodik' (Abbildung 5.9) beschäftigt sich mit der Möglichkeit der eigenständigen Durchführbarkeit sowie dem Aufwand der Methodenverwendung. Im vierten und letzten Teilabschnitt des zweiten Fragebogens 'Ergebnisse der Methodik' (Abbildung 5.10) wird bewertet, ob die Ergebnisse der Methodik hinreichend für eine Variantenentscheidung sind, ob alle relevanten Aspekte berücksichtigt werden, ob die Ergebnisse zu mehr Transparenz führen und ob alle relevanten Kosten des Produktlebenszyklus der Variantenszenarien betrachtet werden. Auch hier wird dem Teilnehmer die Möglichkeit gegeben, weitere Anmerkungen anzubringen.

2. Struktur der Methodik					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Methodik weist eine strukturierte Vorgehensweise auf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufbau der Excel Datei ist übersichtlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.8: Fragebogen 2: Struktur der Methodik

3. Durchführbarkeit der Methodik					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Erstellung der Excel Datei mit den vorgegebenen Bausteinen ist leicht durchzuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Methodik kann ich selbstständig anwenden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Angabe der notwendigen Daten fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufwand zur Angabe der notwendigen Daten ist angemessen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anpassung der Komplexitätskosten der vorbewerteten Szenarien ist mit angemessenem Aufwand durchführbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.9: Fragebogen 2: Durchführbarkeit der Methodik

Dabei wurden die einzelnen Fragen aus den in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Prüfungshypothesen (Tabelle 5.1 und 5.2) abgeleitet. Damit ist sichergestellt, dass mittels der gestellten Fragen auch die Prüfungshypothesen validiert werden können. Neben den Fragebögen spielten auch die Dokumentationen der Validierung sowie direkte Beobachtungen der Studienteilnehmer und des Verantwortlichen der Studie eine Rolle bei der Validierung.

4. Ergebnisse der Methodik					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Entscheidungsgrundlage zur Bewertung neuer Varianten wird durch die Methodik verbessert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Methodik umfasst alle relevanten Aspekte zur Bewertung von neuen Varianten (Komplexität, strat. Aspekte, Einfluss auf mod. Produktarchitektur).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Methodik führt zu mehr Transparenz bei der Bewertung neuer Varianten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Komplexitätsbewertung führt zu mehr Transparenz hinsichtlich der Auswirkungen neuer Varianten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es werden alle relevanten Kosten der Komplexität (einmalig, laufend) im Produktlebenszyklus berücksichtigt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.10: Fragebogen 2: Ergebnisse der Methodik

5.3. Beschreibung der Fallstudie

In Kapitel 3, Stand der Technik in Wirtschaft und Wissenschaft, wurde der Bedarf einer speziell für die Gebrauchsgüterindustrie zugeschnittenen Methodik, zur Sicherstellung einer nachhaltigen stabilen modularen Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg, mittels einer Variantenentscheidungsunterstützung hergeleitet. Demnach ist es zwingend notwendig, die Fallstudie in dieser Branche zu implementieren, um die tatsächliche Durchführbarkeit validieren zu können. Weiterhin ist die Methodik speziell für modulare Produktarchitekturen zugeschnitten. Daher ist eine Branche zu wählen, in der bekannt ist, dass modulare Produktarchitekturen von steigender Relevanz sind. Auf Basis dieser Anforderung wurde ein Unternehmen aus der Heizungsbranche für die Fallstudie ausgewählt, da hier die Umsetzung von modularen Produktfamilien bekannt ist, wie beispielsweise bei der Vaillant Gruppe [SRSS14, S. 32 f.].

Die hier präsentierte Einzelfallstudie wurde in einem Geschäftsbereich der Bosch Gruppe, der Bosch Thermotechnik GmbH, durchgeführt. Die Bosch Thermotechnik GmbH, als Unternehmen aus der Heizungsbranche, bietet optimale Möglichkeiten zur Validierung der vorgestellten Methodik. Mit einem Umsatz von weltweit mehr als 3 Milliarden Euro zählt Bosch Thermotechnik zu den führenden Anbietern energieeffizienter Lösungen für Raumklima und Warmwasserkomfort [Bosgea].

Bosch Thermotechnik gliedert sich in die vier Geschäftsfelder '*Residential Heating*', '*Commercial / Industrial Heating*', '*Residential Water*' sowie '*Commercial Air-Conditioning and Ventilation*'. Das Produktportfolio des Bereiches *Residential Heating* besteht unter anderem aus wandhängenden und bodenstehenden Gas-Brennwertgeräten, Gas-Brennwert-Kompaktheizzentralen, Brennstoffzellentechnologien sowie Gas- und Elektro-Wärmepumpen. Unter der Sparte *Residential Water* werden Gas-Warmwasserbereiter, Solarkollektoren wie auch Warmwasser-Wärmepumpen zusammengefasst. Im Bereich *Commercial / Industrial Heating* werden Industriekundenlösungen realisiert. Der Bereich *Commercial Air-Conditioning and*

Ventilation befasst sich als internationaler Systemanbieter mit Klimaanlage-lösungen [Bosgea].

Dieses breitgefächerte Produktportfolio wird über elf verschiedene regionale und internationale Marken vertrieben. Zu diesen zählen unter anderem Bosch, Buderus, e.l.m. leblanc, Junkers, Worcester und Vulcano. Die Produkte aus dem Bereich *Residential Heating* und *Residential Water* werden über eigene oder freie Großhandelsgeschäfte vertrieben. Die Erzeugnisse aus dem Bereich *Commercial and Industrial Heating* wie auch *Commercial Air-Conditioning and Ventilation* werden über einen eigenen Direktvertrieb angeboten [Bosgea].

In 2015 beschäftigte Bosch Thermotechnik 13.400 Mitarbeiter, von denen 94% im europäischen Raum tätig waren. Die Produkte werden an mehr als 20 internationalen Standorten gefertigt und weltweit in über 120 Ländern vertrieben. Der Unternehmensbereich Residential Heating erwirtschaftete in 2015 einen Umsatz von 2,5 Milliarden Euro. In diesem Bereich ist Bosch Thermotechnik Weltmarktführer [Bosgea].

Auf Basis des vorgestellten Rahmens der Fallstudie und auf Basis der Vorstellung der Bosch Thermotechnik GmbH wird im nachfolgenden Abschnitt der Studienfall genauer erläutert. Zur Validierung der Methodenanwendung wird weiterhin eine passende Varianten-Entscheidungssituation aus der Praxis von Bosch Thermotechnik verwendet, welche ebenfalls genauer dargelegt wird.

5.3.1. Beschreibung des Studienfalls

Bosch Thermotechnik bietet ein breites Portfolio an unterschiedlichen Produkten an. Da der Bereich *Residential Heating*, mit 77% am Gesamtumsatz, den größten Anteil aufweist, wurde die Fallstudie hier durchgeführt. Das gesamte Portfolio von *Residential Heating* ist jedoch zu umfassend für eine Einzelfallstudie. Vor diesem Hintergrund wurden die wandhängenden Gas-Brennwertheizungen für diesen Studienfall gewählt. In Abbildung 5.11 ist exemplarisch ein wandhängender Boiler von Bosch Thermotechnik, die 'Junkers Cerapur 9000i', abgebildet.



Abbildung 5.11: Junkers Cerapur 9000i [Bosgeb]

Zunächst wird der technische Hintergrund erläutert. Bei der Gas-Brennwerttechnik wird Wasser mittels Verbrennung von Gas erhitzt. Dazu wird die Wärme eines entzündeten Gas-Luft-Gemisches mit Hilfe eines Primär-Wärmeüberträgers auf das Wasser des Heizungssystems übertragen. Die Verbrennungsgase werden bis unter den Taupunkt abgekühlt. Bei der Umwandlung des Wasserdampfes in ein Kondensat wird zusätzliche Wärme frei, die ebenfalls dem Heizsystem zugeführt wird. Mittels dieser Technik können mit einer Gas-Brennwertheizung Wirkungsgrade von bis zu 110%, bezogen auf den unteren Heizwert, erzielt werden [Bos].

Zur besseren Verständlichkeit der Validierungsergebnisse wird in diesem Kapitel das vereinfachte Schema einer modularen Gas-Brennwertheizung zugrunde gelegt. Der schematische Heizkesselaufbau ist in Abbildung 5.12 visualisiert.

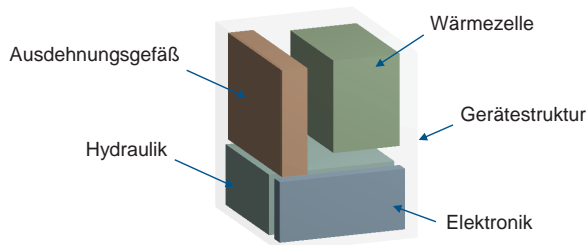


Abbildung 5.12: Schema eines modularen Boilers

Der vereinfachte Studienfall besteht aus insgesamt fünf verschiedenen Modulen: Ausdehnungsgefäß, Hydraulik, Wärmезelle, Gerätestruktur sowie Elektronik. Bei Bosch Thermotechnik wurde die Validierung basierend auf der in der Praxis detaillierteren, komplexeren Struktur der modularen Produktarchitektur durchgeführt.

Das Wärmезellenmodul ist das Herz der Gas-Brennwertheizung. Ein entzündetes Gas-Luftgemisch erwärmt das Wasser des Heizungssystems über einen Primär-Wärmeübertrager. Mittels des Sekundär-Wärmeüberträgers der Hydraulik kann das erwärmte Heizungswasser seine Energie auch an das Brauchwasser abgeben. Weiterhin hat die Hydraulik zur Funktion, die verschiedenen Wasserflüsse innerhalb des Heizungssystems zu leiten, verschiedene Teilsysteme in ein Ganzes zu integrieren sowie eine Basis für diverse Unterfunktionen zu bilden. Das Ausdehnungsgefäß hat zum Zweck, das sich bei einer Erwärmung ausdehnende Wasser des Heizungssystems aufzunehmen, um damit einen Überdruck in den Leitungen zu verhindern. Das Strukturmodul bildet die tragende Struktur des Boilers und ist gleichermaßen die äußere Erscheinung des Gerätes. Mittels des Elektronikmoduls wird das Gerät gesteuert und der Endkunde sowie der Installateur können mit der Heizung interagieren.

Basierend auf diesen fünf vereinfachten Modulen einer Gas-Brennwertheizung wird die Validierung der Vorleistungsphase der VM_{ahead} Methodik erläutert. Für die Validierung der Anwendungsphase der Methodik wurde eine aktuelle, reale Variantenentscheidungssituation verwendet. Eine kurze Darstellung derselben wird im nachfolgenden Abschnitt aufgezeigt.

5.3.2. Vorstellung der zu bewertenden Variantenentscheidung

Die VM_{ahead} Methodik dient dazu, Variantenentscheidungssituationen derartig zu unterstützen, dass nur Variantenkonzepte verfolgt werden, die vorteilhaft für die interne Unternehmenskomplexität sind und die mit dem Grundgedanken



Abbildung 5.13: Variantenanfrage an das Elektronikmodul

der modularen Produktarchitektur kompatibel sind. Zur Validierung solcher Variantenentscheidungen wurde eine aktuelle Variantenentscheidungssituation bei Bosch Thermotechnik verwendet. Die Validierung der Anwendungsphase der Methodik wurde anhand des Bedarfs einer neuen Installateur- und Endkundenbedienung durchgeführt (siehe Abbildung 5.13). Die Bedienung des Gerätes durch den Installateur oder Endkunden wird durch das Elektronikmodul realisiert.

Im ersten Schritt wurden zunächst verschiedene Szenarien erarbeitet, die diese Variantenanfrage erfüllen können. Insgesamt konnten vier verschiedene Konzepte identifiziert werden, die diesen Bedarf abdecken (siehe Abbildung 5.14). Ein fünftes Szenario, die Nichterfüllung, wurde nicht aufgenommen, da die Anfrage eine klare Marktanforderung ist und dementsprechend zu berücksichtigen war. Szenario 1 resultiert in einem verbesserten Bedienkonzept auf Basis einer Folientechnologie. Hingegen realisiert Szenario 2 ein vereinfachtes Bedienkonzept mittels einer Federtechnologie. Dieses vereinfachte Bedienkonzept ist im Vergleich zur heutigen Situation eine eindeutige Verbesserung, bietet jedoch nicht den vollen Funktionsumfang, wie es bei Szenario 1 der Fall wäre. Das erste Szenario auf Basis der Folientechnologie hat jedoch höhere erwartete Modulkosten, als es ein neues Modul auf Basis der Federtechnologie hätte [WBHSO16a, S. 598 f.].

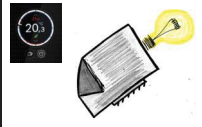



Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Elektronik Variantenkonzep 1	Elektronik Variantenkonzep 2	Elektronik Variantenkonzep 3	Elektronik Variantenkonzep 4
			
Bedienkonzept mittels Folientechnologie	Vereinfachtes Bedienkonzept mittels Federtechnologie	(Vereinfachtes) Bedienkonzept mittels Feder- und Folientechnologie	(Vereinfachtes) Bedienkonzept mittels Folientechnologie

Abbildung 5.14: Szenarienvorstellung

Sowohl Szenario 1 als auch Szenario 2 resultieren in einem neuen Modul und damit in einem neuen Bedienkonzept für das Produktportfolio. Wird hingegen eine Differenzierung zwischen den Basisprodukten und dem Top-Segment gewünscht, so sind zwei neue Varianten, zum einen mit einem vereinfachten und zum anderen mit dem vollen Bedienkonzept, zu realisieren. Szenario 3 betrachtet die Möglichkeit der Kombination des ersten und zweiten Szenarios. Dies würde bedeuten, dass ein Bedienkonzept mittels Folientechnologie und zusätzlich ein vereinfachtes Bedienkonzept mittels Federtechnologie zu entwickeln und einzuführen wären. Da die Folien- und die Federtechnologie auf zwei unterschiedlichen technischen Lösungen basieren, sind mit diesem Szenario zwei neue Elektronikmodule zu erzeugen. Auf Basis der teureren Folientechnologie ist jedoch auch eine reduzierte Funktionsvariante möglich, die ein vereinfachtes Bedienkonzept ermöglicht. Dabei fallen jedoch für ein verbessertes und vereinfachtes Bedienkonzept die nahezu gleichen, hohen Kosten an. Diese Option wird in Szenario 4 berücksichtigt [WBHSO16a, S. 598 f.].

Um eine Entscheidung für eines dieser vier Variantenszenarien zu fällen, wurde die VM_{ahead} Methodik angewandt. Zunächst wird im nachfolgenden Abschnitt die Validierung der Vorleistungsphase der Methodik durchgeführt. Anschließend wird die gerade vorgestellte Entscheidungssituation als Studienfall für die Validierung der zweiten Methodenphase, die Anwendung der Methodik, verwendet.

5.4. Validierung der Vorleistungen der Methodik

Die Validierung der Vorleistungsphase der Methodik wird anhand des vereinfachten, schematischen Boilers der Bosch Thermotechnik GmbH durchgeführt und dabei in drei Teilschritte unterteilt. Zunächst werden die Erstellung der Referenzbeispiele und dann die Vorgehensweise der Durchführung der Komplexitätsinterviews validiert. Anschließend wird der Aufbau der Strategy-Contribution-Map bestätigt. Nach der Vorstellung dieser drei Teilvalidierungsphasen schließt die Auswertung der Validierung der Vorleistungsphase der Methodik diesen Abschnitt ab.

5.4.1. Validierung der Erstellung der Referenzbeispiele

Kern der VM_{ahead} Methodik sind die, mit Hilfe der Methode der Komplexitätskosteninterviews vorbereiteten Referenzbeispiele. Diese Komplexitätskostenbeispiele dienen als Basis für zukünftige, wiederkehrende Variantenentscheidungssituationen. Die Komplexität neuer Varianten kann anhand möglichst ähnlicher, vorbereiteter Referenzbeispiele abgeschätzt werden. Aus diesem Grund sind mit Bedacht ausgewählte Referenzbeispiele von besonderer Bedeutung. Die Methodik bietet hierfür das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung an, mit Hilfe dessen passende Referenzbeispiele und alle zur besseren Einschätzung dieser Beispiele relevanten Informationen systematisch gesammelt werden können.

Das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung ist eine in fünf Schritten durchzuführende Vorgehensweise, mit einem in regelmäßigen Abständen zu betrachtenden sechsten Schritt, der überprüft, ob die Referenzbeispiele neu zu bestimmen sind. Eingangsgröße des Rahmenwerkes ist die modulare Produktarchitektur eines Unternehmens und im vorliegenden Validierungsbeispiel der vereinfachte modulare Boiler (Schema siehe Abbildung 5.15).

Zunächst wurde in einem ersten Schritt ein Workshop mit den bei Bosch Thermotechnik verantwortlichen Personen der modularen Produktarchitek-

5. Validierung der Methodik

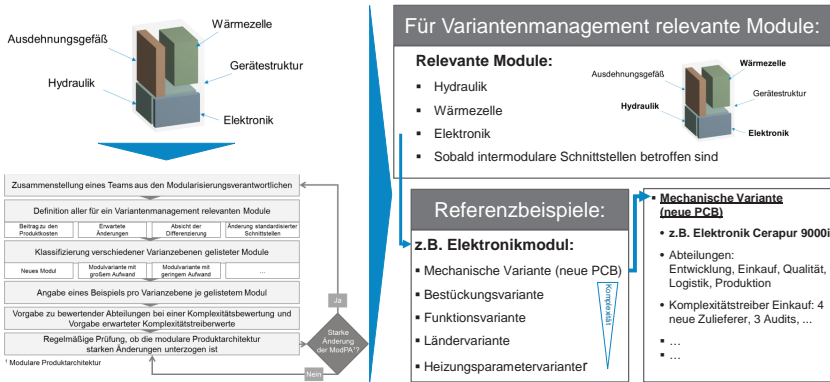


Abbildung 5.15: Validierung der Erstellung von Referenzbeispielen

tur aufgesetzt. An diesem haben auch Mitglieder des mittleren Managements teilgenommen, damit sie einen ersten Eindruck über die Auswirkungen neuer Varianten erhalten und spätere Entscheidungsvorlagen besser nachvollziehen können. Dabei wurde die Auswahl der Referenzbeispiele vorrangig von den Modularisierungsverantwortlichen vorgenommen, da diese über einen sehr guten Überblick über erwartete zukünftige Variantenanfragen und deren Varianzebenen verfügen.

Die Workshopteilnehmer haben zunächst diskutiert, für welche Module ein Variantenmanagement hinsichtlich der Kosten-Nutzen-Ratio sinnvoll ist und für welche nicht. Auswahlkriterien sind der Modulanteil an den Gesamtproduktkosten, die erwartete Änderungshäufigkeit und die Differenzierungsabsicht des betrachteten Moduls. Basierend auf diesen Kriterien wurden die Module Wärmezelle, Hydraulik und Elektronik als relevant gelistet. Für die Module Ausdehnungsgefäß sowie Gerätestruktur ist keine ausführliche Szenarienbewertung vorgesehen.

Das Wärmezellen- wie auch Hydraulikmodul wurden ausgewählt, da diese beiden Module einen hohen Beitrag an den Gesamtproduktkosten haben. Änderungsanfragen, die auf dem Wunsch einer Kostenreduktion basieren, sind aufgrund des hohen Komplexitätsgrades dieser Module wahrscheinlich, jedoch

mit hohem Aufwand verbunden. Ebenso wird das Elektronikmodul als relevant gelistet, da dieses gleichermaßen durch eine hohe Komplexität geprägt ist und aufgrund der immer kürzer werdenden Lebenszyklen elektronischer Bauteile mit häufigen Änderungsanfragen konfrontiert ist. Das Ausdehnungsgefäß wird für eine detaillierte Variantenszenarienbetrachtung nicht berücksichtigt, da dieses Modul nur einen geringen Anteil an den Gesamtproduktkosten einnimmt und weiterhin nur selten Änderungsanfragen gestellt werden. Auch das Gerätestrukturmodul wird nicht betrachtet, da mittels dieses Moduls die äußere Erscheinung der Gas-Brennwertheizung festgelegt wird und es dementsprechend von besonderer Bedeutung für die Differenzierung innerhalb des Produktportfolios sowie für die Differenzierung zu Wettbewerbern ist [WBH-SO16b, S. 1441 f.].

Weiterhin wurde innerhalb des Workshops die Notwendigkeit einer consequenten Variantenbewertung diskutiert, für den Fall, dass intermodulare Schnittstellen anzupassen sind. Dies hat zum Ziel, den Bedarf der Sicherstellung der modularen Designregeln nochmals innerhalb der Runde der Modularisierungsverantwortlichen zu festigen und das mittlere Management hinsichtlich dieser Anforderung zu sensibilisieren.

Nachdem die für ein Variantenmanagement relevanten Module ausgewählt worden sind, wurden im nächsten Workshopschritt für jedes gelistete Modul verschiedene Varianzebenen und zugehörige Referenzbeispiele diskutiert. Ziel dieses Schrittes war, verschiedenste Referenzbeispiele mit unterschiedlich hohem Komplexitätsgrad zu definieren, für welche zu erwarten ist, dass entsprechende Variantenanfragen in Zukunft auftreten können. Insgesamt wurden pro Modul 6-10 Referenzbeispiele aufgelistet, was zu insgesamt 43 Referenzbeispielen geführt hat.

Beispielhaft werden die Varianzebenen und die zugehörigen Beispiele für das Elektronikmodul vorgestellt und in Abbildung 5.15 aufgezeigt. Die Workshopteilnehmer erwarten beim Elektronikmodul zukünftige Varianz auf den folgenden Ebenen: neue mechanische Variante (neue PCB¹), neue Bestü-

¹ PCB = Leiterplatte; printed circuit board

ckungsvariante, neue Funktionsvariante, neue Ländervariante sowie neue Variante hinsichtlich der Heizungsparameter. Eine neue mechanische Variante ist durch eine neue Leiterplatte (PCB) gekennzeichnet und auf der Varianzebene eines neuen Modules einzuordnen. Eine Bestückungsvariante weist unterschiedliche Anschlüsse (I/Os) auf oder besitzt Unterschiede in den Displayarten beziehungsweise Knöpfen. Eine Funktionsvariante unterstützt verschiedenartige Funktionen, eine Ländervariante kann aufgrund länderspezifischer Anforderungen entstehen. Weiterhin kann es eine Elektronikmodulvariante geben, die sich durch produktspezifische Heizungsparameter unterscheidet. Diese weiteren Varianzebenen, neben der Varianzebene der mechanischen Variante, sind mit der Ebene einer neuen Modulvariante gleichzusetzen. Die jeweilige Komplexität dieser Varianten wurde von den Teilnehmern qualitativ abgeschätzt, die Referenzbeispiele konnten damit bereits in absteigender Komplexitätsreihenfolge sortiert werden [WBHSO16b, S. 1442].

In den nachfolgenden zwei Workshopschritten wurde pro gelistetem Referenzbeispiel ein aktuelles Beispiel angeführt und erwartete Komplexitätstreiberwerte sowie die von dieser Varianz betroffenen Abteilungen wurden angegeben. Dies hat zum Ziel, eine spätere leichtere Auswahl eines geeigneten Referenzbeispiels für eine aktuelle Variantenentscheidungssituation zu ermöglichen. Weiterhin dienen diese Angaben als Eingangsgröße für die Komplexitätsbewertung. Wie in Abbildung 5.15 aufgezeigt, wurde für das Elektronikmodul-Referenzbeispiel 'neue mechanische Variante (neue PCB)' die Cerapur 9000i Elektronik als Beispiel genannt. Von der Komplexität dieses Elektronikmoduls sind die Entwicklung, die Qualitätssicherung, der Einkauf sowie Produktion und Logistik betroffen [WBHSO16b, S. 1442]. Diese Angaben wurden für alle 43 gelisteten Referenzbeispiele innerhalb des Workshops gesammelt.

Das Rahmenwerk der Komplexitätsanalyse sieht weiterhin eine regelmäßige Prüfung vor, ob die modulare Produktarchitektur starken Änderungen unterzogen war. Aufgrund der Zeitspanne der Validierung konnte dieser sechste Schritt nicht durchgeführt werden.

Während der Durchführung des Workshops konnte beobachtet werden, dass eine klare Verantwortlichkeit hinsichtlich der Workshopleitung notwendig ist. Der Workshopverantwortliche hat die Aufgabe, die Diskussionen zu kanalisieren. Dabei sollte dieser Verantwortliche regelmäßig inhaltlich nachhaken, um sicherzustellen, dass alle Aspekte Berücksichtigung finden. Zu Beginn des Workshops ist den Teilnehmern vom Workshopverantwortlichen der komplette Methodenaufbau darzulegen. Mit Hilfe dieser Transparenz wird den Teilnehmern die sorgfältige Auswahl der Referenzbeispiele bewusst. Eine ausführliche Nachbereitung des Workshops ist dabei zwingend notwendig, damit die diskutierten Referenzbeispiele und zugehörigen Informationen für die anschließend durchzuführenden Komplexitätsinterviews nicht verloren gehen.

Durch die Workshop Einführung konnte eine leichte Nachvollziehbarkeit und auch bessere Verständlichkeit erreicht werden. Die Workshopteilnehmer haben weiterhin erklärt, dass die Detaildiskussionen über die erwartete Komplexität der einzelnen Referenzbeispiele zu einem verstärkten Bewusstsein über die Auswirkungen neuer Varianten geführt hat und Transparenz schafft.

5.4.2. Validierung der Komplexitätsinterviews

Für jedes der insgesamt 43 definierten Referenzbeispiele wurde eine Komplexitätskostenanalyse bei Bosch Thermotechnik durchgeführt. Dabei wurde die neue Methode der Komplexitätsinterviews angewandt. Diese Komplexitätsanalysen werden in der Anwendungsphase der Methodik verwendet, um Komplexitätskosten neuer Variantenentscheidungssituationen abschätzen zu können.

Für die Durchführung der Komplexitätsanalysen in den einzelnen Abteilungen waren jeweils Experten mit einem möglichst hohen Erfahrungsschatz notwendig. Diese Experten wurden in Abstimmung mit der Abteilungsleitung ausgewählt (siehe Abbildung 5.16). Je nach Fall war teilweise ein Experte für alle 43 Referenzbeispiele nominiert oder aber die Referenzbeispiele wurden unter mehreren Personen aufgeteilt. Wichtig ist in diesem Fall, dass eine Vergleichbarkeit der Werte bei verschiedenen Personen sichergestellt werden muss. Alle



Abbildung 5.16: Validierung der Komplexitätsinterview-Methode

Referenzbeispiele eines Moduls wurden bei der Validierung pro Abteilung von nur einer Person analysiert. Lediglich für die unterschiedlichen Module gab es in manchen Bereichen verschiedene Ansprechpartner.

In Summe wurden 41 Interviews durchgeführt. Pro Referenzbeispiel gab es 15 verschiedene zu analysierende Abteilungen beziehungsweise Gruppen. Ein Interview nahm zwischen einer und vier Stunden in Anspruch. In Sonderfällen, vor allem wenn unterschiedlichste Referenzbeispiele analysiert wurden, war mehr Zeit erforderlich.

Zur Vorbereitung der Komplexitätsinterviews wurde die Vorlage der Tätigkeitsanalyse mit den einzelnen Referenzbeispielen befüllt. Je Vorlage wurden alle Referenzbeispiele eines Moduls zugefügt. Demzufolge gab es ebenso viele Vorlagen wie relevant gelistete Module. Anschließend wurden diese Vorlagen für jede zu betrachtende Abteilung auf A0 gedruckt. Pro Modul und Abteilung wurde somit ein Poster vorbereitet, welches als Basis für die Komplexitätsinterviews diente. Im ersten Schritt des Komplexitätsinterviews wurden in diese Postervorlagen die verschiedenen variantenabhängigen Tätigkeiten zur einmaligen Erzeugung und zur jährlichen Betreuung dieses Referenzbeispiels aufgelistet. Anschließend wurde eine Abschätzung der Aufwände, sowohl in Arbeitsstunden als auch für direkt monetäre Aufwände, diskutiert und in das

jeweilige Poster übertragen. Ein Beispiel solch einer ausgefüllten Tätigkeitsanalyse ist dieser Arbeit nicht beigelegt, da Geheimhaltungsvorschriften zu beachten sind.

Alle Interviews wurden von einem Interviewverantwortlichen organisiert. Dieser hatte neben der eigentlichen Moderation des Gesprächs zur Aufgabe, alle Tätigkeiten zu berücksichtigen und eine realitätsnahe Aufwandsabschätzung sicherzustellen. Dies konnte er mittels punktuellen Nachhakens ermöglichen. Weiterhin musste er garantieren, dass abteilungsübergreifende Tätigkeiten, wie interdisziplinäre Workshops, in allen beteiligten Bereichen aufgenommen wurden, dort aber jeweils nur die Aufwände der jeweiligen Abteilung Berücksichtigung fanden und diese weiterhin mit denen der anderen Bereiche konsistent waren. Um dieser Forderung gerecht zu werden, war es notwendig, dass es nur einen einzelnen Interviewverantwortlichen gab, da andernfalls Interdependenzen zwischen verschiedenen Abteilungen nicht ausreichend berücksichtigt wurden.

Nach Durchführung eines Komplexitätsinterviews musste in etwa die Hälfte der Dauer des Komplexitätsinterviews für die Nachbereitung eingeplant werden, um die Ergebnisse zu dokumentieren. Die Nachbereitung wurde vom Interviewverantwortlichen vorgenommen. Dazu wurden die in Arbeitszeit und direkten Geldeinheiten abgeschätzten Aufwendungen in eine Gesamtdatetei übertragen, welche alle Abteilungen je Modul berücksichtigt. Getroffene Annahmen wurden mittels Kommentarfunktion hinterlegt.

Nach der Durchführung der Komplexitätsinterviews wurde den Experten der einzelnen Abteilungen ein Fragebogen ausgehändigt, der ihre Einschätzung zu den Komplexitätsinterviews abfragte. Dieser Fragebogen wurde in Abschnitt 5.2 vorgestellt, die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 5.3 aufgeführt. Aufgrund von betrieblichen Gegebenheiten konnte dieser Fragebogen nur an die Nominierten eines einzelnen Standortes ausgeteilt werden. Die Experten der anderen Standorte wurden am Ende des Interviews mündlich zu ihrer Meinung über die Methode befragt.

Tabelle 5.3: Fragebogenauswertung Komplexitätsinterviews

Validierung: Bewertung von Komplexitätskosten ausgewählter Use-Cases					
Fragebogen Ergebnisse					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
1. Gesamteindruck der Methode					
Mein Gesamteindruck der Methode ist positiv	9	6	0	0	0
2. Struktur der Methode					
Der Aufbau der Excel Datei zur Komplexitätsbewertung ist <i>übersichtlich</i> .	9	6	0	0	0
Der Aufbau der Excel Datei ermöglicht eine spätere <i>Nachvollziehbarkeit der berechneten Komplexität</i> .	10	5	0	0	0
Der Aufbau der Excel Datei ermöglicht eine spätere <i>Nachvollziehbarkeit der getroffenen Annahmen</i> .	3	11	1	0	0
Die Bewertung der Aufwände in Stunden und Multiplikation mit den standortabhängigen Kostensätzen ermöglicht Flexibilität (Wiederverwendung für andere Standorte).	7	8	0	0	0
3. Durchführbarkeit der Methode					
Die Definition der einzelnen Tätigkeiten, die für neue Varianten durchzuführen sind, fällt mir leicht.	6	8	1	0	0
Die Bewertung des <i>einmaligen</i> Aufwandes der einzelnen Tätigkeiten für die Variantenszenarien fällt mir leicht.	3	11	1	0	0
Die Bewertung des <i>laufenden</i> Aufwandes der einzelnen Tätigkeiten für die Variantenszenarien fällt mir leicht.	3	11	1	0	0
Der Aufwand zur Bewertung der Tätigkeiten und Aufwände ist angemessen.	7	8	0	0	0
4. Ergebnisse der Methode					
Die Ergebnisse führen zu mehr Transparenz im Unternehmen.	12	3	0	0	0
Die Entscheidungsgrundlage neuer Varianten wird durch die Komplexitätsbewertung verbessert.	8	6	0	0	1
Ich freue mich, dass in Zukunft berücksichtigt wird, welche Auswirkungen neue Varianten auf meine Abteilung haben.	9	5	0	0	0
Weitere Anmerkungen:					
Für die Nachvollziehbarkeit der Annahmen sollten Informationen hinterlegt werden, wie es dazu kam.					
Die Eingabe der Werte erfolgt auf der Basis von Erfahrungswerten. Schlage vor, die Zuverlässigkeit dieser Werte durch Erfassung von IST-Werten im Nachgang zu verifizieren und zu verbessern. Könnte auch für Einzelaufgaben erfolgen.					
Besprechungen waren super vorbereitet und sicher moderiert! Weitere Anwendungen: Matrix Make or Buy, z.B. An den Ergebnissen bin ich in jedem Fall interessiert					
Eine Schätzung der Aufwände ist (leider) immer nur eine Schätzung. Bei bekannten / vergleichbaren Themen (Varianten) sicher genauer als bei Neuentwicklungen.					
Cost: Revenue benefit, Internal costs Time: Effort, DR impact Quality: Fulfilment & features / requirements, future competitiveness					
These 3 criteria should all be assessed with module standardisation, in my opinion. If fulfilled / transparent, then we can't go wrong!					
Evtl. Unterteilung der einzelnen Bereiche der Wertschöpfungskette auf unterschiedliche Registerblätter (bessere Übersicht, kann aber auch unterschiedlich empfunden werden)					
Es ist bei größeren Tätigkeiten recht schwierig eine Zuordnung zu den Variantenszenarien vorzunehmen. Nach einer gewissen Zeit sollte deshalb die Auswahl der Variantenszenarien überprüft und optimiert werden.					

In Summe sind 15 vollständig ausgefüllte Fragebögen für die Validierung berücksichtigt worden. Alle Befragten haben zugestimmt, dass der Gesamteindruck der Methode positiv ist. Dabei haben 9 Teilnehmer 'Stimme voll und ganz zu' angegeben, 6 Teilnehmer haben 'Stimme eher zu' ausgewählt. Somit waren sich die Experten bei Bosch Thermotechnik einig, dass die Methode der Komplexitätsinterviews einen guten Gesamteindruck hinterlassen hat. Eine weitere Anwendung zur Bewertung noch nicht berücksichtigter Varianzebenen sowie beim Hinzufügen weiterer Referenzbeispiele ist wahrscheinlich.

Auch die Struktur der Methode wurde größtenteils positiv bewertet. Alle Teilnehmer haben zugestimmt, dass der Aufbau der Excel Datei für die Komplexitätsbewertung übersichtlich ist und zu einer späteren Nachvollziehbarkeit der errechneten Ergebnisse befähigt. Den Fragebogenteilnehmern zufolge ermöglicht die Vorgehensweise der Komplexitätsbewertung eine hohe Flexibilität, da die Berücksichtigung standortabhängiger Kostensätze eine Wiederverwendung für andere Standorte erlaubt. Bis auf eine Rückmeldung wurde die Bewertung der Nachvollziehbarkeit der getroffenen Annahmen positiv eingeschätzt. Es haben jedoch lediglich 3 Teilnehmer die volle Zustimmung gegeben, 11 Teilnehmer haben 'Stimme eher zu' vermerkt. Eine etwaige zukünftige Überarbeitung der Methode sollte dies berücksichtigen und an diesem Punkt ansetzen.

Die Durchführbarkeit der Methode auf Basis der Angabe der verschiedenen Tätigkeiten und auch Aufwandsabschätzungen ist allen Teilnehmern, mit Ausnahme von einem, leicht gefallen. Hier ist erkennbar, dass den Teilnehmern die Definition der Tätigkeiten leichter fällt, als die Abschätzung des einmaligen und laufenden Aufwandes dieser. Die Auflistung der variantenabhängigen Tätigkeiten wurde auch vom Interviewverantwortlichen als leichtgängiger wahrgenommen, als die Abschätzung des Aufwandes zur Durchführung der einzelnen Tätigkeiten pro Szenario. Es wurde jedoch in Gesprächen bestätigt, dass die Abschätzung von Tätigkeit zu Tätigkeit leichter fällt, da sich die Experten an die prinzipielle Vorgehensweise gewöhnt hatten. Weiterhin haben alle 15 Fragebogenteilnehmer zugestimmt, dass der Bewertungsaufwand der Methode angemessen ist.

Zuletzt wurde ein Stimmungsbild hinsichtlich der Ergebnisse der Methode und damit der hieraus resultierenden vorbewerteten Referenzbeispiele abgefragt. Alle Teilnehmer haben zugestimmt, dass die Ergebnisse zu mehr Transparenz im Unternehmen führen. Auch die Entscheidungsgrundlage neuer Varianten wird den Fragebogenteilnehmern zufolge mittels der Komplexitätsbewertung verbessert. Hier konnte jedoch ein Teilnehmer keine Aussage treffen. Dies lässt sich damit erklären, dass in diesem Validierungsschritt noch keine Variantenentscheidung mittels der Methodik unterstützt wurde. Zuletzt haben alle Teilnehmer zugestimmt, dass sie es positiv einschätzen, dass nun in neuen Variantenentscheidungssituationen die Auswirkungen verschiedener Szenarien auf ihren Bereich Berücksichtigung finden.

Neben der Beantwortung der Fragen wurde den Teilnehmern die Möglichkeit eingeräumt, Anmerkungen anzubringen. Diese sind ebenfalls in Tabelle 5.3 dargestellt. Ein Hauptthema war, dass eine Abschätzung der Werte immer nur eine Schätzung bleibt und eine nachträgliche Verifizierung dieser sinnvoll ist. Wie jedoch bereits zu Beginn dieses Kapitels erläutert, kann im Rahmen dieser Arbeit nur eine Validierung durchgeführt werden, da eine Verifizierung der Komplexitätskosten erst zum Ende des Modullebenszyklus möglich ist. Im Validierungszeitraum ist eine Verifizierung der Komplexitätskosten noch nicht durchführbar.

Auf Basis der Fragebogenergebnisse, wie auch der direkten Beobachtung während der Durchführung der Fallstudie, kann der Schluss gezogen werden, dass sich die neue Methode der Komplexitätsinterviews für die Analyse von Komplexitätskosten prinzipiell eignet. Die Fallstudienteilnehmer haben zugestimmt, dass der Aufwand zur Bewertung der Komplexitätskosten für den Erkenntnisgewinn gerechtfertigt ist. Die darauf aufbauende Ableitung der Komplexitätskosten neuer Szenarien verringert den Bewertungsaufwand zusätzlich und die Eignung der neuen Methode zur Bewertung von Komplexitätskosten, auf Basis von Komplexitätsinterviews, ist damit validiert.

5.4.3. Validierung der Strategy-Contribution-Map

Neben den vorbereiteten Komplexitätskosten der Referenzbeispiele ist die Erstellung der Vorlage der Strategy-Contribution-Map der zweite große Teilaspekt der Vorleistungsphase der Methodik. Die Validierung der dazugehörigen Vorgehensweise wird nun vorgestellt. Ergebnis dieser Systematik ist eine Liste der bei Variantenentscheidungen zu betrachtenden Strategieelemente auf den Ebenen Unternehmensstrategie, Produktarchitekturstrategie sowie Portfoliostrategie. Zu dieser Liste zählt eine genaue Beschreibung des jeweiligen Strategieelementes, eine Angabe für welche Module diese Elemente relevant sind sowie eine Gewichtung der einzelnen Aspekte. Diese Ergebnisse werden innerhalb eines Workshops gesammelt, welcher ebenfalls bei Bosch Thermotechnik durchgeführt wurde (siehe Abbildung 5.17).

Zur Vorbereitung des Workshops wurden zunächst alle Strategieelemente von Bosch Thermotechnik auf Unternehmens-, Produktarchitektur- und Portfolioebene gesammelt. Dazu wurden diverse interne Unternehmenspräsentationen, Dokumentationen des Produktarchitekturprojektes sowie weitere Unterlagen durchgesehen und es wurden Gespräche mit Mitarbeitern geführt. Die damit gesammelten Strategieelemente wurden kombiniert und für den Workshop aufbereitet.



Abbildung 5.17: Validierung der Strategy-Contribution-Map

Auf dieser Basis konnte ein interdisziplinärer Workshop aufgesetzt werden. Teilnehmer des Workshops waren Mitarbeiter aus der Entwicklung, dem Vertrieb, der Produktion sowie die Verantwortlichen des modularen Produktarchitekturprojektes. Dabei haben Mitarbeiter auf verschiedenen hierarchischen Ebenen, bis hin zum mittleren Management, teilgenommen. Insgesamt haben bei Bosch Thermotechnik 12 Personen an dem Workshop partizipiert. Diese Teilnehmeranzahl wurde vorher definiert, um einen möglichst breitgefächerten, dennoch aber möglichst effizienten, Workshop durchzuführen.

Nachdem allen Teilnehmern die Ziele des Workshops sowie die Relevanz der Ergebnisse für die spätere Methodik erläutert worden sind, wurden zunächst die vorbereiteten Strategieelemente vorgestellt. Anschließend konnten diese diskutiert, fehlende Strategieelemente hinzugefügt und für Variantenentscheidungen irrelevante Elemente gestrichen werden. Zudem wurde für jedes verbliebene Strategieelement eine kurze Beschreibung hinzugefügt, damit bei späteren Bewertungen von Variantenszenarien hinsichtlich eines spezifischen Strategieelementes die gleichen Annahmen zugrunde gelegt werden. Aus Geheimhaltungsgründen können die verschiedenen, bei Bosch Thermotechnik gesammelten, Strategieelemente nicht aufgeführt werden. Da diese jedoch von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich sind, ist dies für die Validierung dieser Methodik auch nicht von Relevanz.

Nachdem alle Strategieelemente, die für Variantenentscheidungen von Bedeutung sind, gesammelt wurden, konnte im nächsten Workshopschritt diskutiert werden, für welche Module welche Elemente zu betrachten sind. Dies erlaubt, dass bei neuen Variantenentscheidungssituationen nur diejenigen Strategieelemente erscheinen, die für das aktuell betrachtete Modul Relevanz haben.

Im letzten Schritt wurden jedem Workshopteilnehmer drei Bewertungsvorlagen mit den Zahlen 1-5 ausgehändigt. Die Teilnehmer wurden gebeten, die Strategieelemente je Strategieebene hinsichtlich ihrer Relevanz für Variantenentscheidungen zu priorisieren. Die Bewertung mit der Zahl eins indiziert eine hohe Bedeutung, die mit der Zahl 5 eine geringe Bedeutung. Waren mehr als fünf Strategieelemente gelistet, so wurden die am wenigsten relevanten Elemente ohne Wertung versehen. Blieb am Ende der Bewertung ein Strategie-

element ganz ohne Wertung, wurde entschieden, dass dieses von der Liste der relevanten Strategieelemente zu löschen war.

Mit der Bewertung der Strategieelemente wurde der Workshop beendet und die Nachbereitung war vom Workshopleiter durchzuführen. Dazu wurden die gesammelten und für wichtig erklärten Strategieelemente pro Strategieebene in die Methodenunterstützung auf Basis von Excel übertragen. Hinzu kamen die Beschreibungen der Strategieelemente sowie eine Auflistung der für den jeweiligen Aspekt relevanten Module. Weiterhin wurde der Mittelwert der Strategieelementwertung berechnet und basierend auf diesem eine Priorisierung der Strategieelemente sowie ein Gewichtungsfaktor bestimmt. Dieser Gewichtungsfaktor wurde ebenfalls in der Excel Datei hinterlegt.

Der bei der Bosch Thermotechnik GmbH reibungslose Ablauf des Workshops zur Vorbereitung der Strategy-Contribution-Map dokumentiert die Durchführbarkeit dieses Methodenteilaspektes. Die Teilnahme von Mitarbeitern unterschiedlichster Disziplinen wie auch Hierarchieebenen schaffte Bewusstsein für alle relevanten Strategieelemente auf allen Unternehmensebenen. Unterschiedliche Einschätzungen der einzelnen Elemente in den einzelnen Abteilungen endeten in notwendigen Diskussionen und erzeugten Transparenz bei den Workshopteilnehmern. Eine anschließende gemeinsame Beschreibung der Strategieelemente auf Unternehmens-, Produktarchitekturprojekt- sowie Portfoliostrategieebene führte zu einem Konsens. Damit konnte ein gemeinsames Verständnis geschaffen werden, welche Aspekte bei Variantenentscheidungen von Bedeutung sind und welche tendenziell weniger wichtig sind. Die genaue Nachbereitung und Dokumentation der Ergebnisse des Workshops sowie die Hinterlegung in der Methodenunterstützung mittels Excel sicherte die Nachhaltigkeit der Workshopresultate.

5.4.4. Auswertung der ersten Validierungsphase

Um die Vorleistung der Methodik zu validieren, waren drei Teilschritte von Bedeutung. Zunächst wurde die Definition der Referenzbeispiele betrachtet, welche in der Methodenanwendung zur Abschätzung der Komplexitätskos-

ten neuer Varianten zu Rate zu ziehen sind. Die Vorgehensweise der Komplexitätskostenbewertung mittels Komplexitätsinterviews war Gegenstand im zweiten Teilschritt der Validierung. Zuletzt wurde die Erstellung der Strategy-Contribution-Map validiert. Mittels dieser drei Teilschritte konnte die erste Phase der neuen VM_{ahead} Methodik geprüft werden.

In der ersten Validierungsphase waren drei Prüfungshypothesen zu testen. Es können alle drei Prüfungshypothesen bestätigt werden, wie auch in Tabelle 5.4 dargestellt ist.

Zur Validierung von Prüfungshypothese H2 muss aufgezeigt werden, dass die Methodik speziell auf modulare Produktfamilien zugeschnitten ist und deren besondere Charakteristika unterstützt werden. Die Validierung wurde bei Bosch Thermotechnik auf Basis einer modularen Produktfamilie durchgeführt. Dabei wurde bei der Definition der Referenzbeispiele speziell auf mögliche, zukünftige Module und Modulvarianten Rücksicht genommen. Neben der Modulbetrachtung wurden auch Referenzbeispiele auf Produktebene aufgenommen, wobei jedoch der Modulbetrachtung Vorrang eingeräumt wurde.

Tabelle 5.4: Validierungsergebnisse der Methodenvorleistung

Prüfungshypothese	Art der Datensammlung	Ergebnis der Validierung
2 Die Methodik ist auf modulare Produktarchitekturen zugeschnitten und die Charakteristika modularer Produktfamilien werden explizit berücksichtigt.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation Aufbau der Bewertung ▪ Expertenbefragung der Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur 	Validierung auf Basis einer modularen Produktfamilie.
3d Das Bewertungsverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung neuer Module und Modulvarianten bei geringem Erhebungsaufwand der notwendigen Daten und schafft dabei größtmögliche Transparenz bei der Bewertung. Grundlage bildet ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der Komplexitätskosten neuer Varianten.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation Bewertung Komplexitätskosten ▪ Beobachtung bei Komplexitätsbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Komplexitätsbewertung 	Aufwand der Datenerhebung wurde als angemessen von den Studienteilnehmern eingeschätzt.
4 Die Vorgehensweise und das Bewertungsverfahren sind leicht nachvollziehbar und verständlich.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beobachtung bei Sammlung von Daten für Referenzbeispiele ▪ Beobachtung bei Variantenbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei initialer Datensammlung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Variantenbewertung 	Vorgehensweisen der Teilaspekte der Vorleistungsphase wurden als verständlich und nachvollziehbar von den Studienteilnehmern bewertet.

Durch die Vorgabe, dass ein Variantenmanagement konsequent bei intermodularen Schnittstellenverletzungen durchzuführen ist, werden die modularen Designregeln in die Methodik aufgenommen. Weiterhin ermöglicht die Vorgabe relevanter Strategieelemente einzelner Module eine Erleichterung bei der Bewertung des strategischen Einflusses neuer Module und Modulvarianten. Damit konnte Prüfungshypothese H2 bestätigt werden.

Prüfungshypothese H3 zielt vor allem auf die Anwendung der neuen Methodik ab. Als Teilaspekt dieser Hypothese ist zu beweisen, dass ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung von Komplexitätskosten als Methodenteilbereich eingeführt wurde. Mittels der neuen Methode der Komplexitätsinterviews wurden insgesamt 43 Referenzbeispiele auf Modul-, Modulvarianten- und Produktebene hinsichtlich ihrer einmaligen wie auch laufenden Komplexitätskosten analysiert. Ein an die Studienteilnehmer ausgeteilter Fragebogen kann nachweisen, dass der Aufwand der Komplexitätskostenbewertung von allen teilnehmenden Personen als angemessen bewertet wurde. Damit kann dieser Teilaspekt von Prüfungshypothese H3 als bewiesen angesehen werden.

Zuletzt ist Prüfungshypothese H4 und damit eine leicht nachvollziehbare und verständliche Vorgehensweise der Methodik zu bestätigen. Somit ist H4 sowohl in der Vorleistungs- wie auch Anwendungsphase der Methodik von Relevanz und hier bereits zu berücksichtigen. Die Fragebogenteilnehmer haben bestätigt, dass diese Anforderung bei den Komplexitätsinterviews erfüllt ist. Weiterhin wurde in Gesprächen nach den Workshops zur Erstellung des Rahmenwerkes der Komplexitätsbewertung sowie zur Erstellung der Strategy-Contribution-Map ein Stimmungsbild hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit eingeholt, welches auch positiv bewertet wurde. Prüfungshypothese H4 ist somit für die Vorleistungsphase ebenfalls bestätigt.

5.5. Validierung der Anwendung der Methodik

Nachdem die Vorleistungen der Methodik validiert wurden und die dazugehörigen Prüfungshypothesen bestätigt worden sind, wird nun die Anwendungsphase der Methodik betrachtet. Die Anwendungsphase der VM_{ahead} Methodik wird anhand der in Abschnitt 5.3 beschriebenen Variantenentscheidungssituation vorgestellt und geprüft. Weiterhin wurde die Methodik bei Bosch Thermo-technik in mehreren verschiedenen Fällen angewandt. Dabei wurden teilweise auch nur einzelne Unterasspekte der Methodik geprüft. Aufgrund der vollständigen Anwendung der zu validierenden Methodik bei der spezifischen Varianten-anfrage eines verbesserten Benutzerkonzeptes wird dieses nun zur Validierung angeführt.

Dazu werden zunächst die Durchführung der Variantenbewertung und anschließend die auf Basis der Bewertung getroffene Variantenentscheidung validiert. Auf dieser Grundlage kann die zweite Validierungsphase bewertet und mit den aufgestellten Prüfungshypothesen abgeglichen werden. Die Ausführungen der Validierung in diesem Abschnitt stellen das prinzipielle Vorgehen der Fallstudie vor. Insofern Zahlenwerte angegeben werden, so sind diese aus Geheimhaltungsgründen anonymisiert, da keine detaillierten Variantenbewertungsergebnisse vorgestellt werden dürfen. Auch die strategischen Aspekte wurden aus Gründen der Vertraulichkeit durch generische Beschreibungen ersetzt.

5.5.1. Validierung der Variantenbewertung

Die bei Bosch Thermo-technik aufgekommene Variantenanfrage einer vereinfachten Bedienoberfläche einer Gas-Brennwertheizung für den Installateur wie auch Endkunden dient zur Validierung der neuen VM_{ahead} Methodik. Die einzelnen Schritte der Vorleistungsphase der Methodik wurden bereits bei Bosch Thermo-technik durchgeführt und die vorgeschlagene Methodenimplementierung mittels VBA in Kombination mit Excel wurde umgesetzt.

Um ein Variantenentscheidungsszenario mittels der Methodik zu bewerten, ist ein Variantenverantwortlicher auszuwählen. Diese Person ist für die vollständige Anwendung der Methodik verantwortlich und sollte dementsprechend möglichst unvoreingenommen sein, damit eine neutrale Bewertung sichergestellt werden kann. Während der Durchführung sieht die Methodik eine Unterstützung durch die Entwicklungsabteilung, den Vertrieb sowie von Zuständigen des modularen Produktarchitekturprojektes vor. Der Variantenverantwortliche bleibt bei Fragen jedoch Hauptansprechpartner.

Im ersten Schritt der Methodik ist die Spezifizierung der verschiedenen Variantenszenarien vorgesehen. Dazu ist zunächst die Excel Datei der Methodik zu öffnen. Die dabei erscheinende Eingabemaske ist in Abbildung 5.18 dargestellt (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Vor der Eingabe von Daten sieht die Methodik eine Entscheidung

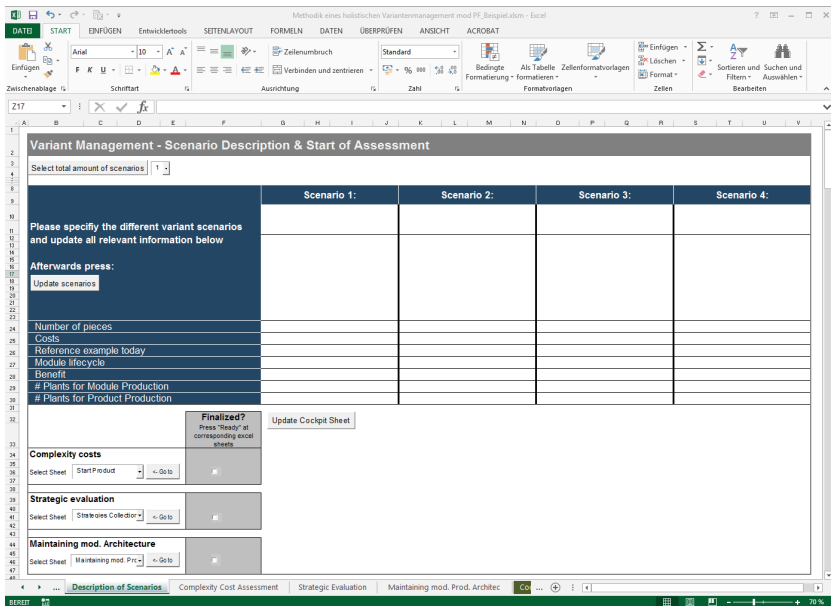


Abbildung 5.18: Starten der Methodik, Eingabemaske

hinsichtlich der Anzahl der zu betrachtenden Variantenszenarien vor. Maximal fünf verschiedene Konzepte können bewertet werden. Die Methodik hat mit dieser Restriktion zum Ziel, dass sich der Variantenverantwortliche bereits vor Verwendung der Methodik Gedanken über die einzelnen Szenarien macht und eine Eingrenzung auf höchstens fünf Konzepte, basierend auf qualitativen Überlegungen, vornimmt. Für die vorliegende Variantenanfrage sind vier verschiedene Konzeptalternativen vorgesehen (Abbildung 5.18).

In der Eingabemaske der Methodik sind nachfolgend die vier vorbereiteten Szenarien zu detaillieren. Die vier potentiellen Konzepte zur Realisierung der Marktanfrage einer vereinfachten Bedienoberfläche des Boilers für den Installateur und den Endkunden wurden in Abschnitt 5.3 bereits vorgestellt. Diese vier Szenarien wurden vom Variantenverantwortlichen in Zusammenarbeit mit dem Elektronik-Entwicklungsteam erarbeitet. Dabei wurde entschieden, dass dieser Bedarf von hoher Wichtigkeit für den Kunden ist, so dass eine Nichterfüllung außer Frage stand. Der Verantwortliche hat nun die Aufgabe, die definierten Szenarien inklusive einer kurzen Beschreibung und Skizze in die Szenarienvorlagen einzutragen. Daneben sieht die Methodik die Angabe von Stückzahlen, erwarteter Konzeptkosten, eines aktuell existierenden Referenzbeispiels, der Dauer des Modullebenszyklus, erwarteter Vorteile des Szenarios sowie der Anzahl der produzierenden Werke des Moduls und des Boilers vor. Diese Angaben werden vom Variantenverantwortlichen eingetragen. Die ausgefüllte Eingabemaske ist in Abbildung 5.19 dargestellt. Dabei wird hier für

Variant Management - Scenario Description & Start of Assessment				
Select total amount of scenarios + -				
Please specify the different variant scenarios and update all relevant information below Afterwards press: <input type="button" value="Update scenarios"/>	Scenario 1:	Scenario 2:	Scenario 3:	Scenario 4:
	Advanced user guidance via foil technology	Simplified user guidance via spring technology	(Simplified) user guidance via foil and spring technology	(Simplified) user guidance via foil technology
	408.000	408.000	200.000 / 208.000	200.000 / 208.000
	€€€	€	€€	€€€
	Elektronik A	Elektronik A	Elektronik A	Elektronik A
	5	5	5	5
	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	1	1	1	1
	5	5	5	5

Abbildung 5.19: Ausgefüllte Eingabemaske der Variantenbewertung

die Kosten eine Skala von € (günstigstes Szenario) bis €€€€ (teuerstes Szenario) angegeben. Die angegebenen Werte für Stückzahlen, Modullebensdauer und Anzahl produzierender Werke sind ebenfalls anonymisiert und dienen hier lediglich zu Anschauungszwecken. Nachdem alle Angaben vervollständigt sind, kann der Button 'Update scenarios' geklickt werden. Damit werden alle weiteren Tabellenblätter mit den eingetragenen Angaben aktualisiert.

Nachdem alle Angaben für die vier verschiedenen Szenarien eingetragen wurden, können die Konzepte hinsichtlich Komplexitätskosten, strategischem Einfluss sowie Auswirkungen auf die modulare Produktarchitektur untersucht werden. Mit der Bewertung der Komplexitätskosten wird begonnen. Bei allen vier Szenarien handelt es sich um eine bzw. zwei potentielle neue Elektronikvarianten. Das Elektronikmodul wurde in der Vorleistungsphase der Methodik als relevant für ein ausführliches Variantenmanagement gelistet. Daraus lässt sich schließen, dass eine detaillierte Komplexitätskostenbetrachtung sinnvoll ist und Referenzbeispiele existieren.

A: Komplexitätsbewertung

Mittels eines Buttons in der Excel Datei kann sich der Variantenverantwortliche auf die zugehörigen Tabellenblätter der vorbereiteten Referenzbeispiele leiten lassen. Auf einer Erklärungsseite hat er die Wahl, ob er sich alle Referenzbeispiele oder lediglich eine Auswahl anzeigen lässt. Da die Methodik neu war, schien es sinnvoll, zunächst alle Referenzbeispiele einzublenden und anschließend die Irrelevanten eigenständig auszublenden. Je häufiger die Methodik jedoch verwendet wird, desto leichter fällt es, eine Vorauswahl zu treffen.

Szenario 1 und 2 resultieren in jeweils einer neuen Elektronikvariante. Dementsprechend ist es ausreichend, die Komplexitätskosten anhand eines einzelnen geeigneten Referenzbeispiels abzuleiten. Szenario 3 und 4 münden in je zwei neuen Elektronikvarianten. Hier ist die Kombination aus zwei Referenzbeispielen notwendig. Szenario 1 kann eine verbesserte Benutzerbedienung mittels einer Folientechnologie realisieren. Da hier eine neue Technologie angewandt

wird, ist der Aufwand ähnlich wie bei einer neuen mechanischen Variante einzuschätzen. Hingegen basiert Szenario 2 auf einem existierenden Konzept, bei dem die Art der Bestückung der Leiterplatte abweichend zu bestehenden ist. Eine Bestückungsvariante einer existierenden PCB ist das Resultat. Szenario 3 ist die Kombination aus Szenario 1 und 2 und hat damit eine neue mechanische Variante und eine neue Bestückungsvariante zum Ergebnis. Szenario 4 resultiert ebenso in zwei neuen Varianten, zum einen in einer neuen mechanischen Variante und zum anderen in einer neuen Funktionsvariante, da ein vereinfachtes Bedienkonzept auch mittels einer reduzierten Funktionalität, basierend auf der nun implementierten Folientechnologie, umgesetzt werden kann. Die ausgewählten Referenzbeispiele pro Variantenszenario sind in Abbildung 5.20 dargestellt.

Im nächsten Schritt werden die ausgewählten, vorbewerteten Referenzbeispiele fallspezifisch an die jeweiligen Variantenkonzepte angeglichen. Dazu werden in allen vier Szenarien die Entwicklungsaufwände neu bewertet. Grund ist, dass diese von Fall zu Fall sehr unterschiedlich und nur sehr schwer zu genera-

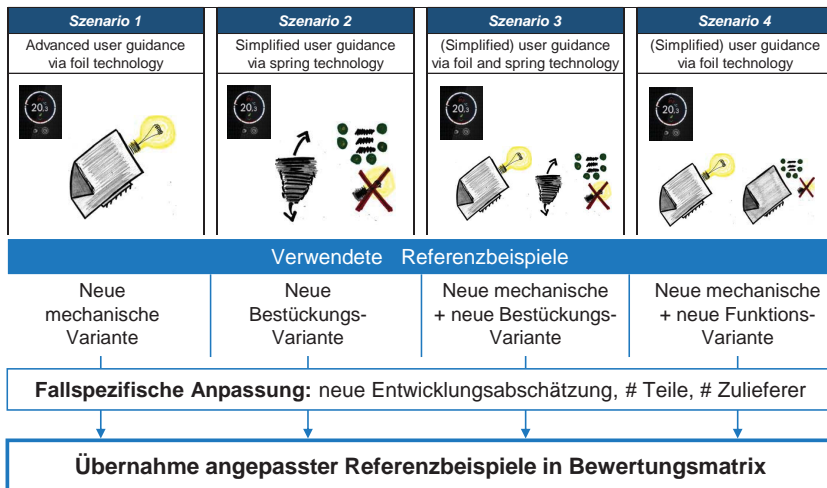


Abbildung 5.20: Komplexitätskostenableitung

lisieren sind. Mittels Anpassung der erwarteten Anzahl an Neuteilen und neuer Zulieferer können die Werte der anderen Abteilungen durch einen Automatismus adaptiert werden. Die angepassten Referenzbeispiele können anschließend mittels eines Buttons in das eigentliche Bewertungstabellenblatt übernommen werden.

Der Variantenverantwortliche ist federführend bei der Durchführung der Komplexitätskostenbewertung. Bei der Auswahl geeigneter Referenzbeispiele wurde bei Bosch Thermotechnik jedoch auf Experten aus der Entwicklungsabteilung zurückgegriffen. Weiterhin war für eine Neubewertung der Entwicklungsaufwände und die Abschätzung der Neuteile der gleiche Personenkreis zuständig. Überlegungen hinsichtlich zu erwartender neuer Zulieferer wurden mit der Einkaufsabteilung besprochen. Weitere fallspezifische Anpassungen waren im vorliegenden Variantenszenario nicht notwendig, da die neuen Variantenszenarien den vorbewerteten Referenzbeispielen sehr ähnlich waren. Von Fall zu Fall kann es jedoch sein, dass Experten aus weiteren Abteilungen in die Kostenableitung eingebunden werden sollten.

Ein Beispiel der übertragenen, vorbewerteten Komplexitätskosten der vier Variantenszenarien ist in Abbildung 5.21 visualisiert (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Aus Geheimhaltungsgründen konnten die tatsächlichen Werte nicht übernommen werden. Sie wurden daher in anonymisierte Zeiteinheiten (TU) und monetäre Werte (MU) umgewandelt. Auch die Summe der einmaligen und wiederkehrenden monetären sowie der in Zeiteinheiten gemessenen Aufwände ist anonymisiert.

Mittels der in Abschnitt 4.3 vorgestellten Gleichung (4.1) werden anschließend die Lebenszykluskomplexitätskosten berechnet. Eingangsgrößen sind die abgeleiteten monetären und zeitlichen Aufwände der Szenarien und die in der Eingabemaske angegebenen Modullebenszyklen. Auch hier können aus Vertraulichkeitsgründen keine exakten Werte angegeben werden, eine qualitative Abschätzung ist jedoch möglich. So wurde Szenario 1 als Referenz bestimmt und der Komplexitätskostenwert 100% wurde zugewiesen. Alle anderen drei Szenarien werden im Vergleich zu diesem Benchmark-Szenario bewertet.

Complexity Assessment of new electronic module variant concepts																	
Module (Variant) Concepts fulfilling new market request: Easier end-user boiler handling	Scenario 1				Scenario 2				Scenario 3				Scenario 4				
	Advanced user guidance via foil technology				Simplified user guidance via spring technology				(Simplified) user guidance via foil and spring				(Simplified) user guidance via foil technology				
Tasks to create and maintain module (variant)	initial		recurring		initial		recurring		initial		recurring		initial		recurring		
R&D	Task R&D 1	25	TU	1	TU/a	25	TU	1	TU/a	34	TU	1	TU/a	27	TU	1	TU/a
	Task R&D 2	400	MU	50	MU/a	400	MU	50	MU/a	420	MU	60	MU/a	405	MU	55	MU/a
	Task R&D 3: Assumption 2	30	TU	0	TU/a	30	TU	0	TU/a	34	TU	0	TU/a	32	TU	0	TU/a
	...																
PUR	Task R&D 11	20	TU	3	TU/a	20	TU	3	TU/a	28	TU	4	TU/a	23	TU	4	TU/a
	Task PUR 1	4	TU	0	TU/a	4	TU	0	TU/a	5	TU	0	TU/a	4	TU	0	TU/a
	Task PUR 2	2	TU	0	TU/a	2	TU	0	TU/a	3	TU	0	TU/a	2	TU	0	TU/a
	Task PUR 3: Assumption 3	2	TU	0	TU/a	2	TU	0	TU/a	3	TU	0	TU/a	2	TU	0	TU/a
LOG	Task PUR 13: Assumption 7	5	TU	4	TU/a	5	TU	4	TU/a	6	TU	4	TU/a	5	TU	4	TU/a
	...																
	Task Log 1: Assumption 13	0	MU	22	MU/a	0	MU	22	MU/a	0	MU	33	MU/a	0	MU	22	MU/a
	Task Log 2	0	MU	9	MU/a	0	MU	9	MU/a	0	MU	11	MU/a	0	MU	9	MU/a
Task Log 4	0	MU	837	MU/a	0	MU	627	MU/a	0	MU	955	MU/a	0	MU	982	MU/a	
...																	
Task Log 26: Assumption 14	0,8	TU	0	TU/a	1,5	TU	0	TU/a	2	TU	0	TU/a	2	TU	0	TU/a	
summarized time inputs	267	TU	14	TU/a	264	TU	15	TU/a	315	TU	31	TU/a	288	TU	17	TU/a	
summarized monetary inputs	740	MU	932	MU/a	713	MU	723	MU/a	888	MU	1.080	MU/a	785	MU	1.088	MU/a	
complexity cost benchmarking	100 %				85 %				122 %				114 %				

Abbildung 5.21: Komplexitätskostenbewertung der Alternativszenarien

Für Szenario 2 wurde eine Variante mit geringerem Komplexitätslevel gewählt und dementsprechend kann die Erwartung bestätigt werden, dass dieses Variantenkonzept geringere Komplexitätskosten aufweist. Die neue Bestückungsvariante (Szenario 2) hat im Vergleich zu der neuen mechanischen Variante (Szenario 1) um 15% verringerte Komplexitätskosten. Szenario 3 und 4 resultieren in zwei neuen Varianten und dementsprechend sind die Komplexitätskosten 14 % beziehungsweise 22% höher. Dabei weist Szenario 4, durch die Entwicklung von zwei Varianten auf Basis der gleichen technischen Lösung, eine geringere Komplexität auf als Szenario 3, welches auf zwei unterschiedlichen technischen Konzepten beruht.

Mit der Berechnung der Lebenszykluskomplexitätskosten ist der erste Teilaspekt der Variantenbewertung abgeschlossen. Der Variantenverantwortliche

markiert mit einem Klick dieses Kriterium als abgeschlossen und wird damit wieder auf die Eingabemaske geleitet. Hinter dem Teilaspekt Komplexitätskosten wird ein Haken gesetzt und dieser wird damit als finalisiert vermerkt.

B: Strategische Bewertung

Als zweiter Teilaspekt der Variantenbewertung wird die Analyse des strategischen Einflusses für jedes der vier Variantenkonzepte durchgeführt. Die eigentliche Bewertung der strategischen Aspekte wird dabei von Mitarbeitern des Vertriebs, hinsichtlich der strategischen Aspekte des Unternehmens wie auch Portfolios, und von den Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur, bezüglich derjenigen Elemente, die die Einführung der Modularisierung betreffen, durchgeführt. Der Variantenverantwortliche hat jedoch die Aufgabe sicherzustellen, dass eine unvoreingenommene, faire Bewertung stattfindet.

Vor der Analyse des strategischen Einflusses sind zunächst die zu bewertenden Strategieelemente auszuwählen. Mittels eines Buttons in der Eingabemaske wird der Variantenverantwortliche zu den gesammelten, spezifizierten Strategieelementen auf Unternehmens-, Produktarchitekturprojekt- und Portfoliobene geleitet. Auf einer kurzen Infoseite hat der Variantenverantwortliche die Möglichkeit, eine Vorauswahl aller Strategieelemente zu veranlassen. Da alle vier Szenarien in einem respektive zwei neuen Elektronikmodulvarianten resultieren, ist es in diesem Fall zielführend, nur diejenigen Strategieelemente anzuzeigen zu lassen, die für das Elektronikmodul von Relevanz sind. Das dabei erzeugte Auswahlblatt ist in Abbildung 5.22 visualisiert. Auch hier können aus Geheimhaltungsgründen keine Strategieelemente gezeigt werden, so dass die tatsächlichen Strategieaspekte von Bosch Thermotechnik durch generische Bezeichnungen ersetzt wurden.

Bei den Unternehmensstrategien werden die Elemente COS2, COS3, COS5 und COS7 gewählt. Diese sind zwar hinsichtlich ihrer Gewichtung weniger relevant als COS1 und COS6, bilden jedoch die für diese Entscheidung zu betrachtenden Kriterien besser ab. Die Strategieelemente PRS1, PRS3, PRS4 sowie PRS5 werden zur Bewertung des Einflusses auf die Produktarchitek-

5. Validierung der Methodik

Strategy Collection					
Strategy Level	Strategy Element	Description of Strategy Element	Weight	Evaluation Criteria	Selection (please select 4 strategies per level)
1. Company Strategies				# selected strategies:	4
1. Company Strategies	COS 1	Description COS 1	No. 2 Ø= 1,61	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose
	COS 2	Description COS 2	No. 3 Ø= 3,1	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	COS 3	Description COS 3	No. 4 Ø= 3,4	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	COS 4	Description COS 4	No. 5 Ø= 4,4	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose
	COS 5	Description COS 5	No. 5 Ø= 4,4	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	COS 6	Description COS 6	No. 1 Ø= 1,5	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose
	COS 7	Description COS 7	No. 6 Ø= 4,75	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	Own strategy			0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose
Own strategy			0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose	
2. Modular Product Architecture Project Strategies				# selected strategies:	4
2. Modular Architecture Strategies	PRS 1	Description PRS 1	No. 1 Ø= 1,3	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	PRS 2	Description PRS 2	No. 2 Ø= 2,61	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose
	PRS 3	Description PRS 3	No. 3 Ø= 3	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	PRS 4	Description PRS 4	No. 4 Ø= 3,2	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	PRS 5	Description PRS 5	No. 5 Ø= 4,5	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	Own strategy			0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose
Own strategy			0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose	
3. Portfolio Strategies				# selected strategies:	4
3. Portfolio Strategies	POS 1	Description POS 1	No. 1 Ø= 2,2	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	POS 2	Description POS 2	No. 3 Ø= 2,86	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	POS 3	Description POS 3	No. 2 Ø= 2,8	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	POS 4	Description POS 4	No. 5 Ø= 3,5	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	selected
	POS 5	Description POS 5	No. 4 Ø= 3,3	0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose
	Own strategy			0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose
Own strategy			0: Disagreement 5: Neutral (body's situation will not change) 10: Strong support of strategy	Please choose	

Abbildung 5.22: Auswahl relevanter Strategieelemente

turziele herangezogen. Für die Portfoliostrategieelemente wurden in Zusammenarbeit mit dem Vertrieb die Elemente POS1, POS2, POS3 und POS4 selektiert. Eine Auswahl der vorbereiteten Strategieelemente scheint in dieser Bewertungssituation ausreichend, so dass keine eigenen Aspekte hinzugefügt wurden.

Die insgesamt 12 gewählten Strategieelemente werden automatisch in das eigentliche Bewertungstabellenblatt überführt. Dieses beinhaltet zudem die vier Variantenkonzepte und eine Bewertungsvorlage (siehe Abbildung 5.23 -





Strategic Evaluation of Variant Concepts					Scenario 1:	Scenario 2:	Scenario 3:	Scenario 4:
Return to Overall Assessment					Advanced user guidance via foil technology	Simplified user guidance via spring technology	(Simplified) user guidance via foil and spring technology	(Simplified) user guidance via foil technology
Ready?		Strategy Level	Weight	Evaluation				
1. Company Strategies					COS 2	Description COS 2	No. 2 Q= 1,6 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	9
		COS 3	Description COS 3	No. 4 Q= 3,4 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	8	8	8	8
		COS 5	Description COS 5	No. 5 Q= 3,4 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	5	5	5	5
		COS 7	Description COS 7	No. 1 Q= 1,5 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	7	7	8	8
2. Product Architecture Strategies		PRS 1	Description PRS 1	No. 4 Q= 3,2 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	5	5	4	4
		PRS 3	Description PRS 3	No. 1 Q= 1,3 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	8	7	6	6
		PRS 4	Description PRS 4	No. 2 Q= 2,6 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	4	4	3	4
		PRS 5	Description PRS 5	No. 3 Q= 3 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	4	5	6	6
3. Portfolio Strategies		POS 1	Description POS 1	No. 1 Q= 2,2 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	8	9	6	6
		POS 2	Description POS 2	No. 3 Q= 2,85 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	8	9	3	4
		POS 3	Description POS 3	No. 5 Q= 3,5 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	4	5	1	3
		POS 4	Description POS 4	No. 2 Q= 2,8 C: Disagreement D: Neutral (foiled situation will not change) E: Strong support of strategy	10	10	3	3

Abbildung 5.23: Bewertung des strategischen Einflusses

eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben). Eine Einschätzung des Einflusses der verschiedenen Variantenkonzepte auf jedes einzelne Strategieelement ist von Mitarbeitern des Vertriebs vorzunehmen. Der Variantenverantwortliche hat die Aufgabe, die Bewertung kritisch zu hinterfragen, um eine möglichst neutrale Einschätzung sicherzustellen. Weiterhin ist er für die Dokumentation der Ergebnisse durch Hinterlegung aller getroffenen Annahmen zuständig. Sobald ein Konzept hinsichtlich eines Strategieelementes auf der Skala von 1-10 bewertet wurde, wird die zugehörige Tabellenzelle rot (1-4), gelb (5) oder grün (6-10) eingefärbt. Das Ergebnis der strategischen Bewertung ist in Abbildung 5.23 dargestellt.

Durch die farbliche Kennzeichnung der Bewertung ist bereits erkennbar, dass Szenario 2 strategisch am besten eingeschätzt wurde. Mit dieser Alternative wird zwar kein optimales Bedienkonzept erzeugt, die neue Benutzerführung ist jedoch besser als bestehende Lösungen. Durch den geringeren Komplexitätsgrad im Vergleich zu Szenario 1 wird Szenario 2 hinsichtlich der Komplexitätsauswirkungen besser bewertet, so dass die damit beeinflussten Strategieelemente höher eingestuft werden. Szenario 3 und 4 haben deutlich mehr rote Einschätzungen. Dies lässt sich durch die Generierung

zweier anstelle eines neuen Variantenkonzeptes erklären. Nachdem alle Variantenszenarien bewertet sind, kann der Variantenverantwortliche diesen Bewertungsteilaspekt als abgeschlossen markieren und er wird wieder auf die Eingabemaske zurückgeleitet. Dort ist nun ebenfalls ein Haken bei der Bewertung des strategischen Einflusses gesetzt.

C: Einfluss auf die modulare Produktarchitektur:

Als dritter Teilaspekt wird der Einfluss der verschiedenen Variantenszenarien auf die modulare Produktarchitektur bewertet. Diese Analyse führte der Variantenverantwortliche in Zusammenarbeit mit dem Elektronikmodulverantwortlichen durch, da dieser der Experte hinsichtlich der intermodularen Schnittstellen und modularen Bauräume ist. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.24 dargestellt (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben).

Zur Bewertung einer möglichen Verletzung der intermodularen Schnittstellen wird die Design Structure Matrix verwendet, welche alle intermodularen Schnittstellen des Elektronikmoduls zu den benachbarten Modulen aufführt. Alle vier Variantenkonzepte sind mit den definierten Schnittstellen kompatibel.

Maintaining Modular Product Architecture		Scenario 1:	Scenario 2:	Scenario 3:	Scenario 4:
Return to Overall Assessment Ready?		Advanced user guidance via foil technology	Simplified user guidance via spring technology	(Simplified) user guidance via foil and spring technology	(Simplified) user guidance via foil technology
Reference		Elektronik A	Elektronik A	Elektronik A	Elektronik A
Modular Design Rules	Adjustment of intermodular interfaces	No	No	No	No
	Adjustment of space envelope	No	No	No	No
Degree of Variety	Cost (0 -20) - Ø = 10 Value between 10-20 is cheaper Value between 0-10 is more costly	12	20	16	12
	Functionality (0-10) - Ø = 5	8	5	6	6
	External Perception (0- 10) - Ø = 5	7	7	2	2

Abbildung 5.24: Bewertung des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur

Auch eine Verletzung der modularen Bauräume kann verneint werden, da alle vier neuen Konzepte in die bestehenden Elektronikgehäuse passen. Da keines der beiden Kriterien der modularen Designregeln verletzt wird, sind die Zellen grün hinterlegt (siehe Abbildung 5.24).

Neben der Kompatibilität der verschiedenen Variantenkonzepte mit den modularen Designregeln ist der Grad der Unterschiedlichkeit bezüglich Kosten, Funktionalität und externer Wahrnehmung zu einer bestehenden Referenzvariante zu bewerten. Die Modulkosten der vier Variantenszenarien sind in allen Fällen besser als bei der bestehenden Referenzvariante Elektronik A. Da die Kosten der Federtechnologie niedriger sind als die Kosten der Folientechnologie, wird Szenario 2 am besten, Szenario 3 im Mittelfeld und Szenario 1 sowie 4 mit nur geringem Unterschied zur Referenzvariante bewertet. Die Funktionalität ist ebenfalls in allen vier Fällen besser als bei der existierenden Referenzvariante. Szenario 1, das in einem verbesserten Benutzerkonzept resultiert, wird am höchsten bewertet. Szenario 2, welches ein vereinfachtes Bedienkonzept zum Ergebnis hat, wird am niedrigsten bewertet. Szenario 3 und 4, welche jeweils in einem verbesserten und einem vereinfachten Benutzerkonzept resultieren, werden zwischen Szenario 1 und 2 eingestuft. Die externe Wahrnehmung wird bei Szenario 1 und 2 als gut eingestuft, da der Kunde mit beiden Konzepten ein verbessertes Benutzerkonzept vorfindet. Szenario 3 und 4 werden als schlechter bewertet, da die zwei neuen Varianten sich äußerlich sehr ähneln und lediglich der Funktionsumfang variiert. Der Kunde erkennt unter Umständen nicht sofort den Unterschied und könnte verwirrt sein.

Nachdem der Variantenverantwortliche gemeinsam mit dem Elektronikmodulverantwortlichen den Einfluss der vier Szenarien auf die modulare Produktarchitektur untersucht hat, kann dieser Bewertungsaspekt ebenfalls als abgeschlossen hinterlegt werden und auf der Eingabemaske wird ein Haken angebracht. Damit wurden alle relevanten Aspekte für eine Variantenentscheidung betrachtet, so dass eine Entscheidung getroffen werden kann. Diese Entscheidung wird im nachfolgenden Abschnitt 5.5.2 beschrieben.

Nach der Eingabe der Eingangsgrößen wie auch der Bewertung der einzelnen Teilaspekte wurden die diversen Beteiligten nach ihrer Meinung befragt. Der

Bewertungsaufwand bei der Methodik wurde als angemessen eingestuft. Vor allem bei der Komplexitätsbewertung waren die Teilnehmer überrascht, wie mit so einem geringen Aufwand eine derart detaillierte Bewertung durchgeführt werden konnte. Die strukturierte Vorgehensweise auf Basis der Methodenimplementierung erlaubt es, die Methodik fast ohne Hilfestellung durchzuführen. Die kurzen Erklärungsseiten, auf welche der Methodenbenutzer während der Anwendung mittels der Excel Datei geführt wird, unterstützen die eigenständige Durchführung.

Durch die klare Vorgabe der drei Bewertungsaspekte wurde sichergestellt, dass alle relevanten Kriterien für eine Entscheidung bei der vorliegenden Variantenanfrage untersucht wurden. Ohne Bewertung aller Teilaspekte kann kein finales Cockpit Chart erstellt werden und demzufolge ist auch keine unvollständige Variantenbewertung möglich. Weiterhin wurde die Methodik angewandt, als nur erste grobe Variantenkonzepte konzipiert waren. Keine Detailausarbeitungen und dergleichen hatten stattgefunden. Dennoch konnten die notwendigen Daten zur Verfügung gestellt werden, um die Variantenbewertung vollständig durchzuführen. Damit kann die Anwendung in der frühen Phase der Entwicklung bestätigt werden.

5.5.2. Validierung der Variantenentscheidung

Nachdem alle drei Teilaspekte der Variantenbewertung analysiert und fertiggestellt wurden, kann mittels der Methodik eine Ergebniszusammenfassung erstellt und eine Entscheidung getroffen werden. Die Validierung dieser Entscheidungsfindung ist im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

Da alle drei Teilaspekte der Methodik in der Eingabemaske mit einem Haken versehen sind, hat der Variantenverantwortliche die Möglichkeit, eine Ergebniszusammenfassung, das Cockpit Chart, erstellen zu lassen. Das Cockpit Chart, welches die Bewertung der vier Konzepte zur Ermöglichung eines vereinfachten Bedienkonzeptes beinhaltet, ist in Abbildung 5.25 dargestellt (eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben).

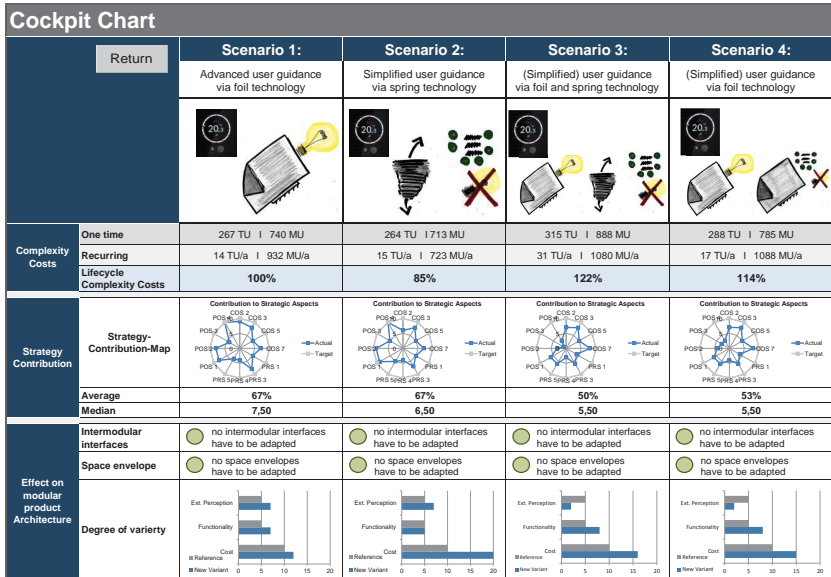


Abbildung 5.25: Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart

In dieser Zusammenfassung werden zunächst die 4 Variantenszenarien inklusive Skizze und kurzer Beschreibung aufgeführt. Für jedes Szenario werden die Resultate der Komplexitätskostenbewertung, der Analyse des strategischen Einflusses sowie der Auswirkungen auf die modulare Produktarchitektur dargestellt. Zur Zusammenfassung der Komplexitätskostenbewertung werden die einmaligen und die laufenden jährlichen Komplexitätskosten sowie die Lebenszykluskomplexitätskosten übertragen. Explizite Nutzeneffekte sind bei dieser Entscheidung nicht von Relevanz. Die Ergebnisse der strategischen Bewertung werden mittels einer grafischen Visualisierung durch die Strategy-Contribution-Map sowie durch Angabe des Durchschnittswertes und des Median in das Cockpit Chart übernommen. Der Einfluss auf die modulare Produktarchitektur zeigt eine potentielle Inkompatibilität mit den intermodularen Schnittstellen sowie den modularen Bauräumen auf und visualisiert mit Hilfe eines Balkendiagramms den Grad der Unterschiedlichkeit.

Nachdem alle notwendigen Informationen für eine Entscheidung vorlagen, konnte der Variantenverantwortliche für die aktuelle Variantenanfrage zu einem Entscheidungsmeeting einladen. Teilnehmer dieses Meetings waren das Management des Geschäftsfeldes Residential Heating, Entwicklungs- und Vertriebsrepräsentanten, der Variantenverantwortliche sowie der Elektronikmodulverantwortliche.

Zu Beginn des Meetings wurden zunächst die vier potentiellen Szenarien vorgestellt und im Anschluss für jeden Bewertungsteilaspekt die Ergebnisse mittels des Cockpit Charts erläutert. Bei Betrachtung des Spannungsfeldes der Ergebniszusammenfassung ist ersichtlich, dass die unterschiedlichen Bewertungsteilaspekte zu unterschiedlichen Resultaten führen (siehe Abbildung 5.26). In der graphischen Darstellung des Spannungsfeldes wird pro Entscheidungsebene das jeweils beste Szenario aufgeführt. Weiterhin wird unterschieden, ob eine oder zwei Elektronikvarianten gewünscht sind.

Bei der reinen Betrachtung der Komplexitätskosten ist Szenario 2 am besten, wenn nur eine Variante gewünscht wird. Andernfalls sollte Szenario 4 gewählt werden. Hinsichtlich der strategischen Aspekte ist Szenario 1 bei einer Variante zu bevorzugen, bei zwei Varianten liegt wiederum Szenario 4 vorne. Hinsichtlich der Beeinflussung der modularen Produktarchitektur verletzt keines der

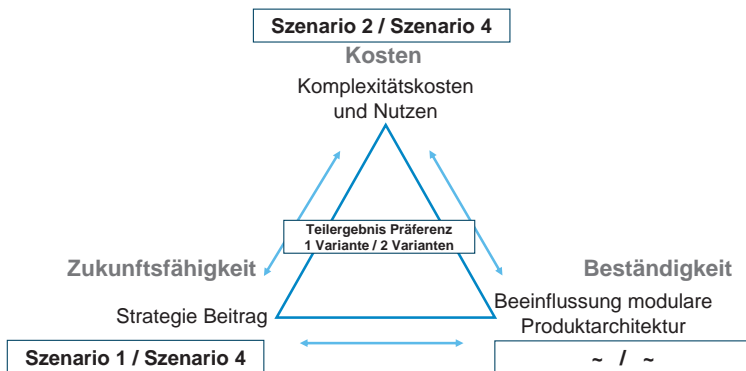


Abbildung 5.26: Spannungsfeld der Ergebniszusammenfassung

Konzepte die modularen Designregeln. Der Grad der Unterschiedlichkeit ist bei allen Varianten ähnlich bewertet, somit ergibt sich keine klare Präferenz.

Bevor ein optimales Szenario ausgewählt werden kann, ist zunächst die vorgelagerte Fragestellung zu klären, ob ein oder zwei neue Variantenkonzepte benötigt werden. Szenario 1 und 2 resultieren in jeweils einer neuen Elektronikvariante mit einem verbesserten Bedienkonzept. Szenario 3 und 4 haben je zwei neue Elektronikvarianten zum Ergebnis, mit je einer vereinfachten Benutzerbedienung für Geräte mit niedrigem Preispunkt und je einer erweiterten Benutzerbedienung für höherwertige Produkte. Aufgrund der hohen Stückzahlen schien eine zusätzliche Gerätedifferenzierung mittels zweier Bedienkonzepte sinnvoll und wurde daher von Vertrieb und Management gewünscht. Die angemessenen Komplexitätskostenunterschiede, im Vergleich zu den Szenarien mit nur einer Variante, rechtfertigten diese Entscheidung. Im weiteren Verlauf des Meetings war demzufolge nur noch zwischen Szenario 3 und 4 zu wählen.

Bei einem Vergleich der Szenarien 3 und 4 ist Szenario 3, bei reiner Betrachtung der Modulkosten, vorteilhafter. Die Folientechnologie ist im Vergleich zur Federtechnologie deutlich teurer. Dementsprechend sind zwei Varianten jeweils basierend auf der Folientechnologie kostspieliger, als die Kombination einer Variante mittels Folientechnologie und einer Variante auf Basis der Federtechnologie.

Diesen Nutzeneffekten sind die Komplexitätskosten gegenüberzustellen. Szenario 3 bedient sich zweier Technologien, während Szenario 4 auf nur einer Technologie beruht. Die Lebenszykluskomplexitätskosten sind dementsprechend für Szenario 4 niedriger. Bei einem Vergleich der Nutzen- und Kostenauswirkungen ist erkennbar, dass Szenario 4 in Summe vorteilhafter für das Unternehmen ist.

Weiterhin ist Szenario 4 bezogen auf strategische Aspekte ebenfalls besser, wenn auch nur geringfügig. Der Median ist bei der strategischen Betrachtung gleich, lediglich der Durchschnittswert ist um 3% höher. Hinsichtlich des Einflusses der Szenarien auf die modulare Produktarchitektur gibt es keine

Präferenz. Beide Szenarien sind mit den modularen Designregeln kompatibel und im Hinblick auf den Grad der Unterschiedlichkeit kaum zu unterscheiden. Basierend auf diesen Aspekten wurde bei dem Entscheidungsmeeting der Beschluss gefasst, dass Szenario 4 gegenüber Szenario 3 zur Weiterentwicklung der modularen Produktfamilie bevorzugt wird.

Die Meetingteilnehmer haben am Ende des Termins bestätigt, dass ihrer Meinung nach alle relevanten Gesichtspunkte für diese Entscheidung beleuchtet und im Detail analysiert worden sind. Insbesondere die detaillierte Komplexitätsbetrachtung wurde hervorgehoben. Ohne zusätzliche Entscheidungstermine war die Einigung auf ein Konzept möglich, da bereits alle relevanten Informationen vorlagen.

5.5.3. Auswertung der zweiten Validierungsphase

Zur Validierung der zweiten Phase der Methodik, der Methodenanwendung, wurde eine aktuelle Variantenentscheidungssituation von Bosch Thermotechnik herangezogen (vorgestellt in Abschnitt 5.3.2) und mittels der VM_{ahead} Methodik bewertet. Dieser Validierungsschritt hat zum Ziel, die in Abschnitt 5.1 gelisteten Prüfungshypothesen zu bestätigen.

Die Validierung der Methodenanwendung wird dabei primär durch die Dokumentationen des Studienfalls, durch Beobachtungen der Studiendurchführer und -teilnehmer sowie durch einen standardisierten Fragebogen, vorgestellt in Abschnitt 5.2, unterstützt. An der Durchführung der Fallstudie waren zahlreiche Personen beteiligt: der Variantenverantwortliche der aktuellen Entscheidungssituation, der Elektronikmodulverantwortliche, Entwicklungsingenieure, Vertriebsmitarbeiter, Verantwortliche des modularen Produktarchitekturprojektes und nicht zuletzt beim anschließenden Entscheidungsmeeting auch das Management. Da nur der Variantenverantwortliche wie auch der Elektronikmodulverantwortliche bei allen Schritten der Methodik involviert waren, konnten auch nur diese beiden Personen den Fragebogen ausfüllen, da er auf einer Gesamtbewertung der Methodik beruht. Alle weiteren Studienteilnehmer wurden mündlich befragt.

Die Ergebnisse des standardisierten Fragebogens sind in Tabelle 5.5 dargestellt. Beide Teilnehmer bestätigten, dass ihr Gesamteindruck von der Methodik positiv ist. Ebenfalls wird bestätigt, dass die Methodik eine strukturierte Vorgehensweise aufweist und die Methodenimplementierung durch den Aufbau der Excel Datei übersichtlich ist. Beide Teilnehmer haben weiterhin angegeben, dass die Entscheidungsgrundlage für Variantenentscheidungen mittels der Methodik verbessert wird. Dabei werden laut den Experten alle relevanten Aspekte berücksichtigt. Sie bestätigten, dass die Ergebnisse der Methodik und vor allem die Komplexitätsbewertung zu mehr Transparenz führen.

Tabelle 5.5: Fragebogenauswertung Methodenanwendung

Validierung: Bewertung von Variantenbewertungen modularer Produktfamilien					
Fragebogen Ergebnisse					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
1. Gesamteindruck der Methodik					
Mein Gesamteindruck der Methode ist positiv	2	0	0	0	0
2. Struktur der Methodik					
Die Methodik weist eine strukturierte Vorgehensweise auf	1	1	0	0	0
Der Aufbau der Excel Datei ist übersichtlich	0	2	0	0	0
3. Durchführbarkeit der Methodik					
Die Erstellung der Excel Datei mit den vorgegebenen Bausteinen ist leicht durchzuführen	1	1	0	0	0
Die Methodik kann ich selbständig anwenden	0	2	0	0	0
Die Angabe der notwendigen Daten fällt mir leicht	1	0	1	0	0
Der Aufwand zur Angabe der notwendigen Daten ist angemessen	2	0	0	0	0
Die Anpassung der Komplexitätskosten der vorbereiteten Szenarien ist mit angemessenem Aufwand durchführbar	2	0	0	0	0
4. Ergebnisse der Methodik					
Die Entscheidungsgrundlage zur Bewertung neuer Varianten wird durch die Methodik verbessert	1	1	0	0	0
Die Methodik umfasst alle relevanten Aspekte zur Bewertung von neuen Varianten (Komplexität, stra. Aspekte, Einfluss auf mod. Produktarchitektur)	1	1	0	0	0
Die Methodik führt zu mehr Transparenz bei der Bewertung neuer Varianten	1	1	0	0	0
Die Komplexitätsbewertung führt zu mehr Transparenz hinsichtlich der Auswirkungen neuer Varianten	2	0	0	0	0
Es werden alle relevanten Kosten der Komplexität (einmalig, laufend) im Produktlebenszyklus berücksichtigt	0	2	0	0	0

Darüber hinaus stimmten sie zu, dass alle relevanten Kosten der Komplexität, sowohl einmalige wie auch laufende, berücksichtigt werden. Hier wurde jedoch nur 'Stimme eher zu' angegeben. Dies deutet darauf hin, dass nicht komplett abgeschätzt werden kann, ob wirklich alle Kostenaspekte betrachtet werden. Erst eine Verifizierung, die nicht Gegenstand dieser Arbeit ist, könnte hier den Beweis erbringen.

Bei der Bewertung der Durchführbarkeit der Methodik fällt auf, dass einer der beiden Teilnehmer angegeben hat, dass ihm die Angabe der notwendigen Daten zur Anwendung der Methodik schwer fiel. Dies lässt den Schluss zu, dass bei Anpassung der Methodenimplementierung besser hervorgehoben werden sollte, welche Daten von welchem Personenkreis anzugeben sind. Es ist nicht Ziel der Methodik, dass der Varianten- oder der Modulverantwortliche alle zur Methodenbewertung notwendigen Informationen eigenständig, ohne Hilfe von Experten, angeben. Weiterhin wird von beiden Teilnehmern bestätigt, dass der Aufwand zur Angabe der notwendigen Daten, wie auch zur fallspezifischen Anpassung der vorbewerteten Referenzbeispiele, angemessen ist. Auch die eigenständige Anwendbarkeit, mittels der VBA-Implementierung in Kombination mit Excel, wurde bestätigt, jedoch von beiden Studienteilnehmern nur mit 'Stimme eher zu'. Das ist darauf zurückzuführen, dass beide Experten die Methodik zum ersten Mal angewandt haben. Bei mehrmaliger Nutzung dürfte die eigenständige Anwendbarkeit leichter fallen.

Mittels der Dokumentation der Fallstudie, den Ergebnissen des Fragebogens wie auch den direkten Beobachtungen können nun die Prüfungshypothesen getestet werden. Die einzelnen Prüfungshypothesen, die Art der Datensammlung sowie die Validierungsergebnisse sind in Tabelle 5.6 aufgelistet.

Tabelle 5.6: Validierungsergebnisse der Methodenanwendung

Prüfungshypothese	Art der Datensammlung	Ergebnis der Validierung
<p>1 Die Methodik unterstützt die Nutzungsphase modularer Produktfamilien bei Variantenentscheidungen mit dem Ziel, ein effizientes Verhältnis aus interner zu externer Varianz dauerhaft sicherzustellen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation einer Variantenbewertung ▪ Beobachtung der Personen ▪ Dokumentation der Komplexitätsberechnung ▪ Dokumentation Abgleich Komplexitätskosten zu Stückzahl mit Preis 	<p>Methodenanwendung zur Entscheidungsunterstützung bei einer Weiterentwicklung der modularen Produktarchitektur.</p>
<p>2 Die Methodik ist auf modulare Produktarchitekturen zugeschnitten und die Charakteristika modularer Produktfamilien werden explizit berücksichtigt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Expertenbefragung der Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur 	<p>Bei der Bewertung der Weiterentwicklung der modularen Produktarchitektur wurden explizit die modularen Designregeln berücksichtigt.</p>
<p>3 Das Bewertungverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung neuer Module und Modulvarianten bei geringem Erhebungsaufwand der notwendigen Daten und schafft dabei größtmögliche Transparenz bei der Bewertung. Grundlage bildet ein vereinfachtes Verfahren zur Bewertung der Komplexitätskosten neuer Varianten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation Bewertung Komplexitätskosten ▪ Beobachtung bei Komplexitätsbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Komplexitätsbewertung ▪ Dokumentation Variantenbewertung ▪ Beobachtung des Entscheidungsremiums ▪ Standardisierter Fragebogen bei Variantenbewertung 	<p>Der Aufwand zur Anwendung der Gesamthethodik sowie zur Analyse der Komplexitätskosten wie auch weiterer Teilaspekte wurde als angemessen bewertet.</p>
<p>4 Die Vorgehensweise und das Bewertungsverfahren sind leicht nachvollziehbar und verständlich.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beobachtung bei Sammlung von Daten für Referenzbeispiele ▪ Beobachtung bei Variantenbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Komplexitätsbewertung ▪ Standardisierter Fragebogen bei Variantenbewertung 	<p>Die Fragebogenteilnehmer haben bestätigt, dass die Anwendung der Methodik nachvollziehbar und leicht verständlich ist.</p>
<p>5 Die Nachhaltigkeit der modularen Struktur wird durch Bewertung der Auswirkungen neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur sichergestellt. Etwaige Verletzungen der modularen Designregeln werden bewertet und transparent dargestellt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Expertenbefragung von Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur 	<p>Mittels einer Bewertung der Kompatibilität neuer Varianten mit den modularen Designregeln wird klar angegeben, ob die modulare Produktarchitektur durch die neuen Konzepte gefährdet wird.</p>
<p>6 Die Methodik führt zu einer gesamtheitlichen Betrachtung neuer Varianten, indem sichergestellt wird, dass alle relevanten Aspekte bei Variantenentscheidungen modularer Produktfamilien berücksichtigt werden.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Beobachtung im Entscheidungsremium ▪ Expertenbefragung von Konstruktionsingenieuren und Verantwortlichen der modularen Produktarchitektur 	<p>Es wurde bestätigt, dass monetäre, qualitative wie auch produktarchitekturbezogene Aspekte bei der Methodik berücksichtigt werden und damit zu einer gesamtheitlichen Bewertung führen.</p>
<p>7 Eine Szenarioanalyse wird durch eine sequentielle Bewertung verschiedener Konzepte und Szenarien und einem anschließenden Vergleich selber erreicht. Die Auswahl des optimalen Szenarios kann durch die Methodik unterstützt werden. Dabei ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch die Methodik sichergestellt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenentscheidungen ▪ Beobachtung bei Variantenbewertung ▪ Expertenbefragung von Konstruktionsingenieuren 	<p>Studienteilnehmer haben bestätigt, dass die vorbereiteten Referenzbeispiele wie auch die Möglichkeit der Bewertung von bis zu 5 Szenarien zu einer konsequenten Betrachtung verschiedener Konzepte führt.</p>
<p>8 Die Methodik ist so aufgebaut, dass sie bereits in der sehr frühen Phase der Entwicklung angewandt werden kann und damit zu einem größtmöglichen Einsparpotential führt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dokumentation der Variantenbewertung ▪ Beobachtung bei Variantenentscheidungen ▪ Expertenbefragung von Konstruktionsingenieuren 	<p>Die Methodik wurde an einem Fallbeispiel angewandt, das sich in der frühen Konzeptphase befand. Kein ausgearbeitetes Konzept, wie zum Beispiel CAD Zeichnungen oder der gleichen, war existent. Dennoch konnten alle notwendigen Daten zur Methodenanwendung angegeben werden.</p>

Zur Bestätigung der ersten Prüfungshypothese H1 ist aufzuzeigen, dass die Methodik für Variantenentscheidungen zur Weiterentwicklung der modularen Produktfamilie angewandt werden kann und dabei Rücksicht auf ein effizientes Verhältnis zwischen interner und externer Komplexität genommen wird. Die Validierung wurde anhand einer Entscheidungssituation durchgeführt, in der die Konzepte neuer Elektronikmodulvarianten zu bewerten waren. Die Bewertung der Komplexitätskosten der vier verschiedenen Szenarien hat es dabei ermöglicht, die Nutzenaspekte mit den Kostenauswirkungen abzugleichen und das Konzept zu wählen, welches insgesamt von Vorteil für das Unternehmen ist. Damit konnte Hypothese H1 validiert werden.

Prüfungshypothese H2 beschäftigt sich mit dem Anspruch an die Methodik, speziell auf eine modulare Produktarchitektur zugeschnitten zu sein. Als Validierungsfall wurde eine modulare Produktfamilie zugrunde gelegt. Bei der Bewertung wurde die Kompatibilität dieser neuen Variantenkonzepte mit der existierenden modularen Produktarchitektur von Bosch Thermotechnik abgeglichen. Damit konnte sichergestellt werden, dass nur ein Konzept in den Entscheidungsfokus fällt, welches die Stabilität der modularen Struktur nicht gefährdet. Prüfungshypothese H2 kann damit ebenfalls als bestätigt angesehen werden. Weiterhin lässt sich daraus schließen, dass die Nachhaltigkeit der modularen Produktarchitektur im Fokus der Methodik steht und somit auf Dauer sichergestellt wird. Werden intermodulare Schnittstellen oder modulare Bauräume verletzt, so wird dies den Entscheidungsträgern mit Hilfe der Methodik angezeigt. Damit ist auch Prüfungshypothese H5 erwiesen.

Das Methodenziel einer aussagekräftigen Bewertung neuer Module und Modulvarianten mit geringem Bewertungsaufwand zur Erzeugung einer möglichst großen Transparenz ist Gegenstand der Hypothese H3. Sowohl die Fragebogenteilnehmer wie auch die während der Durchführung der Fallstudie befragten Experten haben bestätigt, dass sie den Aufwand zur Anwendung der Methodik angemessen fanden. Weiterhin haben sie bestätigt, dass das Methodenergebnis zu mehr Transparenz bei der Entscheidungsfindung führte und die Dokumentation in einem Cockpit Chart eine nachträgliche Nachvollziehbar-

keit des getroffenen Ergebnisses mit sich bringt. Somit kann auch die dritte Prüfungshypothese H3 validiert werden.

Neben dem Bewertungsaufwand wurde eine leichte Nachvollziehbarkeit wie auch Verständlichkeit als Anspruch an die Methodik gestellt. Auch dies wurde bestätigt. Teilnehmer gaben jedoch an, dass ihnen die Bereitstellung der notwendigen Daten schwer gefallen ist. Eine klare Zuordnung, wer welche Daten zur Verfügung stellt und durch welche Mitarbeitergruppen einzelne Teilaspekte zu bewerten sind, kann hier Abhilfe schaffen. Dies ist bei der Weiterentwicklung der Methodik zu berücksichtigen. Dennoch kann Prüfungshypothese H4 bestätigt werden.

Die VM_{ahead} Methodik unterstützt die Bewertung von Komplexitätskosten, die des strategischen Einflusses verschiedener Variantenkonzepte und auch die der Kompatibilität neuer Konzepte mit den modularen Designregeln. Die Fallstudienteilnehmer gaben an, dass mit diesen drei Teilaspekten alle relevanten Kriterien für eine Variantenentscheidung berücksichtigt wurden. Prüfungshypothese H6 ist damit bewiesen.

Eine weitere Anforderung an die Methodik ist die konsequente Unterstützung bei der Bewertung verschiedener Variantenkonzepte, die Betrachtung eines einzelnen Konzeptes sollte vermieden werden. Die Verfügbarkeit unterschiedlicher Komplexitätsebenen der verschiedenen Module durch die vorbewerteten Referenzbeispiele fördert die Auswahl möglicher Konzepte. Die an der Studie teilnehmenden Experten haben bestätigt, dass die Methodik sie angehalten hat, an verschiedenen Möglichkeiten zur Umsetzung der Variantenanfrage zu arbeiten und die vorgeschlagenen Komplexitätsebenen die Auswahl unterstützt haben. Damit kann auch Prüfungshypothese H7 bestätigt werden.

Zuletzt ist mittels Prüfungshypothese H8 zu prüfen, ob die Methodik bereits in der sehr frühen Phase der Entwicklung bei Variantenentscheidungssituationen unterstützen kann. Der zur Validierung angewandte Studienfall befand sich in der sehr frühen Phase der Entwicklung. Zu diesem Zeitpunkt war erst eine grobe Konzeptidee vorhanden, ein Rückgriff auf ausgearbeitete Designs oder Zeichnungen war noch nicht möglich. Dennoch konnten die zur Bewertung

notwendigen Informationen auf Basis des Erfahrungsschatzes der Unternehmensexperten zur Verfügung gestellt und die verschiedenen Konzepte bewertet werden. Damit ist auch die letzte Hypothese H8 bewiesen.

5.6. Zusammenfassung

Im Rahmen des fünften Kapitels der Arbeit wurde die Validierung der neu entwickelten VM_{ahead} Methodik durchgeführt. Dazu wurden in einem ersten Schritt aus der Aufgabenstellung und den Erfolgsgrößen der Methodik heraus acht Prüfungshypothesen abgeleitet, welche in der Validierung zu bestätigen waren.

Anschließend konnte das Validierungsdesign zur Prüfung dieser Hypothesen vorgestellt werden. Die Durchführung einer Einzelfallstudie stellte sich als geeignetes Forschungsdesign heraus. Zur Datensammlung dienten die Fallstudiendokumentationen, direkte Beobachtungen und auch standardisierte Fragebögen. Die Methodik wurde speziell auf die Gebrauchsgüterindustrie zugeschnitten, da in der Automobilindustrie bereits ausreichend Unterstützung vorhanden ist. Die Gebrauchsgüterindustrie implementiert jedoch erst nach und nach modulare Strukturen und dementsprechend ist ein erhöhter Bedarf für eine Unterstützung vorhanden. Die vorliegende Fallstudie wurde in der Heizungsbranche durchgeführt, da die Unternehmen in dieser Branche verstärkt modulare Produktfamilien einführen.

Die Fallstudie selbst wurde, angelehnt an die zwei Phasen der Methodik, ebenfalls in zwei Schritten durchgeführt. Zunächst war die Methodenvorleistung zu validieren. Hierzu wurde die Methodik für eine modulare Produktfamilie bei Bosch Thermotechnik aufgebaut. Anschließend konnte die zweite Methodenphase, die Anwendungsphase, validiert werden. Hierzu wurde eine Variantenentscheidungssituation hinsichtlich neuer Elektronikmodulvarianten als Validierungsfall ausgewählt.

In der ersten Validierungsphase waren die Prüfungshypothesen H2, H3 und H4 von Relevanz. In der zweiten Validierungsphase waren alle acht Prüfungshypothesen zu betrachten. Auf Basis der vorgestellten Arten der Datensammlung konnten alle Prüfungshypothesen in den zwei Validierungsphasen bestätigt werden. Die Aufgabenstellung konnte demzufolge mit dieser neuen Methodik erfolgreich bearbeitet werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Zum Abschluss dieser Arbeit wird eine Zusammenfassung der behandelten Themen formuliert und ein Ausblick für eine mögliche Fortführung der Arbeit wird gegeben.

6.1. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt eine neue Methodik für ein holistisches Variantenmanagement modularer Produktfamilien, die VM_{ahead} Methodik. Bestandteil dieser Methodik ist die Analyse verschiedener Teilaspekte zur Bewertung neuer Modul- wie auch Modulvariantenkonzepte, die eine modulare Produktfamilie weiterentwickeln können. Dabei kann die Methodik auch als Entscheidungsunterstützung verschiedener Produktkonzepte Anwendung finden.

Zunächst wurde in Kapitel 1, Einleitung, der Bedarf solch einer neuen Methodik erläutert und die aktuelle Ausgangssituation sowie Problemstellung thematisiert. Hier konnte herausgestellt werden, dass modulare Produktarchitekturen prinzipiell zum Ziel haben, eine im Unternehmen vorherrschende externe und interne Komplexität möglichst effizient zu handhaben. Jedoch kommt es während der Lebensdauer der modularen Produktfamilie immer wieder zu Entscheidungssituationen, in denen der implementierte modulare Baukasten, durch die Änderung bestehender Module und Modulvarianten oder durch das Hinzufügen solcher in den Baukasten, anzupassen ist. Diese neuen Lösungskonzepte können wiederum vor- oder nachteilig für die modulare Struktur, wie auch für die Unternehmenskomplexität, sein und sind zu analysieren. Auf

Grundlage dieses Methodenbedarfs konnten die Problemstellung der Arbeit und die Aspekte dieser Problemstellung abgeleitet werden. Basierend darauf wurden anschließend die Forschungsfragen der Arbeit formuliert und der Aufbau der Arbeit konnte skizziert werden.

In Kapitel 2 wurden auf Basis der Motivation und der formulierten Forschungsfragen die Grundlagen für die Arbeit geschaffen. Zunächst wurden die begrifflichen Grundlagen herausgestellt. Dazu wurden die Termini Variante und Vielfalt, Komplexität, Komplexitätskosten sowie Komplexitäts- und Variantenmanagement genauer untersucht und im Kontext dieser Arbeit definiert. Anschließend wurden die Ursachen gesteigerter Komplexität eruiert, um den Bedarf von Methoden aus dem Bereich Komplexitätsmanagement herauszustellen und die Präsenz dieser Thematik in der Industrie hervorzuheben. Weiterhin wurden die Teufelskreise der Variantenvielfalt aufgezeigt. Gerade der technikgetriebene Teufelskreis ist für die vorliegende Arbeit von besonderer Relevanz, da dieses Konstrukt verdeutlicht, dass es trotz einer Einführung von Methoden des Komplexitätsmanagements durch die Generierung scheinbar kostenfreier Varianten zu einem unvorteilhaften Anstieg der internen Unternehmenskomplexität kommen kann. Geeignete Methoden zur detaillierten Analyse dieser angeblich unentgeltlichen, aufwandslosen Varianten sind notwendig, um diesen Teufelskreis zu vermeiden.

Darauf aufbauend wurden die Auswirkungen neuer Varianten auf das Unternehmen aufgezeigt. Dazu wurden die Bereiche Entwicklung, Einkauf, Produktion und Logistik sowie Vertrieb genauer untersucht. Die vorgestellten Auswirkungen sind Eingangsgrößen für die in der neuen Methodik entwickelte Komplexitätskostenanalyse. Neben den negativen Auswirkungen von Komplexität wurde auch der Nutzen von Komplexität dargestellt. Nachdem die Ursachen und Auswirkungen von Komplexität sowie die Gefahr in den Teufelskreis der Variantenvielfalt abzurutschen, aufgezeigt wurden, konnte im Folgenden die modulare Produktarchitektur im Detail vorgestellt werden. Dieser Methode der Komplexitätsreduzierung wie auch -vermeidung wird in der vorliegenden Arbeit besondere Bedeutung beigemessen, denn die später vorgestellte Methodik wurde speziell auf modulare Produktarchitekturen

zugeschnitten. Hier wurde zunächst die Produktarchitektur im Allgemeinen vorgestellt und anschließend wurde die modulare von der integralen Produktarchitektur abgegrenzt. Anschließend wurden die Charakteristika modularer Strukturen und darauf aufbauend deren Erfolgs- wie auch Problemfaktoren erläutert. Zuletzt wurden der allgemeine Produktentwicklungsprozess wie auch der Modulentwicklungsprozess vorgestellt und voneinander abgegrenzt. Basierend darauf war es möglich, die frühe Phase der Entwicklung aufzuzeigen und den Methodenansatzpunkt darzustellen.

Auf Basis der in Kapitel 2 dargelegten Grundlagen konnte in Kapitel 3 der Stand der Technik in Wirtschaft und Wissenschaft formuliert werden. Inhalte dieses Abschnitts waren die Herausstellung des Bedarfs der VM_{ahead} Methodik in der Industrie und eine darauf aufbauende Literaturrecherche zum Abgleich dieses Bedarfs mit den bereits existierenden Methoden aus der Wissenschaft. Dazu wurden zunächst die Relevanz modularer Produktarchitekturen und weiterhin der Stellenwert einer stabilen modularen Produktarchitektur in der Industrie aufgezeigt. Hier konnte herausgestellt werden, dass die Automobilindustrie bereits modulare Strukturen implementiert hat. Andere Branchen folgen diesem Trend und versuchen die Methoden der Automobilindustrie zu adaptieren. Gerade hier ist jedoch eine zugeschnittene Methodik zur Unterstützung modularer Produktarchitekturen notwendig, um den unterschiedlichen Charakteristika der verschiedenen Branchen gerecht zu werden. Das dauerhafte stabil Halten der modularen Produktfamilie differenziert erfolgreiche von weniger erfolgreichen Unternehmen, welche eine modulare Struktur implementiert haben. Hier sollte eine neue Methodik ansetzen. Basierend auf diesem Methodenbedarf konnten im Anschluss die Anforderungen, die an eine neue Methodik gestellt werden, eruiert werden. Dazu wurde zwischen den Anforderungen an ein allgemeines Variantenmanagement, den Bedürfnissen hinsichtlich der Charakteristika modularer Produktarchitekturen sowie den Erfordernissen an eine Entscheidungsmethodik in summa unterschieden.

Im Weiteren konnte auf Grundlage der Methodenanforderungen die Vorgehensweise der Methodenanalyse vorgestellt werden, welche in zwei Schritten

durchzuführen war. Die erste Literaturrecherche befasste sich mit Methoden zur Sicherstellung einer stabilen modularen Produktarchitektur. Die zweite Literaturrecherche hatte das Ziel, Methoden zur Bewertung von Komplexitätskosten zu untersuchen. Bei der Literaturrecherche wurden für diese Fragestellung passende, existierende Methoden hinsichtlich der ausgearbeiteten Anforderungen an eine neue Methodik bewertet. Ergebnis war, dass keine Methode allen Anforderungen gerecht wurde. Der Bedarf der neuen Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktarchitekturen war damit gegeben.

In Kapitel 4, Vorstellung der Methodik, wurde die neu erarbeitete Methodik zur Unterstützung einer nachhaltig stabilen modularen Produktarchitektur über deren Lebensdauer hinweg, speziell zugeschnitten für die Gebrauchsgüterindustrie, vorgestellt. Die Methodik selbst unterstützt die drei entscheidungsrelevanten Bewertungskriterien: Komplexitätskosten, Modulwiederverwendung mittels strategischer Betrachtung sowie Bewertung des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur. Die Methodik lässt sich prinzipiell in zwei Phasen unterteilen. Zum einen in die Vorleistungsphase, um die Methodik in einem Unternehmen initial aufzubauen, und zum anderen in die darauf aufbauende Anwendungsphase, in welcher die Methodik für wiederkehrende Variantenentscheidungssituationen zu Rate gezogen werden kann.

Zunächst wurden in diesem Kapitel die Grundlagen für die Methodik gelegt, indem diese in den Modulentstehungsprozess eingeordnet und der beteiligte Personenkreis dieser vorgestellt wurde. Anschließend konnte der allgemeine Aufbau der Methodik vorgestellt werden. Dazu wurde zunächst das Rahmenwerk der Komplexitätsbewertung erläutert und anschließend wurde die Vorgehensweise zur Sicherstellung der modularen Designregeln mittels der Methodik dargestellt. Weiterhin wurde aufgezeigt, wie durch die Methodik die Wiederverwendungsrate der Module und Modulvarianten verbessert werden soll. Zuletzt wurden das Schema der Methodik und der zweiphasige Gesamtaufbau skizziert.

Nach der Vorstellung der Grundlagen der Methodik konnte die erste Phase, die Vorleistung der Methodik, im Detail dargelegt werden. Hier wurde aufgezeigt, wie die Basis der Komplexitätsbewertung, also die Definition der Referenzbeispiele, im Unternehmen erarbeitet werden kann. Anschließend wurde das Vorgehen der vereinfachten Komplexitätsbewertung mittels der vorbewerteten Referenzbeispiele durch Komplexitätsinterviews vorgestellt. Zuletzt wurde, als dritter Aspekt der Vorleistungsphase, die Erstellung der Strategy-Contribution-Map dargelegt. Mit der Definition der Referenzbeispiele, der Durchführung der Komplexitätsinterviews sowie des Aufbaus der strategischen Bewertung ist die Vorleistungsphase abgeschlossen.

Weiterhin wurde in Kapitel 4 die Anwendungsphase der Methodik detailliert erläutert. Hier wurde zunächst das Rahmenwerk der Gesamtmethodik in der Anwendungsphase skizziert, welches die Vorgehensweise bei Variantenentscheidungen darlegt. Auf dieser Grundlage konnte vorgestellt werden, wie eine tatsächliche Variantenbewertung mittels der Methodik durchzuführen ist. Dazu sind die drei genannten Teilaspekte Komplexitätskosten, strategischer Einfluss wie auch Einfluss auf die modulare Produktarchitektur zu bewerten. Komplexitätskosten sind dabei mittels einer Extrapolation der bereits vorbewerteten Referenzbeispiele abzuschätzen. Um den Einfluss neuer Varianten auf die strategische Unternehmensausrichtung zu analysieren, können aus der in der Vorleistungsphase erstellten Strategieelementliste passende Aspekte ausgewählt und mittels einer Vorlage bewertet werden. Zuletzt ist für jedes Variantenkonzept zu bewerten, ob intermodulare Schnittstellen oder modulare Bauräume anzupassen sind und inwieweit sich ein neues Konzept von den existierenden Modulen und Modulvarianten unterscheidet.

Nach der Vorstellung der Variantenbewertung hinsichtlich der drei vorgestellten Aspekte wurde im nachfolgenden Abschnitt die Ergebniszusammenfassung und -interpretation vorgestellt. Ein Vergleich diverser Konzepte ist mittels eines Cockpit Charts durchzuführen, welches eine Ergebnisübersicht liefert. Anschließend muss eine Entscheidung innerhalb des Spannungsfeldes Strategiebeitrag (Zukunftsfähigkeit), Komplexitätskosten und Nutzen (Kostenaspekt) sowie Beeinflussung der modularen Produktarchitektur (Beständig-

keit) getroffen werden. Abschließend wurde die Vorgehensweise der Methodenimplementierung im Unternehmen skizziert. Eine auf Excel basierende Implementierung ist hier vorgesehen, welche einen systematischen Aufbau und damit die Bewertung sowie Variantenentscheidung per se unterstützt.

Die Validierung der Methodik erfolgte in Kapitel 5. Auf Grundlage der in Kapitel 1 motivierten Problemstellung der Arbeit und der daraus resultierenden Forschungsfragen wurden zunächst die Aufgabenstellung der Arbeit sowie zugehörige spezifische und allgemeine Erfolgsfaktoren der Methodik abgeleitet. Auf dieser Basis konnten anschließend die Prüfungshypothesen der Validierung formuliert werden. Im folgenden Abschnitt wurde das Forschungsdesign, also die Durchführung einer Einzelfallstudie in der Gebrauchsgüterindustrie, herausgestellt und die Vorgehensweise der Datensammlung erläutert. Zudem wurden die Fallstudie aus der Heizungsbranche und die in der Validierung berücksichtigte Variantenentscheidungssituation vorgestellt.

Darauf aufbauend konnte die Methodik validiert werden. Abgeleitet von den zwei Phasen der Methodik wurde auch die Validierung in zwei Schritten durchgeführt. Zunächst wurde die Vorleistungsphase mit Hilfe des Prinzips eines vereinfachten Schemas eines modularen Boilers vorgestellt und validiert. Anschließend konnte die Anwendungsphase der Methodik an einer realen Variantenentscheidungssituation validiert werden. Detaillierte interne Daten können jedoch aus Geheimhaltungsgründen nur vereinfacht dargestellt werden. Ergebnis der Methodvalidierung war, dass die aufgestellten Prüfungshypothesen bestätigt werden konnten und damit die Aufgabenstellung der Methodik als erfüllt angesehen werden kann.

In dem hier vorliegenden letzten Kapitel 6 erfolgte eine Zusammenfassung der Arbeit und ein Ausblick auf offene Themen wird gegeben.

6.2. Ausblick

Zum Abschluss der Arbeit werden im Rahmen des Ausblicks offene Themen der Methodik angesprochen und mögliche Ansätze für weitere Forschungsarbeiten betrachtet. Diese offenen Punkte lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: Zum einen in Aufgaben zur weiteren Validierung und Verifikation der Methodik und zum anderen in offene Punkte zur Weiterentwicklung der Methodik.

Die Methodik wurde anhand einer Fallstudie aus der Gebrauchsgüterindustrie im Bereich der Heizungsbranche validiert. Um deren breite Anwendbarkeit zu testen, ist eine weitere Fallstudie aus einer anderen Branche der Gebrauchsgüterindustrie oder sogar einem ganz anderen Industrieumfeld sinnvoll. Erst dann kann die Generalisierbarkeit der Methodik abschließend sichergestellt werden. Solch eine weitere Validierung war jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht umsetzbar. Weiterhin wurde die Methodik lediglich validiert. Eine Verifikation der Variantenbewertungsergebnisse, mit Fokus auf eine Verifikation der abgeschätzten Komplexitätskosten, ist offen. Um die abgeschätzten Komplexitätskosten verifizieren zu können, ist es erforderlich, alle Aufwände, die mit einer neuen Variante verbunden sind, über deren Lebensdauer hinweg zu erfassen. Diese Aufwände können anschließend mit den in der frühen Phase der Entwicklung von Referenzbeispielen abgeleiteten Aufwänden verglichen werden. Die Dauer des Variantenlebenszyklus im Kontrast zur Zeitspanne der Durchführung der Forschungsarbeit hat eine Verifikation jedoch nicht ermöglicht. Weiterhin ist es nur möglich, die berücksichtigten Komplexitätskosten derjenigen Variante zu verifizieren, deren Konzept in der Variantenentscheidung ausgewählt wurde.

Neben den offenen Punkten der Validierung und Verifizierung der Methodik sind weitere inhaltliche, unbearbeitete Fragestellungen vorhanden. Während der Validierung der Methodik wurde ersichtlich, dass für die Methodik eine stärkere Zuordnung der einzelnen Schritte zu den Beteiligten der Variantenentscheidung notwendig ist. An manchen Stellen war den Studienteilnehmern, trotz Vorgabe von Zuständigkeiten, nicht vollkommen klar, wer welchen Schritt

durchzuführen hat und von wem Unterstützung benötigt wurde. Eine klare Rollenvorgabe, die durch einen Automatismus in den betroffenen Methodenschritten eine eigenständige Zuordnung von Aufgabenschritten zu Verantwortlichkeiten ermöglicht, könnte dieser Anforderung gerecht werden.

Weiterhin wurde die Methodik mittels VBA in Kombination mit Excel implementiert. Dies hatte zum einen den Grund, dass im Fokus der vorliegenden Arbeit die Entwicklung einer neuen Methodik und nicht die Implementierung derselben stand. Zum anderen ist das Programm Excel auch in kleinen bis mittelständischen Unternehmen weit verbreitet. Eine Softwareimplementierung ist jedoch sinnvoll, da die Verwendung von Excel nur bis zu einem gewissen Grad möglich ist. Die unzureichende Skalierbarkeit von Excel erlaubt es nicht, unendlich viele Referenzbeispiele, strategische Elemente oder weitere Eingangsgrößen aus der Vorleitungsphase zuzulassen. Mittels einer Softwareimplementierung könnte man diesen Unzulänglichkeiten begegnen.

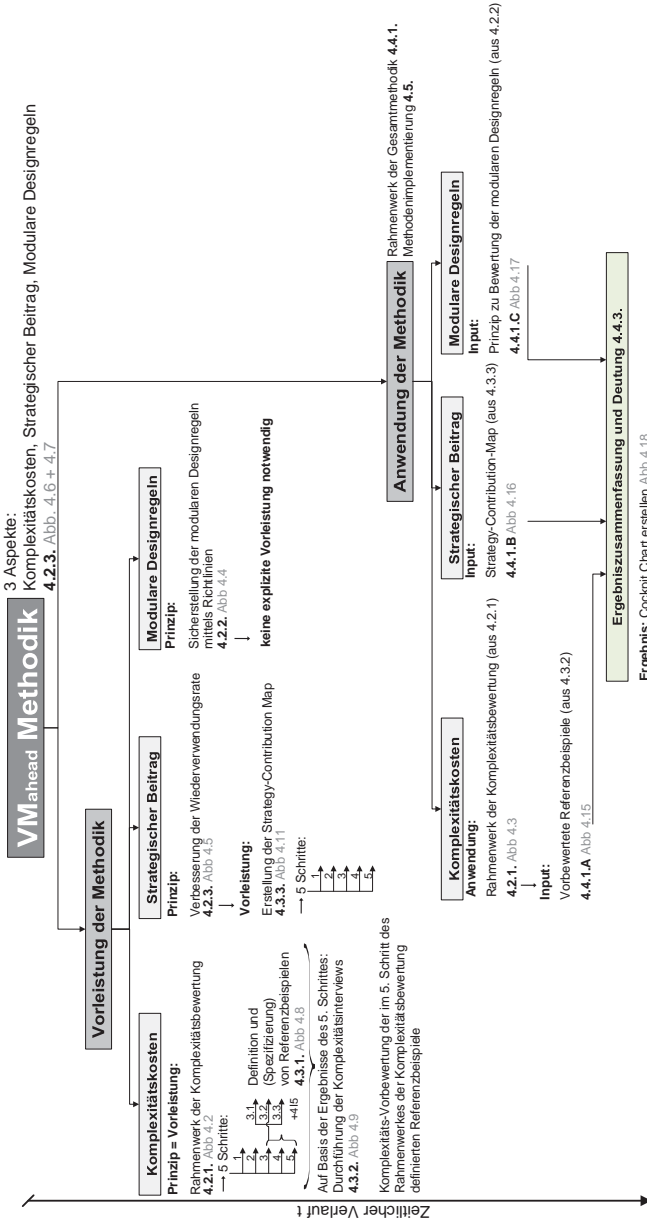
A. Anhang

A.1. Methodikenaufbau

Nachfolgend ist der detaillierte Aufbau der VM_{ahead} Methodik visualisiert. Die Graphik hat das Ziel, ein besseres Verständnis des Komplettaufbaus der Methodik zu ermöglichen. Die Visualisierung des Methodikenaufbaus ist auf Basis des Konzeptes der Methodik ebenfalls in die zwei Phasen, Vorleistung der Methodik und Anwendung der Methodik, aufgeteilt. Da die Vorleistung der Methodik vor der Anwendung durchzuführen ist, erscheint diese in der zeitlichen Reihenfolge nachgeordnet.

Zu den einzelnen Methodenbestandteilen sind jeweils die einzelnen Kapitelabschnitte hinzugefügt worden. Weiterhin wurden jeweils die Nummern der graphischen Visualisierungen zu den einzelnen Methodikensegmenten angegeben. Diese Informationen können bei der Durchsicht der Methodik hinzugezogen werden, um die einzelnen Methodikenschritte besser in das Gesamtkonzept einordnen zu können.

Der Methodik selbst wird in Kapitel 4 vorgestellt. Der Aufbau und die zugehörigen Vorleistungen der Methodik werden im Abschnitt 4.2 und 4.3 erläutert. Die Anwendung der Methodik wird in Abschnitt 4.4 besprochen.



A.2. Fragebögen der Validierung

Bei der Validierung der VM_{ahead} Methodik wurden verschiedene Formen der Dokumentation angewandt. Eine mögliche Art war ein standardisierter Fragebogen. Die genaue Vorgehensweise zum Aufbau der Fragebögen, welche zum einen in der Validierung der Vorleistungsphase und zum anderen in der Validierung der Anwendungsphase der Methodik Berücksichtigung fanden, wird in Abschnitt 5.2 vorgestellt. Nachfolgend sind beide Fragebögen abgebildet.

Der erste Fragebogen diente zur Validierung der Vorgehensweise der Bewertung von Komplexitätskosten auf Basis von Komplexitätsinterviews. Die Methode der Komplexitätsinterviews ist ein Teilaspekt der Vorleistungsphase der Methodik. Anschließend ist der zweite Fragebogen angefügt, welcher ein Stimmungsbild hinsichtlich der zweiten Phase der neuen Methodik, der Anwendungsphase, abfragt.

Beide Fragebögen sind in drei Teile gegliedert. Zunächst in die Titelseite, in welcher Informationen zur Umfrage stehen und welche weiterhin dem Umfrageteilnehmer die Möglichkeit gibt, seinen Namen und die Abteilung auf freiwilliger Basis anzugeben. Anschließend folgt jeweils der zweite Abschnitt des Fragebogens, welcher den eigentlichen Fragenkatalog enthält. Zuletzt ist für beide Fragebögen die Schlussseite angeführt, in der für die Teilnahme an der Umfrage gedankt wird und der die Option enthält, weitere Informationen anzufügen.

Die Ergebnisse der standardisierten Fragebögen sind in Kapitel 5, Validierung der Methodik, wiedergegeben.

Methodik eines Variantenmanagements modularer Produktfamilien

- Bewertung von Komplexitätskosten ausgewählter Use-Cases -

Umfrage zur Validierung der Methodik eines Variantenmanagements modularer Produktfamilien,
entstanden durch die Dissertation von Ann-Katrin Weiser, im Rahmen des
Projektes „Modulare Produktarchitektur“.

Die Teilnahme an der Umfrage ist freiwillig. Alle Angaben beziehen sich nur auf die Methode zur Ermittlung der Komplexitätskosten neuer Varianten. Die von Ihnen ausgefüllte Bewertung wird nur zur Validierung der Methode und möglicherweise Anpassung dieser verwendet. Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie auf freiwilliger Basis Ihren Namen und Ihre Abteilung angeben würden und sich damit zu Rückmeldungen einverstanden erklären.

Für Ihre Teilnahme möchte ich Ihnen sehr freundlich danken.

Name (optional):

Abteilung (optional):

Februar – August 2016

Ihr Ansprechpartner:

Ann-Katrin Weiser

Ann-Katrin.Weiser@de.bosch.com

Tel.: 07153 – 306 1618

Abbildung A.2: Fragebogen 1: Titelseite

Methode zur Bewertung von Komplexitätskosten

Wichtige Hinweise zum Ausfüllen:

Bitte bewerten Sie unten stehende Thesen, die an die Methode zur Bewertung von Komplexitätskosten gestellt werden. Dabei können Sie zwischen ‚stimme voll und ganz zu, stimme eher zu, stimme eher nicht zu und stimme überhaupt nicht zu‘ wählen. Bitte versuchen Sie eine Wertung für jede These zu treffen, kreuzen Sie nur dann ‚kann ich nicht sagen‘ an, wenn Sie überhaupt keine Aussage treffen können.

Bitte machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz

1. Gesamteindruck der Methode					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Mein Gesamteindruck der Methode ist positiv.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Struktur der Methode					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Der Aufbau der Excel Datei zur Komplexitätsbewertung ist <i>übersichtlich</i> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufbau der Excel Datei ermöglicht eine spätere <i>Nachvollziehbarkeit der berechneten Komplexität</i> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufbau der Excel Datei ermöglicht eine spätere <i>Nachvollziehbarkeit der getroffenen Annahmen</i> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bewertung der Aufwände in Stunden und Multiplikation mit den standortabhängigen Kostensätzen ermöglicht Flexibilität (Wiederverwendung für andere Standorte).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Durchführbarkeit der Methode					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Definition der einzelnen Tätigkeiten, die für neue Varianten durchzuführen sind, fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bewertung des <i>einmaligen</i> Aufwandes der einzelnen Tätigkeiten für die Variantenszenarien fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bewertung des <i>laufenden</i> Aufwandes der einzelnen Tätigkeiten für die Variantenszenarien fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufwand zur Bewertung der Tätigkeiten und Aufwände ist angemessen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ergebnisse der Methode					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Ergebnisse führen zu mehr Transparenz im Unternehmen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Entscheidungsgrundlage neuer Varianten wird durch die Komplexitätsbewertung verbessert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich freue mich, dass in Zukunft berücksichtigt wird, welche Auswirkungen neue Varianten auf meine Abteilung haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung A.3: Fragebogen 1: Fragenkatalog Komplexitätskosten

Haben Sie weitere Anmerkungen an die Methode zur Bewertung von Komplexitätskosten neuer Module, Modulvarianten und Produkte ausgewählter Use-Cases? Ich bin für jede Anregung dankbar.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe.

Bitte senden Sie mir den ausgefüllten Fragebogen per Hauspost zu, legen ihn auf meinen Schreibtisch oder informieren mich über die Fertigstellung und ich hole ihn gerne bei Ihnen ab.

Ann-Katrin Weiser

Abbildung A.4: Fragebogen 1: Schlussseite

Methodik eines Variantenmanagements modularer Produktfamilien

- Variantenbewertungen modularer Produktfamilien-

Umfrage zur Validierung der Methodik eines Variantenmanagements modularer Produktfamilien,
entstanden durch die Dissertation von Ann-Katrin Weiser, im Rahmen des
Projektes „Modulare Produktarchitektur“.

*Die Teilnahme an der Umfrage ist freiwillig. Alle Angaben beziehen sich nur auf die Methodik zur
Bewertung neuer Varianten innerhalb einer modularen Produktfamilie. Die von Ihnen ausgefüllte
Bewertung wird nur zur Validierung der Methodik und möglicherweise Anpassung dieser verwendet.
Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie auf freiwilliger Basis Ihren Namen und Ihre Abteilung angeben
würden und sich damit zu Rückmeldungen einverstanden erklären.*

Für Ihre Teilnahme möchte ich Ihnen sehr freundlich danken.

Name (optional):

Abteilung (optional):

Februar – April 2016

Ihr Ansprechpartner:

Ann-Katrin Weiser

Ann-Katrin.Weiser@de.bosch.com

Tel.: 07153 – 306 1618

Abbildung A.5: Fragebogen 2: Titelseite

Methodik zur Bewertung neuer Varianten modularer Produktfamilien

Wichtige Hinweise zum Ausfüllen:

Bitte bewerten Sie unten stehende Thesen, die an die Methodik zur Bewertung neuer Varianten modularer Produktfamilien gestellt werden. Dabei können Sie zwischen ‚stimme voll und ganz zu, stimme eher zu, stimme eher nicht zu und stimme überhaupt nicht zu‘ wählen. Bitte versuchen Sie eine Wertung für jede These zu treffen, kreuzen Sie nur dann ‚kann ich nicht sagen‘ an, wenn Sie überhaupt keine Aussage treffen können.

Bitte machen Sie in jeder Zeile ein Kreuz

1. Gesamteindruck der Methodik					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Mein Gesamteindruck der Methodik ist positiv.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Struktur der Methodik					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Methodik weist eine strukturierte Vorgehensweise auf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufbau der Excel Datei ist übersichtlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Durchführbarkeit der Methodik					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Erstellung der Excel Datei mit den vorgegebenen Bausteinen ist leicht durchzuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Methodik kann ich selbstständig anwenden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Angabe der notwendigen Daten fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Aufwand zur Angabe der notwendigen Daten ist angemessen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anpassung der Komplexitätskosten der vorbereiteten Szenarien ist mit angemessenem Aufwand durchführbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Ergebnisse der Methodik					
	Stimme voll und ganz zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu	Kann ich nicht sagen
Die Entscheidungsgrundlage zur Bewertung neuer Varianten wird durch die Methodik verbessert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Methodik umfasst alle relevanten Aspekte zur Bewertung von neuen Varianten (Komplexität, strat. Aspekte, Einfluss auf mod. Produktarchitektur).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Methodik führt zu mehr Transparenz bei der Bewertung neuer Varianten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Komplexitätsbewertung führt zu mehr Transparenz hinsichtlich der Auswirkungen neuer Varianten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es werden alle relevanten Kosten der Komplexität (einmalig, laufend) im Produktlebenszyklus berücksichtigt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung A.6: Fragebogen 2: Fragenkatalog Variantenbewertung

Haben Sie weitere Anmerkungen an die Methodik zur Bewertung neuer Varianten modularer Produktfamilien?
Ich bin für jede Anregung dankbar.



Vielen Dank für Ihre Mithilfe.

Bitte senden Sie mir den ausgefüllten Fragebogen per Hauspost zu, legen ihn auf meinen Schreibtisch
oder informieren mich über die Fertigstellung und ich hole ihn gerne bei Ihnen ab.

Ann-Katrin Weiser

Abbildung A.7: Fragebogen 2: Schlussseite

A.3. Grafikenübersicht der Methodenbestandteile

Die VM_{ahead} Methodik wurde in Kapitel 4, Vorstellung der Methodik, im Detail vorgestellt und in Kapitel 5, Validierung der Methodik, anhand eines Beispiels aus der Industriepraxis validiert. Für ein besseres Verständnis wurden die anonymisierten Originalabbildungen der in der Industrie implementierten Methodik verwendet. Dies hat jedoch den Nachteil, dass diese schwierig zu lesen sind. Aus diesem Grund sind in diesem Anhang ausgewählte Abbildungen aus Kapitel 4 und 5 in vergrößerter Form zum wiederholten Male dargestellt. Insofern eine Visualisierung hier nochmals vergrößert dargestellt wird, so wurde im Hauptbereich der Arbeit mit nachfolgendem Vermerk darauf hingewiesen: Eine vergrößerte Darstellung der Abbildung ist im Anhang A.3 gegeben.

Anbei ist eine Liste der vergrößerten Abbildungen aufgeführt:

1. Komplexitätsbewertung neuer Variantenszenarien
(Abschnitt 4.4.2, Abbildung 4.15)
2. Strategische Bewertung neuer Variantenszenarien
(Abschnitt 4.4.2, Abbildung 4.16)
3. Einfluss neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur
(Abschnitt 4.4.2, Abbildung 4.17)
4. Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart
(Abschnitt 4.4.2, Abbildung 4.18)
5. Eingabemaske Methodik
(Abschnitt 4.5, Abbildung 4.21)
6. Implementierung der Komplexitätsbewertung
(Abschnitt 4.5, Abbildung 4.22)
7. Implementierung der strategischen Bewertung
(Abschnitt 4.5, Abbildung 4.23)

8. Implementierung der Auswirkungen auf modulare Struktur
(Abschnitt 4.5, Abbildung 4.24)
9. Implementierung des Cockpit Charts
(Abschnitt 4.5, Abbildung 4.25)
10. Validierung: Starten der Methodik, Eingabemaske
(Abschnitt 5.5.1, Abbildung 5.18)
11. Validierung: Komplexitätskostenbewertung der Alternativszenarien
(Abschnitt 5.5.1, Abbildung 5.21)
12. Validierung: Bewertung des strategischen Einflusses
(Abschnitt 5.5.1, Abbildung 5.23)
13. Validierung: Bewertung des Einflusses auf modulare Produktarchitektur
(Abschnitt 5.5.1, Abbildung 5.24)
14. Validierung: Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart
(Abschnitt 5.5.2, Abbildung 5.25)



Abbildung A.8: Vergrößerung: Komplexitätsbewertung neuer Variantenszenarien

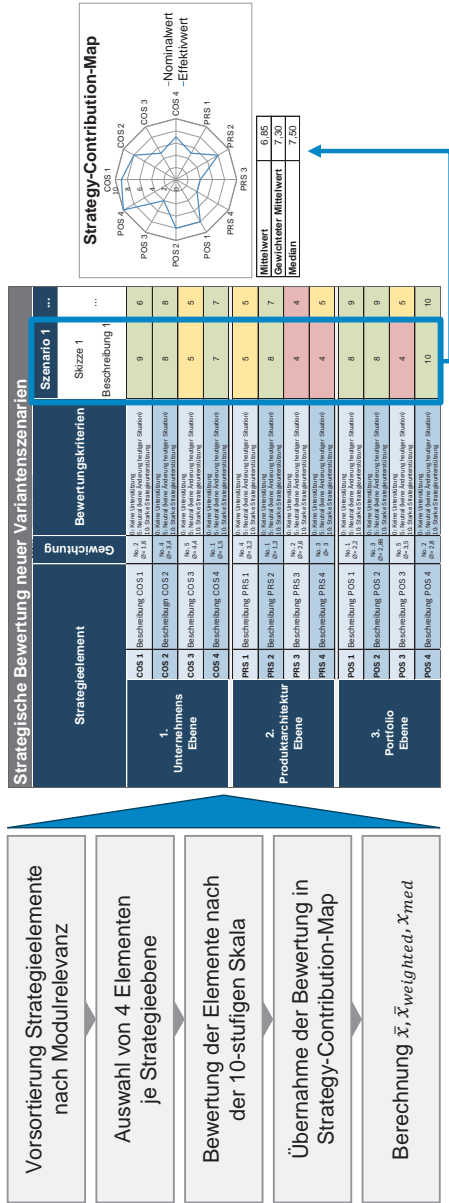


Abbildung A.9: Vergrößerung: Strategische Bewertung neuer Variantenszenarien

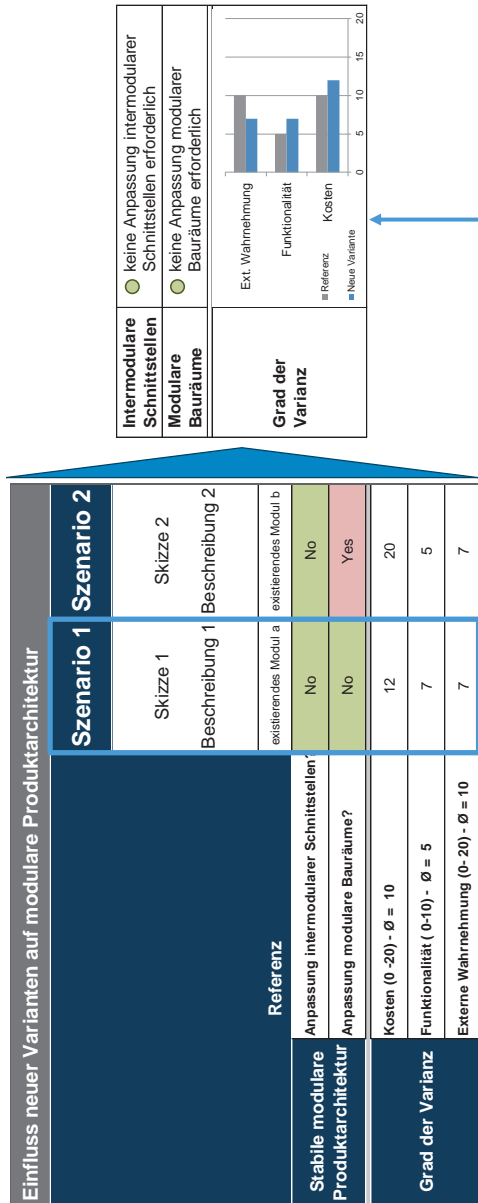


Abbildung A.10: Vergrößerung: Einfluss neuer Varianten auf die modulare Produktarchitektur

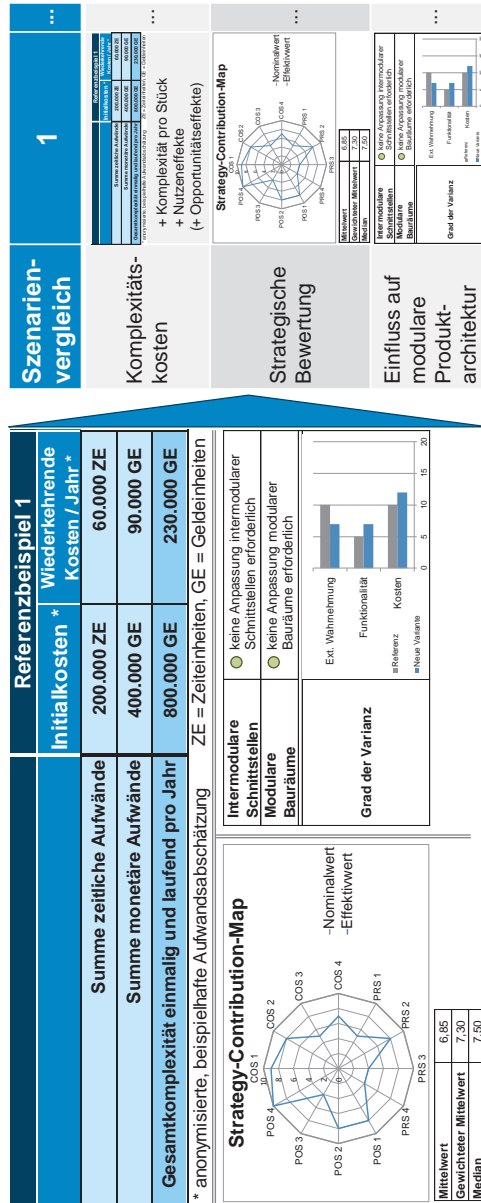


Abbildung A.11: Vergrößerung: Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart

Variant Management - Scenario Description & Start of Assessment			
Select total amount of scenarios	1 ▾		
<p>Please specify the different variant scenarios and update all relevant information below</p> <p>Afterwards press:</p> <input type="button" value="Update scenarios"/>	Scenario 1:		
Number of pieces			
Costs			
Reference example today			
Module lifecycle			
Benefit			
# Plants for module production			
# Plants for product production			
	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Finalized? Press "Ready" at corresponding excel sheets</td> <td style="text-align: center;"><input type="button" value="Update Cockpit Sheet"/></td> </tr> </table>	Finalized? Press "Ready" at corresponding excel sheets	<input type="button" value="Update Cockpit Sheet"/>
Finalized? Press "Ready" at corresponding excel sheets	<input type="button" value="Update Cockpit Sheet"/>		
Complexity costs			
Select sheet <input type="text" value="Please choose"/> ▾ <- Go to	<input type="checkbox"/>		
Strategic evaluation			
Select sheet <input type="text" value="Strategies Collection"/> ▾ <- Go to	<input type="checkbox"/>		
Maintaining ModPA			
Select sheet <input type="text" value="Maintaining mod. Prod"/> ▾ <- Go to	<input type="checkbox"/>		

Abbildung A.12: Vergrößerung: Eingabemaske Methodik

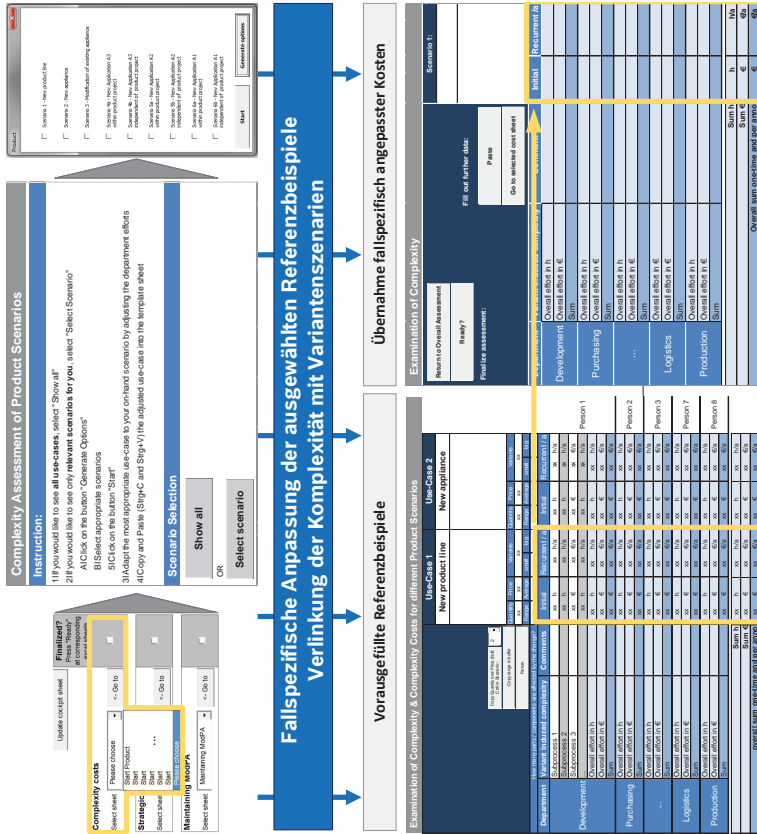


Abbildung A.13: Vergrößerung: Implementierung der Komplexitätsbewertung

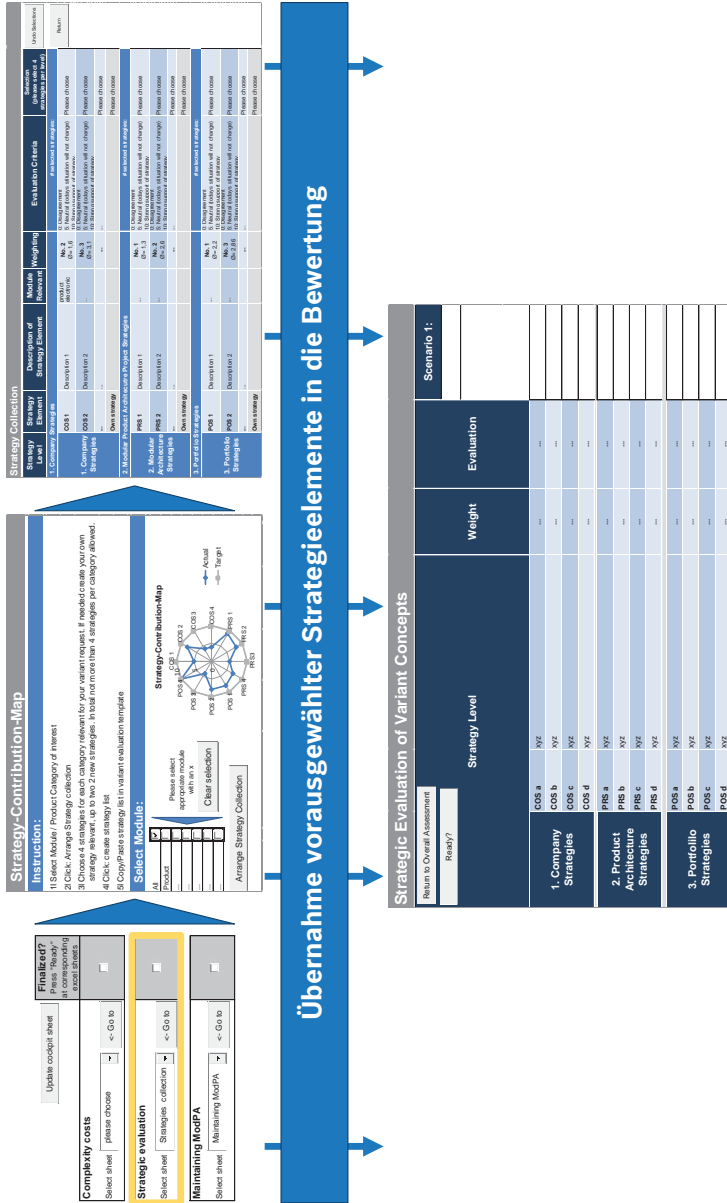


Abbildung A.14: Vergrößerung: Implementierung strategische Bewertung

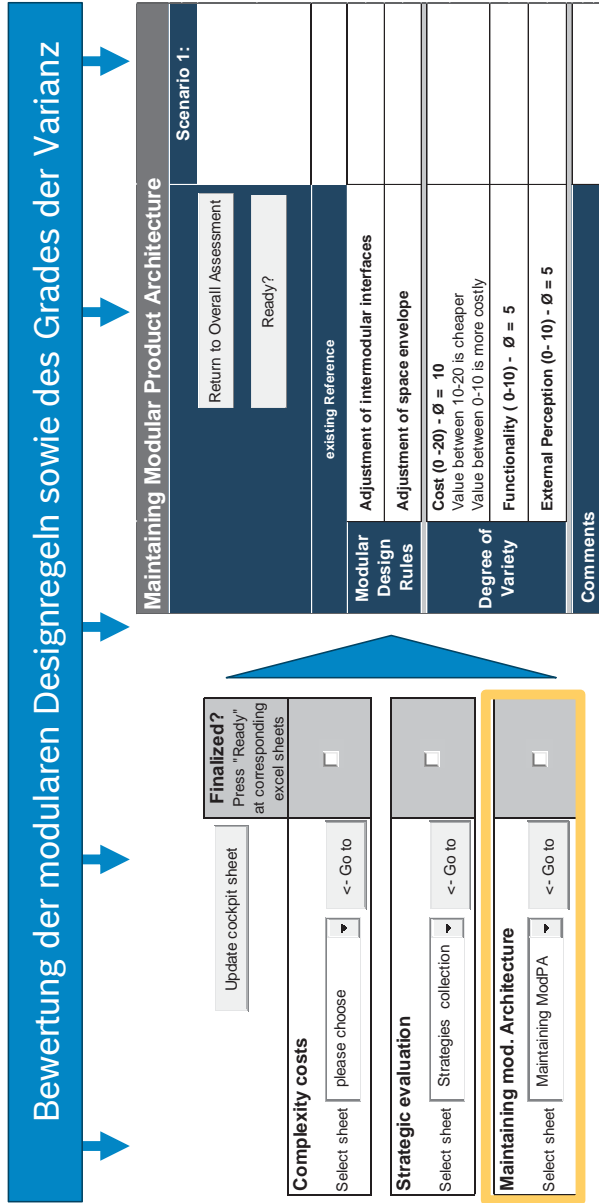


Abbildung A.15: Vergrößerung: Implementierung der Auswirkungen auf modulare Struktur

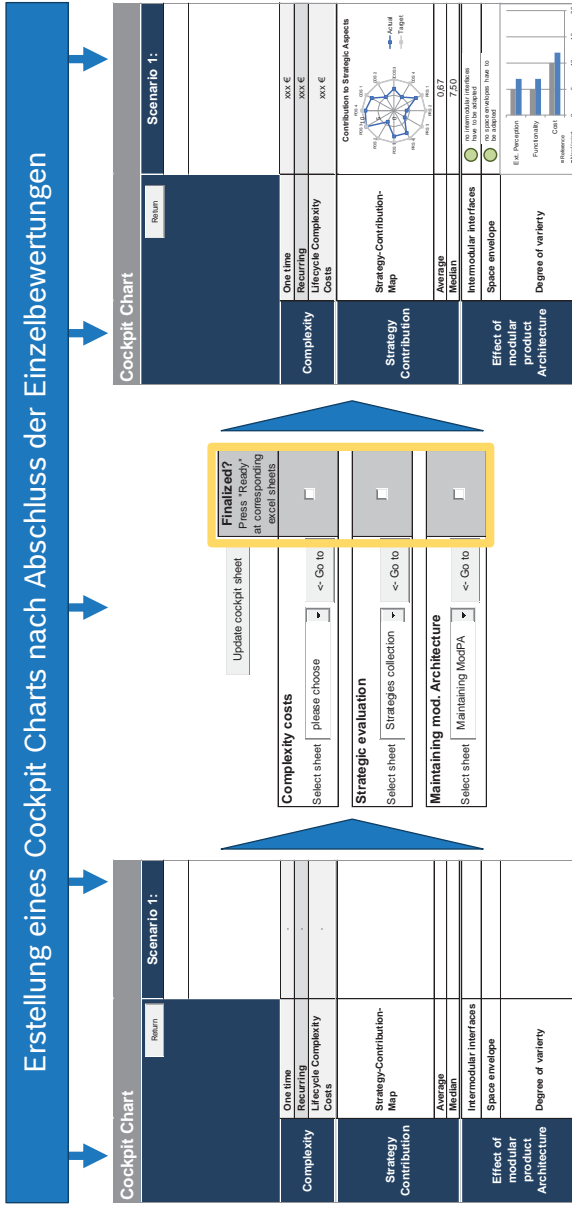


Abbildung A.16: Vergrößerung: Implementierung Cockpit Chart

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

- Columns:** A-Z, with Scenario 1 (B-G), Scenario 2 (H-M), Scenario 3 (N-Q), and Scenario 4 (R-U).
- Row 1:** Title "Variant Management - Scenario Description & Start of Assessment".
- Row 2:** "Select total amount of scenario: [1]"
- Row 3:** "Please specify the different variant scenarios and updates all relevant information below"
- Row 4:** "Afterwards press: Update scenario" (with a button icon)
- Row 5:** "Number of pieces" (with a dropdown menu)
- Row 6:** "Costs" (with a dropdown menu)
- Row 7:** "Reference example today" (with a dropdown menu)
- Row 8:** "Module lifecycle" (with a dropdown menu)
- Row 9:** "Benefit" (with a dropdown menu)
- Row 10:** "# Plants for Module Production" (with a dropdown menu)
- Row 11:** "# Plants for Product Production" (with a dropdown menu)
- Row 12:** "Finalized?" (with a dropdown menu and a "Update Occult Sheet" button)
- Row 13:** "Complexity costs" (with a dropdown menu)
- Row 14:** "Strategic evaluation" (with a dropdown menu)
- Row 15:** "Maintaining mod. Architecture" (with a dropdown menu)

Abbildung A.17: Vergrößerung: Starten der Methodik

Complexity Assessment of new electronic module variant concepts												
Scenario 1			Scenario 2			Scenario 3			Scenario 4			
Advanced user guidance via foil technology			Simplified user guidance via spring technology			(Simplified) user guidance via foil and spring			(Simplified) user guidance via foil technology			
Easier end-user boiler handling			Easier end-user boiler handling			Easier end-user boiler handling			Easier end-user boiler handling			
Module (Variant) Concepts fulfilling new market request:			Module (Variant) Concepts fulfilling new market request:			Module (Variant) Concepts fulfilling new market request:			Module (Variant) Concepts fulfilling new market request:			
Tasks to create and maintain module (variant)			Tasks to create and maintain module (variant)			Tasks to create and maintain module (variant)			Tasks to create and maintain module (variant)			
	initial	recurring	initial	recurring	initial	recurring	initial	recurring	initial	recurring	initial	recurring
R&D	25 TU	1 TU/a	25 TU	1 TU/a	34 TU	1 TU/a	34 TU	1 TU/a	27 TU	1 TU/a	27 TU	1 TU/a
Task R&D 1	400 MU	50 MU/a	400 MU	50 MU/a	420 MU	60 MU/a	420 MU	60 MU/a	405 MU	55 MU/a	405 MU	55 MU/a
Task R&D 2	30 TU	0 TU/a	30 TU	0 TU/a	34 TU	0 TU/a	34 TU	0 TU/a	32 TU	0 TU/a	32 TU	0 TU/a
Task R&D 3: Assumption 2												
...												
Task R&D 11	20 TU	3 TU/a	20 TU	3 TU/a	28 TU	4 TU/a	28 TU	4 TU/a	23 TU	4 TU/a	23 TU	4 TU/a
Task PUR 1	4 TU	0 TU/a	4 TU	0 TU/a	5 TU	0 TU/a	5 TU	0 TU/a	4 TU	0 TU/a	4 TU	0 TU/a
Task PUR 2	2 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a	3 TU	0 TU/a	3 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a
Task PUR 3: Assumption 3	2 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a	3 TU	0 TU/a	3 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a
...												
Task PUR 13: Assumption 7	5 TU	4 TU/a	5 TU	4 TU/a	6 TU	4 TU/a	6 TU	4 TU/a	5 TU	4 TU/a	5 TU	4 TU/a
Task Log 1: Assumption 13	0 MU	22 MU/a	0 MU	22 MU/a	0 MU	33 MU/a	0 MU	33 MU/a	0 MU	22 MU/a	0 MU	22 MU/a
Task Log 2	0 MU	9 MU/a	0 MU	9 MU/a	0 MU	11 MU/a	0 MU	11 MU/a	0 MU	9 MU/a	0 MU	9 MU/a
Task Log 4	0 MU	837 MU/a	0 MU	837 MU/a	0 MU	955 MU/a	0 MU	955 MU/a	0 MU	862 MU/a	0 MU	862 MU/a
...												
Task Log 28: Assumption 14	0,8 TU	0 TU/a	1,5 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a	2 TU	0 TU/a
summarized time inputs	267 TU	14 TU/a	264 TU	15 TU/a	315 TU	16 TU/a	315 TU	17 TU/a	288 TU	17 TU/a	288 TU	17 TU/a
summarized monetary inputs	740 MU	932 MU/a	713 MU	723 MU/a	888 MU	1.080 MU/a	888 MU	1.080 MU/a	785 MU	1.088 MU/a	785 MU	1.088 MU/a
complexity cost benchmarking	100 %			85 %			122 %			114 %		

Abbildung A.18: Vergrößerung: Komplexitätskostenbewertung der Alternativszenarien

Strategic Evaluation of Variant Concepts							
Return to Overall Assessment		Weight		Evaluation			
Ready?		Strategy Level		Scenario 1: Advanced user guidance via foil technology			
				Scenario 2: Simplified user guidance via spring technology			
				Scenario 3: (Simplified) user guidance via foil and spring technology			
				Scenario 4: (Simplified) user guidance via foil technology			
1. Company Strategies	COS 2	Description COS 2	No. 2 $\varnothing = 1,6$	9	6	7	7
	COS 3	Description COS 3	No. 4 $\varnothing = 3,4$	8	8	8	8
	COS 5	Description COS 5	No. 5 $\varnothing = 4,4$	5	5	5	5
	COS 7	Description COS 7	No. 1 $\varnothing = 1,3$	7	7	8	8
2. Product Architecture Strategies	PRS 1	Description PRS 1	No. 4 $\varnothing = 3,2$	5	5	4	4
	PRS 3	Description PRS 3	No. 1 $\varnothing = 1,3$	8	7	6	6
	PRS 4	Description PRS 4	No. 2 $\varnothing = 2,6$	4	4	3	4
	PRS 5	Description PRS 5	No. 3 $\varnothing = 3$	4	5	6	6
	POS 1	Description POS 1	No. 1 $\varnothing = 2,2$	8	9	6	6
3. Portfolio Strategies	POS 2	Description POS 2	No. 3 $\varnothing = 2,86$	8	9	3	4
	POS 3	Description POS 3	No. 5 $\varnothing = 3,5$	4	5	1	3
	POS 4	Description POS 4	No. 2 $\varnothing = 2,8$	10	10	3	3

Abbildung A.19: Vergrößerung: Bewertung des strategischen Einflusses

Maintaining Modular Product Architecture					
		Scenario 1:	Scenario 2:	Scenario 3:	Scenario 4:
Return to Overall Assessment		Advanced user guidance via foil technology	Simplified user guidance via spring technology	(Simplified) user guidance via foil and spring technology	(Simplified) user guidance via foil technology
Ready?					
Reference		Elektronik A	Elektronik A	Elektronik A	Elektronik A
Modular Design Rules	Adjustment of intermodular interfaces	No	No	No	No
	Adjustment of space envelope	No	No	No	No
Degree of Variety	Cost (0-20) - Ø = 10 Value between 10-20 is cheaper Value between 0-10 is more costly	12	20	16	12
	Functionality (0-10) - Ø = 5	8	5	6	6
	External Perception (0-10) - Ø = 5	7	7	2	2

Abbildung A.20: Vergrößerung: Bewertung des Einflusses auf die modulare Produktarchitektur

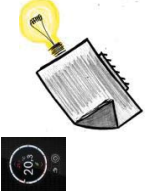
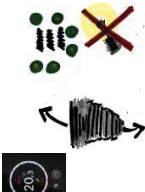

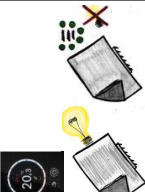
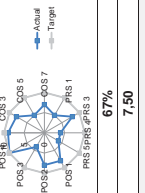
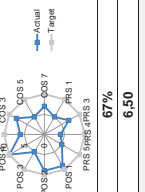
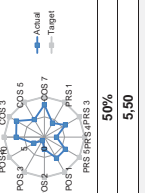
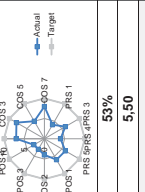








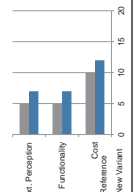
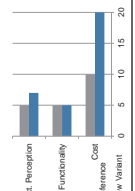
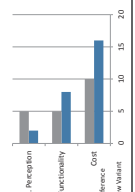
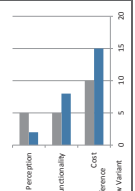
Cockpit Chart		Scenario 1:	Scenario 2:	Scenario 3:	Scenario 4:
		Advanced user guidance via foil technology	Simplified user guidance via spring technology	(Simplified) user guidance via foil and spring technology	(Simplified) user guidance via foil technology
Return					
Complexity Costs		267 TU 740 MU 14 TU/a 932 MU/a	264 TU 713 MU 15 TU/a 723 MU/a	315 TU 888 MU 31 TU/a 1080 MU/a	288 TU 785 MU 17 TU/a 1088 MU/a
Lifecycle Complexity Costs		100%	85%	122%	114%
Strategy- Contribution-Map					
Average		67%	67%	50%	53%
Median		7.50	6.50	5.50	5.50
Intermodular interfaces		 no intermodular interfaces have to be adapted	 no intermodular interfaces have to be adapted	 no intermodular interfaces have to be adapted	 no intermodular interfaces have to be adapted
Space envelope		 no space envelopes have to be adapted	 no space envelopes have to be adapted	 no space envelopes have to be adapted	 no space envelopes have to be adapted
Effect on modular product Architecture					

Abbildung A.21: Vergrößerung: Ergebniszusammenfassung mittels Cockpit Chart

Literatur

- [Abd08] N. Abdelkafi. *Variety-Induced Complexity in Mass Customization: Concepts and Management*. Bd. 7. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2008.
- [AJ98] D. Adam und U. Johannwille. “Die Komplexitätsfalle”. In: *Komplexitätsmanagement*. Hrsg. von D. Adam. Bd. 61. Wiesbaden: Gabler, 1998, S. 5–28.
- [Ald06] K. Alders. “Komplexitäts- und Variantenmanagement der AUDI AG”. In: *Individualisierte Produkte*. Hrsg. von U. Lindemann, R. Reichwald und M. F. Zäh. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2006, S. 221–237.
- [And07] C. Anderson. *The Long Tail: How endless choice is creating unlimited demand*. London: Random House Business Books, 2007.
- [Ash57] W. R. Ashby. *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall Ltd., 1957.
- [Ava07] B. Avak. *Variant Management of Modular Product Families in the Market Phase*. Düsseldorf: VDI Verlag, 2007.
- [Bat01] D. Battenfeld. “Behandlung von Komplexitätskosten in der Kostenrechnung”. In: *Controlling & Management Review* 45.3 (2001), S. 137–143.
- [Bau14] T. Bauernhansl. “Die Vierte Industrielle Revolution: Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma”. In: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Hrsg. von T. Bauernhansl, M. t. Hompel und B. Vogel-Heuser. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014, S. 5–35.

- [Bay10] T. Bayer. *Integriertes Variantenmanagement: Variantenkostenbewertung mit faktorenanalytischen Komplexitätstreibern*. München: Rainer Hampp Verlag, 2010.
- [BBGK15] T. Bahns, G. Beckmann, N. Gebhardt und D. Krause. “Sustainability of Modular Product Families”. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design Systems (ICED 2015)*. Hrsg. von C. Weber, S. Husung, M. Cantamessa, G. Cascini, Marjanovic D. und M. Bordegoni. 2015.
- [BC06] C. Y. Baldwin und K. B. Clark. “Modularity in the Design of Complex Engineering Systems”. In: *Complex Engineered Systems*. Hrsg. von D. Braha, A. A. Minai und Y. Bar-Yam. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2006, S. 175–205.
- [Ber12a] R. Berger. *Mastering Product Complexity*. Düsseldorf, 2012.
- [Ber12b] R. Berger. *Modular Products: How to leverage modular product kits for growth and globalization*. München. Stuttgart, 2012.
- [BG16] B. Bender und K. Gericke. “Entwicklungsprozesse”. In: *Handbuch Produktentwicklung*. Hrsg. von U. Lindemann. München: Carl Hanser Verlag, 2016, S. 401–424.
- [BGK14] G. Beckmann, N. Gebhardt und D. Krause. “Transfer of Methods for Developing Modular Product Families into Practice: An Interview Study”. In: *Proceedings of the International Design Conference - DESIGN 2014*. Hrsg. von Marjanovic D., Storga M., Pavkovic N. und Bojcetic N. Dubrovnik, 2014, S. 121–130.
- [BK13] T. Bahns und D. Krause. “Pflege modularer Produktfamilien nach dem Markteintritt durch die Produktentwicklung”. In: *Beiträge zum 24. DfX-Symposium 2013*. Hrsg. von D. Krause, K. Paetzold und S. Wartzack. Hamburg: TuTech Verlag, 2013, S. 209–220.

- [BKBK10] C. Blees, T. Kipp, G. Beckmann und D. Krause. “Development of Modular Product Families: Integration of Design for Variety and Modularization”. In: *Proceedings of the 8th International NordDesign Conference*. Hrsg. von A. Dagman und R. Söderberg. Göteborg, 2010, S. 159–170.
- [Ble11] C. Blees. *Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien*. Hamburg: TuTech Verlag, 2011.
- [Bli00] C. Bliss. *Management von Komplexität: Ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion*. Wiesbaden: Springer Verlag, 2000.
- [Blo10] M.-O. Blockus. *Komplexität in Dienstleistungsunternehmen: Komplexitätsformen, Kosten- und Nutzenwirkungen, empirische Befunde und Managementimplikationen*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2010.
- [Boh98] F. Bohne. *Komplexitätskostenmanagement in der Automobilindustrie: Identifizierung und Gestaltung vielfaltsinduzierter Kosten*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1998.
- [Bro14] M. Brosch. *Eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität*. Hamburg: TuTech Verlag, 2014.
- [Buc12] M. Buchholz. *Theorie der Variantenvielfalt: Ein produktions- und absatzwirtschaftliches Erklärungsmodell*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012.
- [Bur16] N. Bursac. *Model Based Systems Engineering zur Unterstützung der Baukastenentwicklung im Kontext der Frühen Phase der Produktgenerationsentwicklung*. Leimen: Stolzenberger Druck und Werbung GmbH, 2016.
- [Cae91] C. Caesar. *Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte: variant mode and effects analysis (VMEA)*. Düsseldorf: VDI Verlag, 1991.

- [CDSW91] P. Child, R. Diederichs, F.-H. Sanders und S. Wisniowski. “SMR Forum: The management of complexity”. In: *Sloan Management Review* 33.1 (1991), S. 73–80.
- [CF91] K. B. Clark und T. Fujimoto. *Product development performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press, 1991.
- [CK91] R. Cooper und R. S. Kaplan. “Profit Priorities from Activity-Based Costing”. In: *Harvard Business Review* 69.3 (1991), S. 130–135.
- [CL05] K.-M. Chen und R.-J. Liu. “Interface strategies in modular product innovation”. In: *Technovation* 25 (2005), S. 771–782.
- [CO14] M.-C. Chiu und G. Okudan. “An investigation on the impact of product modularity level on supply chain performance metrics: an industrial case study”. In: *Journal of Intelligent manufacturing* 25 (2014), S. 129–145.
- [Del06] R. Dellanoi. *Kommunalitäten bei der Entwicklung variantenreicher Produktfamilien*. Bamberg: Difo-Druck GmbH, 2006.
- [DJT01] X. Du, J. Jiao und M. M. Tseng. “Architecture of Product Family: Fundamentals and Methodology”. In: *Concurrent Engineering* 9.4 (2001), S. 309–325.
- [EB08] A. Engel und T. R. Browning. “Designing Systems for Adaptability by Means of Architecture Options”. In: *Systems Engineering* 11 (2008), S. 125–146.
- [EB12] S. D. Eppinger und T. R. Browning. *Design Structure Matrix Methods and Applications*. Cambridge, Massachusetts, London: MIT Press, 2012.
- [Ebe00] R. Eberle. “Varianten-Controlling in der Automobil-Industrie”. In: *Controlling & Management* 44.6 (2000), S. 343–350.

-
- [EKL07] K. Ehrlenspiel, A. Kiewert und U. Lindemann. *Cost-Efficient Design*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2007.
- [EKLM14] K. Ehrlenspiel, A. Kiewert, U. Lindemann und M. Mörtl. *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag, 2014.
- [ENS06] W. Eversheim, C. Nonn und G. Schuh. “Produktstrukturierung im Einzel- und Kleinserienbereich (ab 1985)”. In: *100 Jahre Produktionstechnik*. Hrsg. von W. Eversheim, T. Pfeifer und M. Weck. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2006, S. 637–648.
- [ER15] A. Engel und Y. Reich. “Advancing Architecture Options Theory: Six Industrial Case Studies”. In: *Systems Engineering* 18.4 (2015), S. 396–414.
- [Eri98] G. Erixon. “Modular Function Deployment: A Method for Product Modularisation”. Diss. Stockholm: The Royal Institute of Technology, 1998.
- [ESEPSTB13] H. ElMaraghy, G. Schuh, W. ElMaraghy, F. Piller, P. Schönsleben, M. Tseng und A. Bernard. “Product variety management”. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 62 (2013), S. 629–652.
- [FF00] H.-J. Franke und N. L. Firchau. “Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung”. In: *Design for X*. Hrsg. von H. Meerkamm. Erlangen, 2000, S. 59–64.
- [FG08] J. Feldhusen und B. Gebhardt. *Product Lifecycle Management für die Praxis: Ein Leitfaden zur modularen Einführung, Umsetzung und Anwendung*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2008.

- [FGGT13] J. Feldhusen, K.-H. Grote, J. Göpfert und G. Tretow. “Technische Systeme”. In: *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*. Hrsg. von J. Feldhusen und K.-H. Grote. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag, 2013, S. 237–279.
- [Fis08] J. O. Fischer. *Kostenbewusstes Konstruieren: Praxisbewährte Methoden und Informationssysteme für den Konstruktionsprozess*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2008.
- [Fix05] S. K. Fixson. “Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain design decisions”. In: *Journal of operations management* 23 (2005), S. 345–369.
- [Fix06] S. K. Fixson. “A Roadmap for Product Architecture Costing”. In: *Product Platform and Product Family Design*. Hrsg. von T. W. Simpson, Z. Siddique und J. Jiao. New York: Springer Verlag, 2006, S. 305–334.
- [FKMK16] A. Förg, E. Karrer-Müller und M. Kreimeyer. “Produktarchitektur”. In: *Handbuch Produktentwicklung*. Hrsg. von U. Lindemann. München: Carl Hanser Verlag, 2016, S. 99–109.
- [Fri91] M. Friendly. “Statistical Graphics for Multivariate Data”. In: *SAS SUGI Conference* 16 (1991), S. 1157–1162.
- [GA05] M. Gottfredson und K. Aspinall. “Innovation Versus Complexity: What Is Too Much of a Good Thing?” In: *Harvard Business Review* 83 (2005), S. 62–71.
- [Gem95] M. Gemmerich. *Technische Produktänderungen: Betriebswirtschaftliche und empirische Modellanalyse*. Wiesbaden: Springer Verlag, 1995.
- [Gie10] M. Giessmann. *Komplexitätsmanagement in der Logistik: Kausalanalytische Untersuchung zum Einfluss der Beschaffungskomplexität auf den Logistikerfolg*. Lohmar und Köln: Josef EUL Verlag, 2010.

- [Gil13] C. Gille. *Gestaltung von Produktänderungen im Kontext hybrider Produkte: Kostenanalyse am Beispiel der Groß- und Kleinserienfertigung im Maschinenbau*. Wiesbaden: Springer Verlag, 2013.
- [GKK16] N. Gebhardt, M. Kruse und D. Krause. “Gleichteile-, Modul- und Plattformstrategie”. In: *Handbuch Produktentwicklung*. Hrsg. von U. Lindemann. München: Carl Hanser Verlag, 2016, S. 111–149.
- [GM96] M. Gell-Mann. *Das Quark und der Jaguar: vom Einfachen zum Komplexen; die Suche nach einer neuen Erklärung der Welt*. München und Zürich: Piper Verlag, 1996.
- [Gro10] S. Grotkamp. *Bewertung von Produktstrukturkonzepten im Variantenmanagement*. München: Verlag Dr. Hut, 2010.
- [Göp98] J. Göpfert. *Modulare Produktentwicklung: Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1998.
- [HD97] C. Homburg und D. Daum. “Wege aus der Komplexitätskostenfalle”. In: *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 92.7-8 (1997), S. 333–337.
- [HE96] V. Hubka und W. E. Eder. *Design Science: Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge*. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag, 1996.
- [Hei99] J. Heina. *Variantenmanagement: Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt*. Wiesbaden: Springer Verlag, 1999.
- [HK16] J. Hackl und D. Krause. “Effects of Modular Product Structures on Life Phases and Economic Factors”. In: *Proceedings of the International Design Conference - Design 2016*. Hrsg. von Marjanovic D., Storga M., Pavkovic N., Bojetic N. und S. Skec. Dubrovnik, 2016, S. 1285–1294.

- [HO05] K. Hölttä-Otto. *Modular Product Platform Design*. Otamedia Verlag, 2005.
- [HP07] A. Herrmann und K. Peine. “Variantenmanagement”. In: *Handbuch Produktmanagement*. Hrsg. von S. Albers und A. Herrmann. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2007, S. 650–679.
- [JT05] A. Jose und M. Tollenaere. “Modular and platform methods for product family design: literature analysis”. In: *Journal of Intelligent manufacturing* 16 (2005), S. 371–390.
- [Jun05] M. Junge. *Controlling modularer Produktfamilien in der Automobilindustrie: Entwicklung und Anwendung der Modularisierungs-Balanced-Scorecard*. Wiesbaden: Springer Verlag, 2005.
- [Kip12] T. Kipp. *Methodische Unterstützung der variantengerechten Produktgestaltung*. Hamburg: TuTech Verlag, 2012.
- [Kir03] R. Kirchhof. *Ganzheitliches Komplexitätsmanagement: Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, 2003.
- [KMKM12] M. Kreimeyer, U. Metzger und E. Karrer-Müller. “Ganzheitliche Bewertung unterschiedlicher Lösungskonzepte: Konzeptbewertung in den frühen Phasen der Entwicklung”. In: *Proceedings of the 2nd Commercial Vehicle Technology Symposium (CVT 2012)*. Hrsg. von K. Berns, C. Schindler, K. Dreßler, B. Jörg, R. Kalmar und G. Zolynski. 2012, S. 3–11.
- [KN96] R. S. Kaplan und D. P. Norton. “Linking the Balanced Scorecard to Strategy”. In: *California management review* 39.1 (1996), S. 53–79.

- [Kop14] F. Kopenhagen. “Modulare Produktarchitekturen - Komplexitätsmanagement in der frühen Phase der Produktentwicklung”. In: *Komplexitätsmanagement in Unternehmen*. Hrsg. von K.-P. Schoeneberg. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014, S. 113–162.
- [KRL15] D. Kasperek, M. Roth, C. Lozano und U. Lindemann. “Ein Leitfaden zur marktorientierten top-down Modularisierung im Maschinen- und Anlagenbau”. In: *Tag des Systems Engineering (2015): Verteiltes Arbeiten mit ganzheitlicher Kontrolle (2015)*, S. 377–386.
- [KT91] C. H. Kepner und B. B. Tregoe. *Entscheidungen vorbereiten und richtig treffen: Rationales Management: Die neue Herausforderung*. Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie AG & Co., 1991.
- [LG06] U. Lindemann und A. Gahr. “Kostenmanagement individualisierter Produkte”. In: *Individualisierte Produkte*. Hrsg. von U. Lindemann, R. Reichwald und M. F. Zäh. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2006, S. 179–198.
- [Lin94] V. Lingnau. *Variantenmanagement: Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1994.
- [LLW16] T. Luft, J. Le Cardinal und S. Wartzack. “Methoden der Entscheidungsfindung”. In: *Handbuch Produktentwicklung*. Hrsg. von U. Lindemann. München: Carl Hanser Verlag, 2016, S. 759–803.
- [LM07] U. Lindemann und M. Maurer. “Facing Multi-Domain Complexity in Product Development”. In: *Proceedings of the 17th CIRP Design Conference: The Future of Product Development*. Hrsg. von F.-L. Krause. Heidelberg, Berlin: Springer Verlag, 2007, S. 351–361.

- [LMB09] U. Lindemann, M. Maurer und T. Braun. *Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2009.
- [LRZ06] U. Lindemann, R. Reichwald und M. F. Zäh, Hrsg. *Individualisierte Produkte: Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2006.
- [LYT07] A. K. Lau, R. C. M. Yam und E. Tang. “The impacts of product modularity on competitive capabilities and performance: An empirical study”. In: *International journal of production economics* 105 (2007), S. 1–20.
- [Lös01] J. Lösch. *Controlling der Variantenvielfalt: Eine koordinationsorientierte Konzeption zur Steuerung von Produktvarianten*. Aachen: Shaker Verlag, 2001.
- [Mal08] F. Malik. *Strategie des Managements komplexer Systeme: Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme*. Bern, Stuttgart und Wien: Haupt Verlag, 2008.
- [Mey07] C. M. Meyer. *Integration des Komplexitätsmanagements in den strategischen Führungsprozess der Logistik*. Bern, Stuttgart und Wien: Haupt Verlag, 2007.
- [MG03] J. H. Mikkola und O. Gassmann. “Managing Modularity of Product Architectures: Toward an Integrated Theory”. In: *IEEE Transactions on Engineering Management* 50.2 (2003), S. 204–218.
- [MI02] M. V. Martin und K. Ishii. “Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures”. In: *Research in Engineering Design* 13 (2002), S. 213–235.
- [ML97] M. H. Meyer und A. P. Lehnerd. *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*. New York: Simon and Schuster Verlag, 1997.

- [MTU97] M. H. Meyer, P. Tertzakian und J. M. Utterback. “Metrics for Managing Research and Development in the Context of the Product Family”. In: *Management Science* 43.1 (1997), S. 88–111.
- [Ovt10] J. G. Ovtcharova. “Virtual Engineering: Principles, Methods and Applications”. In: *Proceedings of the International Design Conference - Design 2010*. Hrsg. von Marjanovic D., Storga M., Pavkovic N., Bojcetic N. 2010, S. 1267–1274.
- [PB07] A. Picot und O. Baumann. “Modularität in der verteilten Entwicklung komplexer Systeme: Chancen, Grenzen, Implikationen”. In: *Journal für Betriebswirtschaft* 57 (2007), S. 221–246.
- [Pil06] F. T. Piller. *Mass Customization: Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, 2006.
- [PL11] J. Ponn und U. Lindemann. *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte: Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen*. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag, 2011.
- [Por09] R. Porst. *Fragebogen: Ein Arbeitsbuch*. Wiesbaden: Springer Verlag, 2009.
- [PP15] P. R. Preißler und G. J. Preißler. *Entscheidungsorientierte Kosten- und Leistungsrechnung*. Berlin, München und Boston: De Gruyter Oldenbourg Verlag, 2015.
- [Rat93] P. J. Rathnow. *Integriertes Variantenmanagement: Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht Verlag, 1993.
- [Rau11] U. Raubold. *Lebenszyklusmanagement in der Automobilindustrie: Ein Optimierungsansatz auf Basis der auf den Lebenszyklus wirkenden Einflussfaktoren*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011.

- [RK15] S. Ripperda und D. Krause. “Cost Prognosis of Modular Product Structure Concepts”. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design Systems (ICED 2015)*. Hrsg. von C. Weber, S. Husung, M. Cantamessa, G. Cascini, Marjanovic D. und M. Bordegoni. 2015.
- [Rom93] G. Rommel. *Einfach überlegen: das Unternehmenskonzept, das die Schlanken schlank und die Schnellen schnell macht*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 1993.
- [SAA12] G. Schuh, J. Arnoscht und S. Aleksic. “Systematische Gestaltung von Kommunalitäten in Produkten und Prozessen”. In: *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 107.5 (2012), S. 322–326.
- [SAA13] G. Schuh, S. Aleksic und J. Arnoscht. “Module Based Release Planning for Technical Changes”. In: *Proceedings of PICMET 2013: Technology Management for Emerging Technologies*. Hrsg. von IEEE. 2013, S. 1604–1617.
- [Sal07] F. Salvador. “Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization”. In: *IEEE Transactions on Engineering Management* 54.2 (2007), S. 219–240.
- [San95] R. Sanchez. “Strategic Flexibility in Product Competition”. In: *Strategic Management Journal* 16 (1995), S. 135–159.
- [Sch05] G. Schuh. *Produktkomplexität managen: Strategien - Methoden - Tools*. München und Wien: Carl Hanser Verlag, 2005.
- [Sch12a] S. O. Schömann. *Produktentwicklung in der Automobilindustrie: Managementkonzepte vor dem Hintergrund gewandelter Herausforderungen*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012.
- [Sch12b] G. Schuh. *Konsortial-Benchmarking „Baukasten- und Variantenmanagement“: Zusammenfassung der Ergebnisse*. Harzewinkel, 18.12.2014.

- [Sch14] K.-P. Schoeneberg. “Komplexität – Einführung in die Komplexitätsforschung und Herausforderungen für die Praxis”. In: *Komplexitätsmanagement in Unternehmen*. Hrsg. von K.-P. Schoeneberg. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014, S. 13–27.
- [Sch15] G. Schuh. *Leitfaden zur Baukastengestaltung: Ergebnisse des Forschungsprojekts Gestaltung innovativer Baukasten- und Wertschöpfungsstrukturen (GiBWert)*. Frankfurt am Main: VDMA Verlag, 2015.
- [Sch88] G. Schuh. *Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten: Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten*. Düsseldorf: VDI Verlag, 1988.
- [Sch94] S. Schulz. “Komplexität in Unternehmen: Eine Herausforderung an das Controlling”. In: *Controlling* 3 (1994), S. 130–139.
- [Sei05] M. Seidel. *Methodische Produktplanung: Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess*. Karlsruhe: Universitätsverlag, 2005.
- [SGKSW09] C. Stöber, G. Gruber, H. Krehmer, J. Stuppy und C. Westphal. “Herausforderung Design for X (DfX)”. In: *Proceedings of the 20th Symposium on Design for X*. Hrsg. von H. Meerkamm. 2009, S. 101–111.
- [Sim62] H. A. Simon. “The Architecture of Complexity”. In: *Proceedings of the American Philosophical Society* 106 (1962), S. 467–482.
- [Ski15] H. Skirde. *Kostenorientierte Bewertung modularer Produktarchitekturen*. Lohmar und Köln: Josef EUL Verlag, 2015.
- [SLAR10] G. Schuh, M. Lenders, J. Arnoscht und S. Rudolf. *Effizienter innovieren mit Produktbaukästen: Studienergebnisse und Leitfaden - ein Beitrag zu Lean Innovation*. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor RWTH Aachen Eigendruck, 2010.

- [Som03] L. Sommerhäuser. *Der Weg zur richtigen Entscheidung: Ein Modell zur qualitätsorientierten Unterstützung von Entscheidungen in Prozessen*. Aachen: Shaker Verlag, 2003.
- [SRSS14] G. Schuh, S. Rudolf, M. Schiffer und E. Schrey. *Baukasten- und Variantenmanagement 2014: Zusammenfassung der Ergebnisse des Konsortial-Benchmarkings*. Aachen: Werkzeugmaschinenlabor RWTH Aachen Eigendruck, 2014.
- [SS99] G. Schuh und U. Schwenk. “Produkt- und Variantenkalkulation”. In: *Jahrbuch 1999: Finanz- und Rechnungswesen*. Hrsg. von H. Siegart. Zürich: WEKA Verlag, 1999, S. 179–206.
- [SSS07] H. Schleich, J. Schaffer und J. Scavarda. “Managing Complexity in Automotive Production”. In: *Proceedings of the 19th International Conference on Production Research*. Hrsg. von J. Ceroni und L. Quezada. Citeseer, 2007.
- [Sys06] A. Syska. *Produktionsmanagement: Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2006.
- [TB00] U. W. Thonemann und M. L. Brandeau. “Optimal Commonality in Component Design”. In: *Operations Research* 48.1 (2000), S. 1–19.
- [TIJ06] J. Thyssen, P. Israelsen und B. Jørgensen. “Activity-based costing as a method for assessing the economics of modularization: A case study and beyond”. In: *International journal of production economics* 103 (2006), S. 252–270.
- [TP14] F. Thiebes und N. Plankert. “Umgang mit Komplexität in der Produktentwicklung: Komplexitätsbeherrschung durch Variantenmanagement”. In: *Komplexitätsmanagement in Unternehmen*. Hrsg. von K.-P. Schoeneberg. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014, S. 165–185.
- [UE00] K. T. Ulrich und S. D. Eppinger. *Product Design and Development*. Columbus: Irwin/McGraw-Hill Verlag, 2000.

- [Ulr95] K. Ulrich. “The role of product architecture in the manufacturing firm”. In: *Research policy* 24 (1995), S. 419–440.
- [UP90] H. Ulrich und Probst, Gilbert J. B. *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: ein Brevier für Führungskräfte*. Bern und Stuttgart: Haupt Verlag, 1990.
- [WABGL07] H. Wildemann, C. Ann, M. Bory, W. A. Günthner und U. Lindemann. *Plagiatschutz: Handlungsspielräume der produzierenden Industrie gegen Produktpiraterie*. München: TCW Verlag, 2007.
- [WB92] E. Westkämper und M. Bartuschat. “Methodik zur Reduzierung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung”. In: *Die Maschine* 11-12 (1992), S. 51–55.
- [WBHSO16a] A.-K. Weiser, B. Baasner, M. Hosch, M. Schlueter und J. Ovtcharova. “Complexity Assessment of Modular Product Families”. In: *26th CIRP Design Conference*. Hrsg. von L. Wang. 2016, S. 595–600.
- [WBHSO16b] A.-K. Weiser, B. Baasner, M. Hosch, M. Schlueter und J. Ovtcharova. “Framework of a Variant Management for Modular Product Architectures”. In: *Proceedings of the International Design Conference - Design 2016*. Hrsg. von Marjanovic D., Storga M., Pavkovic N., Bojcetic N. und S. Skec. Dubrovnik, 2016, S. 1435–1444.
- [WBO15] A.-K. Weiser, B. Baasner und J. Ovtcharova. “The Necessity of Considering Strategic Aspects in Variant Decisions of Modular Product Architectures”. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Hrsg. von K. H. Chai und R. Jiao. Singapore: IEEE, 2015, S. 1551–1555.
- [Wes01] J. R. Westphal. *Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik: Ein Ansatz zur flussorientierten Gestaltung und Lenkung heterogener Produktionssysteme*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, 2001.

- [WFBCB11] F. Wuttke, F. Feustel, M. Bohn, S. Csernak und A. Bohn. “Early Robustness Optimization of Automotive Modules: Regarding the Key Impact of the Human Factor”. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11)*. Hrsg. von S. Culley, B. J. Hicks, T. C. McAlone, T. Howard und A. Dong. Dänemark, 2011, S. 1–8.
- [Wil05] H. Wildemann. “Teure Vielfalt: Wie Komplexitätsmanagement auch Qualitätskosten reduziert”. In: *QZ Online* 50.11 (2005), S. 33–36.
- [Wil08] H. Wildemann. *Änderungsmanagement: Leitfaden zur Einführung eines effizienten Managements technischer Änderungen*. München: TCW Verlag, 2008.
- [Wil09] H. Wildemann. *Komplexitätsmanagement: In Vertrieb, Beschaffung, Produkt, Entwicklung und Produktion*. München: TCW Verlag, 2009.
- [WP97] G. Warnecke und H. Puhl. “Komplexitätsmanagement: Mit Systemdenken zur Beherrschung der Komplexität”. In: *Werkstattstechnik* 87 (1997), S. 359–363.
- [Wut12] F. Wuttke. *Robuste Auslegung von Mehrkörpersystemen: Frühzeitige Robustheitsoptimierung von Fahrzeugmodulen im Kontext modulbasierter Entwicklungsprozesse*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2012.
- [Wüp13] J. Wüpping. “Warum einfach? Es geht auch kompliziert! Der kontrollierte Umgang mit Komplexität”. In: *Komplexitätscontrolling*. Hrsg. von R. Gleich. Freiburg und München: Haufe Verlag, 2013, S. 129–146.
- [Yin14] R. K. Yin. *Case Study Research: Design and Methods*. Los Angeles und California: Sage Verlag, 2014.

- [Zer14] C. Zerres. “Notwendigkeit und Strategien eines Komplexitätsmanagements für variantenreiche Produkte: Ein Beitrag am Beispiel der Automobilbranche”. In: *Komplexitätsmanagement in Unternehmen*. Hrsg. von K.-P. Schoeneberg. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014, S. 289–308.
- [Zsi16] H. Zsifkovits. “Management von Produkt- und Prozesskomplexität aus logistischer Sicht”. In: *Industrial Engineering and Management*. Hrsg. von H. Biedermann. Wiesbaden: Springer Verlag, 2016, S. 177–192.
- [Bos] Bosch Thermotechnik GmbH. *Funktionsweise Junkers Brennwerttechnik*. Abgerufen am 31.01.2017. URL: https://www.junkers.com/endkunde/produkte/technik_erklaert/brennwerttechnik/brennwerttechnik.
- [Bosgea] Bosch Thermotechnik GmbH. *Bosch Thermotechnik Bereichspräsentation*. Abgerufen am 28.01.2017. URL: http://www.bosch-thermotechnik.de/media/tt_com/ueber_uns/downloads/TT-Bereichspräsentation_final_DE_komprimiert.pdf.
- [Bosgeb] Bosch Thermotechnik GmbH. *Die neue Junkers Cerapur 9000i: Einfach. Revolutionär*. Abgerufen am 31.01.2017. URL: https://junkers-de.resource.bosch.com/media/de_nj/fachkunde/05_dokumentation/02_broschueren_und_flyer/01_flyer/02_produktflyer/broschuere_cerapur_9000i_usb~1.pdf.
- [DIN02] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. *DIN 199 Technische Produktdokumentation: CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten - Teil 1: Begriffe*. Berlin, 2002.
- [VDA12] VDA Verband der Automobilindustrie. *VDA Richtlinie: "Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie: Sicherung der Qualität in der Prozesslandschaft: Produkt- und Prozess-FMEA*. Hrsg. von VDA Verband der Automobilindustrie. Berlin, 2012.

- [VDI87] VDI Verein Deutscher Ingenieure. *VDI-Richtlinie 2235 "Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren"*. Düsseldorf, 1987.
- [VDI93] VDI Verein Deutscher Ingenieure. *VDI-Richtlinie 2221 "Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte"*. Düsseldorf, 1993.

Eigene Bibliografie

Veröffentlichungen

- Dez '15 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2015)
„*Necessity of the Consideration of Strategic Aspects in Variant Decisions of Modular Product Architectures*“
A. Weiser, B. Baasner, J. Ovtcharova
6.-9. Dezember 2015, Singapur
Conference Proceeding und Präsentation
- Mai '16 14th International Design Conference (Design 2016)
„*Framework of a Variant Management for Modular Product Architectures*“
A. Weiser, B. Baasner, M. Hosch, M. Schlueter, J. Ovtcharova
16.-19. Mai 2016, Dubrovnik, Kroatien
Conference Proceeding and Präsentation
- Jun '16 The 26th CIRP Design Conference
„*Complexity Assessment of Modular Product Families*“
A. Weiser, B. Baasner, M. Hosch, M. Schlueter, J. Ovtcharova
15.-17. Juni 2016, Stockholm, Schweden
Conference Proceeding and Präsentation

Bosch interne Vorstellungen der Methodik

- Mär '15 *„Vorstellung der Motivation der Arbeit und des geplanten Methodikenaufbaus“*
Bosch Gruppe, geschäftsbereichübergreifende Doktorandenrunde
- Mai '16 *„Vorstellung des Methodikenaufbaus“*
Bosch Gruppe, Modularisierungsaustausch Bosch Thermotechnik mit anderen Geschäftsbereichen
- Okt '16 *„Vorstellung der Methodikenimplementierung“*
Bosch Thermotechnik, Vorstellung vor dem oberen Management
- Mär '17 *„Vorstellung der Methodikenimplementierung“*
Bosch Gruppe, allgemeiner geschäftsbereichübergreifender Austausch hinsichtlich Komplexitätsmanagement Methoden
- Jul '17 *„Vorstellung der Methodikenimplementierung der finalen Datenbasis“*
Bosch Gruppe, Modularisierungsaustausch Bosch Thermotechnik mit anderen Geschäftsbereichen

REIHE INFORMATIONSMANAGEMENT IM ENGINEERING KARLSRUHE

Karlsruher Institut für Technologie | ISSN 1860-5990

Herausgeber:

Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI)

o. Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharova

- | | |
|------------------|---|
| Band
1 – 2005 | SEIDEL, MICHAEL
Methodische Produktplanung. Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess. 2005
ISBN 3-937300-51-1 |
| Band
1 – 2006 | PRIEUR, MICHAEL
Functional elements and engineering template-based product development process. Application for the support of stamping tool design. 2006
ISBN 3-86644-033-2 |
| Band
2 – 2006 | GEIS, STEFAN RAFAEL
Integrated methodology for production related risk management of vehicle electronics (IMPROVE). 2006
ISBN 3-86644-011-1 |
| Band
1 – 2007 | GLOSSNER, MARKUS
Integrierte Planungsmethodik für die Presswerkneutypplanung in der Automobilindustrie. 2007
ISBN 978-3-86644-179-8 |
| Band
2 – 2007 | MAYER-BACHMANN, ROLAND
Integratives Anforderungsmanagement. Konzept und Anforderungsmodell am Beispiel der Fahrzeugentwicklung. 2008
ISBN 978-3-86644-194-1 |
| Band
1 – 2008 | MBANG SAMA, ACHILLE
Holistic integration of product, process and resources integration in the automotive industry using the example of car body design and production. Product design, process modeling, IT implementation and potential benefits. 2008
ISBN 978-3-86644-243-6 |

- Band
2 – 2008 **WEIGT, MARKUS**
Systemtechnische Methodenentwicklung : Diskursive Definition heuristischer prozeduraler Prozessmodelle als Beitrag zur Bewältigung von informationeller Komplexität im Produktleben. 2008
ISBN 978-3-86644-285-6
- Band
1 – 2009 **KRAPPE, HARDY**
Erweiterte virtuelle Umgebungen zur interaktiven, immersiven Verwendung von Funktionsmodellen. 2009
ISBN 978-3-86644-380-8
- Band
2 – 2009 **ROGALSKI, SVEN**
Entwicklung einer Methodik zur Flexibilitätsbewertung von Produktionssystemen. Messung von Mengen-, Mix- und Erweiterungsflexibilität zur Bewältigung von Planungsunsicherheiten in der Produktion. 2009
ISBN 978-3-86644-383-9
- Band
3 – 2009 **FORCHERT, THOMAS M.**
Prüfplanung. Ein neues Prozessmanagement für Fahrzeugprüfungen. 2009
ISBN 978-3-86644-385-3
- Band
1 – 2011 **ERKAYHAN, ŞEREF**
Ein Vorgehensmodell zur automatischen Kopplung von Services am Beispiel der Integration von Standardsoftwaresystemen. 2011
ISBN 978-3-86644-697-7
- Band
2 – 2011 **MEIER, GUNTER**
Prozessintegration des Target Costings in der Fertigungsindustrie am Beispiel Sondermaschinenbau. 2011
ISBN 978-3-86644-679-3
- Band
1 – 2012 Nicht erschienen.
- Band
2 – 2012 **WUTTKE, FABIAN**
Robuste Auslegung von Mehrkörpersystemen. Frühzeitige Robustheitsoptimierung von Fahrzeugmodulen im Kontext modulbasierter Entwicklungsprozesse. 2012
ISBN 978-3-86644-896-4

- Band
3 – 2012 **KATIČIĆ, JURICA**
Methodik für Erfassung und Bewertung von emotionalem Kundenfeedback für variantenreiche virtuelle Produkte in immersiver Umgebung. 2012
ISBN 978-3-86644-930-5
- Band
1 – 2013 **LOOS, MANUEL NORBERT**
Daten- und termingesteuerte Entscheidungsmethodik der Fabrikplanung unter Berücksichtigung der Produktentstehung. 2013
ISBN 978-3-86644-963-3
- Band
2 – 2013 **SYAL, GAGAN**
CAE - PROCESS AND NETWORK: A methodology for continuous product validation process based on network of various digital simulation methods. 2013
ISBN 978-3-7315-0090-2
- Band
1 – 2016 **BURGER, ALEXANDER**
Design for Customer: Methodik für nachhaltige Kundenlösungen unter Zuhilfenahme eines bedürfnisorientierten Leistungskonfigurators. 2016
ISBN 978-3-7315-0168-8
- Band
2 – 2016 **Hopf, Jens Michael**
Framework for the Integration of Mobile Device Features in PLM. 2016
ISBN 978-3-7315-0498-6
- Band
1 – 2017 **WALLA, WALDEMAR**
Standard- und Modulbasierte digitale Rohbauprozesskette: Frühzeitige Produktbeeinflussung bezüglich Produktionsanforderungen im Karosserierohbau der Automobilindustrie. 2017
ISBN 978-3-7315-0600-3
- Band
1 – 2018 **WEISER, ANN-KATRIN**
Methodik eines holistischen Variantenmanagements modularer Produktfamilien – Grundlagen, Systematik und beispielhafte Anwendung der VM_{ahead} Methodik. 2018
ISBN 978-3-7315-0775-8

ISSN 1860-5990
ISBN 978-3-7315-0775-8

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

