

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Lehrstuhl für Produktentwicklung

# **Integriertes Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung**

**Maik Plötner**

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

**Doktor-Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Klaus Bengler  
Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann  
2. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart  
3. Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause

Die Dissertation wurde am 11.04.2017 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen  
am 10.10.2017 angenommen.



*„Erfahrungen vererben sich nicht – jeder muss sie allein machen.“*

Kurt Tucholsky



# VORWORT DES HERAUSGEBERS

## **Problemstellung**

Aufgrund eines stetig zunehmenden, unternehmensseitigen Verdrängungswettbewerbs infolge der starken Heterogenität von Marktbedürfnissen, konzentrieren sich Unternehmen heute stärker denn je, auf eine überdurchschnittliche Adressierung der Kundenanforderungen. Produkte, die noch vor dem Kauf von Kunden eigenständig individualisiert werden können – im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird dafür der Begriff „Selbstindividualisierung“ verwendet – bieten dafür eine Chance. Die Realisierung solcher selbstindividualisierbaren Produkte stellt die Produktentwicklung jedoch vor große Herausforderungen. Trotz der Vielzahl existierender Entwicklungsmethoden, fehlt bislang ein durchgängiges Vorgehen von der Identifikation der Individualisierungsbedarfe über die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten bis hin zu deren struktureller Entkopplung. Letzteres ist zwingend notwendig, um den Kunden später umfangreiche Individualisierungsfreiheitsgrade anbieten zu können.

## **Zielsetzung**

Die vorliegende Arbeit soll Produktentwickler bei der selbstindividualisierungsgerechten Anpassung bereits bestehender Produktstrukturen unterstützen. Der Fokus liegt dabei auf einer Kombination aus organisatorischen, methodischen sowie technischen Maßnahmen und Hilfsmitteln. Das entwickelte Vorgehen soll eine situationsspezifische Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten sowie eine effiziente Anpassung der Produktstruktur ermöglichen. Damit sollen schlussendlich die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade maximiert und gleichzeitig schädliche Auswirkungen auf standardisierte Produktkomponenten vermieden werden.

## **Ergebnisse**

Ausgehend von der Zielsetzung, wird in der vorliegenden Arbeit ein integriertes Vorgehen präsentiert, das den Produktentwickler bei der Planung selbstindividualisierungsgerechter Produktstrukturen methodisch unterstützt. Neben einer ausführlichen Analyse der kundenseitigen Individualisierungsbedarfe, liegt der Fokus zunächst auf der Festlegung der Produktkomponenten, die den Kunden später zur Selbstindividualisierung angeboten werden sollen. Das dabei zu betrachtende Spannungsfeld zwischen der Kunden- und Unternehmenssicht wird mit Hilfe technischer und produktstrategischer Merkmale objektiv bewertet. Zur Maximierung der kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade, werden die zur Selbstindividualisierung bestimmten Produktkomponenten strukturell entkoppelt, indem relevante Beziehungen zwischen den betroffenen Produktkomponenten gezielt reduziert werden. Die dafür notwendige Anpassung der Produktstruktur erfolgt anhand sequentiell anzuwendender Prinzipien. Nach erfolgter Prognose konstruktiver Änderungsaufwände, werden die Prozessschritte zur Umsetzung der geplanten Produktstrukturanpassung zunächst spezifiziert und zur Vermeidung ressourcenaufwendiger Iterationen abschließend strukturiert.

### **Folgerungen für die industrielle Praxis**

Die Anwendung des Integrierten Vorgehens im industriellen Umfeld hat gezeigt, dass die Planung selbstindividualisierbarer Produktstrukturen, trotz einer Vielzahl komplexer Einflussfaktoren, zielgerichtet, transparent und mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden kann. Sowohl der sequentielle Aufbau des Vorgehens als auch die generischen Beschreibungen der Handlungsschritte und Methoden ermöglichen eine Anwendung in unterschiedlichsten Industriebereichen. Damit wird eine grundlegende Voraussetzung für eine weitreichende, industrielle Realisierung der Strategie der Selbstindividualisierung geschaffen und Unternehmen der wirtschaftliche Umgang mit stark differenzierten Kundenanforderungen ermöglicht.

### **Folgerungen für Forschung und Wissenschaft**

Die vorliegende Arbeit zeigt auf, dass trotz einer Vielzahl existierender Ansätze und Methoden im Umfeld der massenhaften Produktindividualisierung, bisher kein durchgängiges Vorgehen zur Unterstützung der strukturellen Planung selbstindividualisierbarer Massenprodukte existiert. Diese Lücke wird mit dem präsentierten Integrierten Vorgehen geschlossen. Die Unterstützung erfolgt in Form von detaillierten Handlungsanweisungen, deren Umsetzung mit Hilfe etablierter aber auch neu entwickelter Methoden erfolgt. Insbesondere bei der Festlegung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten wird ein neuer Ansatz aufgezeigt, der eine objektive Bewertung unterschiedlichster technischer und strategischer Produktmerkmale ermöglicht. Darüber hinaus werden bestehende Prinzipien zur Planung von Produktstrukturen in einer neuartigen, konsekutiven Reihenfolge dargestellt, die eine zielgerichtete Umsetzung ermöglicht. Die Anwendbarkeit des Integrierten Vorgehens wurde anhand zweier Fallbeispiele nachgewiesen, womit der Grundstein für weiterführende Untersuchungen im Bereich der Entwicklung selbstindividualisierbarer Produkte gelegt wurde.

München, April 2018

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann  
TUM Emeritus of Excellence  
Technische Universität München

## DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München von Januar 2012 bis einschließlich August 2016.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann für die gewährten Freiräume, das in mich gesetzte Vertrauen und nicht zuletzt die Betreuung und Förderung meiner Arbeit. Die Atmosphäre am Lehrstuhl, die ich stets als sehr angenehm und inspirierend empfunden habe, wurde maßgeblich durch ihn geprägt.

Ich danke Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart für die Erstellung des Zweitgutachtens sowie Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause von der Technischen Universität Hamburg für die Erstellung des Drittgutachtens. Prof. dr.ir. Daniel Rixen danke ich für die Organisation des Promotionsverfahrens und Prof. Dr. phil. Klaus Bengler für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Die inhaltliche Grundlage dieser Arbeit ist zu großen Teilen im Rahmen des BMWi-geförderten Forschungsprojektes InnoCyFer entstanden. Allen beteiligten Kolleginnen und Kollegen sowie Projektpartnern danke ich für die zahlreichen Diskussionen und wertvollen Anregungen, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Bei meinen Kolleginnen und Kollegen vom Lehrstuhl bedanke ich mich insbesondere für die sehr intensiven, ereignisreichen Jahre sowie die inspirierenden Gespräche. Hervorheben möchte ich Dr.-Ing. Andreas Kohn für die gemeinsame Zeit als Bürokollege, das Korrekturlesen dieser Arbeit und die daraus resultierenden Anregungen und Hinweise. Bei Sebastian Maisenbacher bedanke ich mich für den moralischen Beistand während der manchmal sehr zermürbenden Phase des Schreibens sowie das Formen meiner skifahrerischen Fähigkeiten.

Ohne den Ausgleich im privaten Umfeld – da bin ich mir sicher – hätte ich diese Arbeit nie schreiben können. In diesem Zusammenhang danke ich insbesondere Josef Pöllmann, der als treuer Begleiter auf unzähligen, zum Teil recht abenteuerlichen Klettertouren, stets für den notwendigen Ausgleich gesorgt hat. Weiter bedanke ich mich bei Thomas Fuß („Füßchen“) für die vielen gemeinsamen Stunden, die intensiven Gespräche, seinen Beistand in allen Lebenslagen und für das akribische Korrekturlesen dieser Arbeit.

Schließlich danke ich meiner Familie. Allen voran meiner Partnerin Susanne Pienkoß dafür, dass sie mir immer den Rücken freigehalten und mich in schweren Zeiten wiederaufgerichtet hat – im Nachgang bin ich mir nicht mehr sicher, wer von uns beiden während der Anfertigung dieser Arbeit, das schwerere Los hatte. Ich danke meinem Bruder Johannes, für seine unbeschwertten und erfrischend ehrlichen Rückmeldungen und meinen Eltern dafür, dass sie mich zu einem frei denkenden, wissbegierigen und strebsamen Menschen erzogen haben, mich immer bedingungslos unterstützen und an mich glauben – Euch widme ich diese Arbeit.

München, April 2018

Maik Plötner



## VERÖFFENTLICHUNGEN DES AUTORS

Die folgenden Veröffentlichungen<sup>1</sup> sind Teil der hier vorgestellten Forschungsarbeit (chronologisch aufsteigend nach dem Datum der Veröffentlichung sortiert).

Holle, M.; Roth, M.; Guertler, M. R.; Lindemann, U. (2014): From Customer Innovations to Manufactured Products: A Project Outlook. In: International Journal of Social, Management, Economics and Business Engineering 8 (4), S. 1078–1082.

Holle, M.; Du Maire, M. N.; Lindemann, U. (2014): Motivation of External Open Innovation Partners. In: E. Koh (Hg.): Proceedings of the International Conference on Advanced Design Research and Education (ICADRE). Singapore, 16.-18.07.2014, S. 150-155.

Holle, M.; Lindemann, U. (2014): Design for Open Innovation (DfOI) – Product Structure Planning for Open Innovation Toolkits. In: IEEE (Hg.): Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Selangor, Malaysia, 09.-12.12.2014. S. 536-540.

Holle, M.; Maisenbacher, S.; Lindemann, U. (2015): Design for Open Innovation – Individualization-Oriented Product Architecture Planning. In: IEEE (Hg.): Proceedings of the 9th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon). Vancouver, British Columbia, Canada, 13.-16.04.2016. S. 397-402.

Holle, M.; Gonnermann, C.; Lindemann, U. (2015): Customer Individual Product Development – Assessment of Individualization Potential. In: Huizingh E., S. Conn und I. Bitran (Hg.): Proceedings of the 2015 ISPIM Innovation Summit. Brisbane, Australia, 06.-09.12.2015.

Holle, M.; Straub, I.; Roth, M.; Lindemann, U. (2016): Customer Individual Product Development – Methodology for Product Architecture Modification. In: IEEE (Hg.): Proceedings of the 10th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon). Orlando, Florida, USA, 18.-21.04.2016. S. 744-749.

Holle, M.; Elsesser, L.; Schuhmacher, M.; Lindemann, U. (2016): How to Motivate External Open Innovation-Partners: Identifying Suitable Measures. In: D. F. Kocaoglu (Hg.): Proceedings of the Portland International Conference on Management of Technology (PICMET). Honolulu, Hawaii, USA, 04.-08.09.2016, S. 902-913.

---

<sup>1</sup> Anmerkung: 2016 hat sich der Familienname des Autors von „Holle“ in „Plötner“ geändert.



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1 Ausgangssituation	3
1.2 Problemstellung	7
1.3 Zielsetzung und Eingrenzung des Themengebiets	10
1.4 Forschungsmethodik	15
1.5 Erfahrungsgrundlage des Autors	17
1.6 Aufbau der Arbeit	18
<b>2. Massenhafte Produktindividualisierung</b>	<b>20</b>
2.1 Ursachen der massenhaften Produktindividualisierung	20
2.2 Wegbereiter der massenhaften Produktindividualisierung	21
2.3 Strategien zur Umsetzung der massenhaften Produktindividualisierung	22
2.3.1 Kundenindividuelle Massenproduktion („Mass Customization“)	23
2.3.2 Selbstindividualisierung	24
<b>3. Stand der Forschung und Technik</b>	<b>27</b>
3.1 Methodische Produktentwicklung	27
3.1.1 Phasenorientierte Vorgehensmodelle	27
3.1.2 „Design for X“-Richtlinien	30
3.1.3 Methoden zur Übersetzung von Kundenanforderungen	31
3.2 Entwicklung von Produktarchitekturen	34
3.2.1 Definition und Klassifizierung von Produktarchitekturen	34
3.2.2 Methoden zur Entwicklung modularer Produktarchitekturen	39
3.2.3 Prinzipien zur Entwicklung flexibler Produktarchitekturen	48
3.3 Management von Produktänderungen	53
3.3.1 Change Prediction Method nach CLARKSON ET AL. (2001)	54
3.3.2 Komponentenklassifizierungen nach ECKERT ET AL. (2004)	56
3.4 Management von Entwicklungsprozessen	58
3.4.1 Methoden zur Gestaltung von Entwicklungsprozessen	62

---

3.4.2	Stage-Gate®-Ansatz nach COOPER (2001)	69
3.5	Management von Produkt- und Prozesskomplexität	70
3.5.1	Definition von Komplexität	70
3.5.2	Matrixbasierte Ansätze zur Komplexitätsbewältigung	71
3.6	Schlussfolgerung und Ableitung von Handlungsbedarfen	76
<b>4.</b>	<b>Lösungsansatz</b>	<b>78</b>
4.1	Anforderungen an den Lösungsansatz	78
4.2	Integriertes Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung	80
4.3	Handlungsphase 1 – Situationsanalyse	83
4.3.1	Reflexion der unternehmensspezifischen Individualisierungsziele	84
4.3.2	Analyse der Produktstruktur des vorausgewählten Produktes	86
4.4	Handlungsphase 2 – Kundenanalyse	87
4.4.1	Erhebung und Priorisierung der Individualisierungsbedarfe	88
4.4.2	Ableitung betroffener Produktkomponenten	94
4.5	Handlungsphase 3 – Spannungsfeldanalyse	96
4.5.1	Ermittlung der Individualisierungspotentiale	97
4.5.2	Festlegung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten	107
4.6	Handlungsphase 4 – Produktstrukturanpassung	109
4.6.1	Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten	110
4.6.2	Prognose konstruktiver Änderungsaufwände	118
4.7	Handlungsphase 5 – Umsetzungsplanung	124
4.7.1	Ableitung erforderlicher Prozessschritte	125
4.7.2	Planung des konstruktiven Änderungsprozesses	130
<b>5.</b>	<b>Anwendung des Lösungsansatzes</b>	<b>134</b>
5.1	Rahmenbedingungen und Ziele der Anwendung	134
5.2	Ergebnisse des Fallbeispiels „Kaffeevollautomat“	136
5.2.1	Handlungsphase 1 – Situationsanalyse	137
5.2.2	Handlungsphase 2 – Kundenanalyse	138
5.2.3	Handlungsphase 3 – Spannungsfeldanalyse	141
5.2.4	Handlungsphase 4 – Produktstrukturanpassung	147

---

5.2.5	Fazit und Schlussfolgerungen	151
5.3	Ergebnisse des Fallbeispiels „Wasserspender“	152
5.3.1	Handlungsphase 4 – Produktstrukturanpassung	154
5.3.2	Handlungsphase 5 – Umsetzungsplanung	157
5.3.3	Fazit und Schlussfolgerungen	161
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>162</b>
6.1	Zusammenfassung	162
6.2	Ausblick	164
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>167</b>
<b>8.</b>	<b>Anhang</b>	<b>189</b>
8.1	Lösungsansatz	189
8.1.1	Softwarebasierte Lösungen zur Modellierung und Analyse von Produktstrukturen	189
8.1.2	Ergebnis der Bewertung existierender Flexibilitätsprinzipien	202
8.1.3	Checkliste relevanter Entwicklungsprozessschritte	204
8.2	Fallbeispiel „Kaffeevollautomat“	208
8.2.1	Ergebnisse der Handlungsphase 2 (Kundenanalyse)	208
8.2.2	Ergebnisse der Handlungsphase 4 (Produktstrukturanpassung)	211
8.3	Fallbeispiel „Wasserspender“	216
8.3.1	Ergebnisse der Handlungsphase 4 (Produktstrukturanpassung)	216
8.3.2	Ergebnisse der Handlungsphase 5 (Umsetzungsplanung)	218
<b>9.</b>	<b>Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung</b>	<b>234</b>



## SYMBOLVERZEICHNIS

A	Aufwand zur Umsetzung einer Komponentenänderung
$A_{K_i}$	Abgeschätzte Dauer einer konstruktiven Änderung von Komponente „i“
$a_{K_i}$	Optimistische Dauer einer konstruktiven Änderung von Komponente „i“
AS	Aktivsumme
$AS_{K_i}$	Aktivsumme für Komponente „i“
$b_{K_i}$	Pessimistische Dauer einer konstruktiven Änderung von Komponente „i“
$BG_j$	Baugruppe „j“
$F_j$	Funktion „j“
GEW	Gewichtung
$GEW_{F_j}$	Gewichtung von Funktion „j“
$GEW_{MD_j}$	Gewichtung von Modultreiber „j“
$GZ_{K_i(F_j)}$	Gewichtete Zuordnung von Komponenten „i“ zu Funktion „j“
$GZ_{K_i(MD_j)}$	Gewichtete Zuordnung von Komponenten „i“ zu Modultreiber „j“
ID	Identifikator
IE	Selbstindividualisierbare Produktkomponente mit emergierender Änderung
II	Selbstindividualisierbare Produktkomponente mit initiiertes Änderung
IP	Individualisierungspotential
$IP_{K_i}$	Individualisierungspotential für Komponente „i“
$K_i$	Komponente „i“
$Kr_{K_i}$	Kritikalität für Komponente „i“
$KW_{K_i}$	Kombinierte Change Propagation-Wahrscheinlichkeit für Komponente „i“
$m_{K_i}$	Realistische Dauer einer konstruktiven Änderung von Komponente „i“
$M_j$	Modul „j“
$MD_j$	Modultreiber „j“
PS	Passivsumme
$PS_{K_i}$	Passivsumme für Komponente „i“
$RA_{Gesamt}$	Gesamtwert für resultierenden konstruktiven Änderungsaufwand
$RA_{K_i}$	Resultierender konstruktiver Änderungsaufwand für Komponente „i“

SE	Standardisierte Produktkomponente mit emergierender Änderung
SI	Standardisierte Produktkomponente mit initiiertes Änderung
$TV_{K_i}$	Gesamtwert („Total Value“) für Komponente „i“
$TV_{K_{\max}}$	Maximaler Gesamtwert („Total Value“) der betrachteten Komponenten
$TV_{K_{\min}}$	Minimaler Gesamtwert („Total Value“) der betrachteten Komponenten
U	Elektrische Spannung
$W_{K_i}$	Change Propagation-Wahrscheinlichkeit für Komponente „i“

# 1. Einleitung

*Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Unterstützung einer systematischen Strukturplanung selbstindividualisierbarer Massenprodukte. Derartige Produkte zeichnen sich dadurch aus, dass Kunden<sup>2</sup> ausgewählte Produktkomponenten gemäß eigener Vorstellungen selbstständig gestalten können. Dieses Kapitel beschreibt zunächst die Ausgangssituation, welche maßgeblich durch die stark wachsende Bedeutung höherer Individualisierungsgrade bei Massenprodukten gekennzeichnet ist. Anschließend werden die im Rahmen der vorliegenden Arbeit betrachteten Probleme bei der Entwicklung selbstindividualisierbarer Massenprodukte dargestellt und Ziele für deren Lösung formuliert. Nach der Beschreibung der angewandten Forschungsmethodik und der Erfahrungsgrundlage des Autors wird zum Abschluss dieses Kapitels der Aufbau der Arbeit beschrieben.*

## 1.1 Ausgangssituation

*“Indeed, acknowledging that individual customers constitute multiple markets gives new meaning to the term market that approximates its original conception: the bringing together of a customer and a provider to fulfill that customer's unique needs as they exist at the present time and under the current circumstances. Only those companies that take their approach to customization down to this level will gain access to the multiple markets within each of us.”* (GILMORE & PINE 1997, S. 93). Diese Aussage aus dem Jahr 1997 ist heute aktueller denn je. Eine steigende Produktivität und zunehmende Sättigung der Märkte hat in vielen Branchen zu einem Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt geführt (REICHWALD & PILLER 2009, S. 8; PICOT ET AL. 2003, S. 4). Käufermärkte sind durch eine große Angebotsvielfalt bei gleichzeitig stagnierenden Märkten und einer gestärkten, abnehmerseitigen Verhandlungsposition gekennzeichnet (MEFFERT ET AL. 2015, S. 6; THIEBES & PLANKERT 2014, S. 170). Das hat zur Folge, dass Käufer immer höhere Ansprüche an die Individualität, Qualität und Funktionalität eines Produktes oder einer Leistung stellen (PILLER 2002, S. 931). Diese wachsende Heterogenität der Kundenbedürfnisse führt zu immer kleiner werdenden Marktsegmenten (Mikrosegmentierung) und ist wesentliche Ursache für den Zerfall des Massenmarktes (GILMORE & PINE 1997). Gab es vor 25 Jahren in der Regel noch ein sehr überschaubares Produktangebot und weitestgehend homogene Marktbedürfnisse, ist die Mikrosegmentierung der Märkte, mittlerweile stark vorangeschritten (SCHUH 2013, S. 93). Abbildung 1-1 verdeutlicht diesen Effekt am Beispiel des Fahrzeugmarktes. Im Verlauf der letzten 25 Jahre sind die Kundengruppen mit gleichen Anforderungen an Fahrspaß, Prestige, Nutzen und Preis eines Automobils kontinuierlich kleiner geworden (SCHUH 2013, S. 93).

Diese Heterogenität der Nachfrage hat unternehmensseitig zu einem ausgeprägten Verdrängungswettbewerb geführt (PILLER 2006, S. 52). Unternehmen stehen heute stärker denn je vor der Herausforderung sich durch kundenindividuelle Produkte gegenüber dem Wettbewerb zu differenzieren und gleichzeitig die entstehenden Kosten zu reduzieren, um dem zunehmenden

---

<sup>2</sup> Der Kunde wird im Rahmen dieser Arbeit als Endverbraucher bzw. Nutzer eines Produktes verstanden.

Preisdruck gerecht zu werden (THIEBES & PLANKERT 2014, S. 166; PILLER 2002, S. 931). Kunden streben in der Regel nach Produkten, die ihre individuellen Ansprüche erfüllen, sind aber häufig nicht bereit mehr dafür zu bezahlen (SCHUH 2013, S. 92).

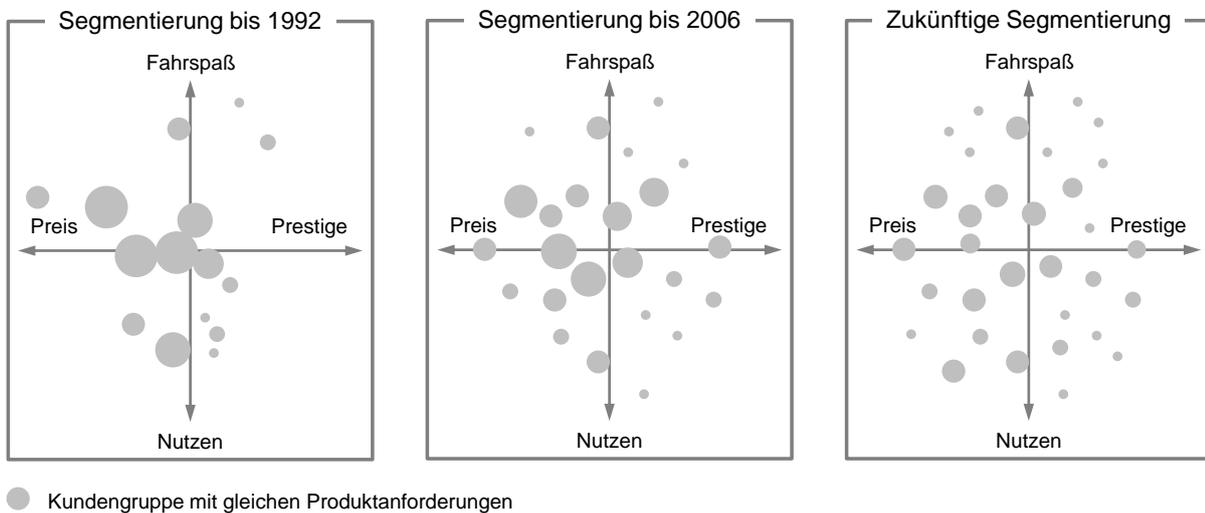


Abbildung 1-1: Zunehmende Mikrosegmentierung des Fahrzeugmarktes ab 1992 (nach SCHUH 2013, S. 93)

Um erfolgreich am Markt bestehen zu können, konzentriert sich das Handeln vieler Unternehmen in zunehmendem Maße auf die Nutzung von Absatzchancen (PILLER 2002, S. 931). Eine steigende Differenzierung des Leistungsangebotes und somit eine überdurchschnittliche Berücksichtigung des Kundennutzens ist daher heute eine Kernstrategie vieler Unternehmen (LINDEMANN ET AL. 2006, S. 1).

Dies schlägt sich, wie beispielsweise in der Automobilindustrie zwischen den Jahren 1970 und 2000, in einer rapide wachsenden Vielfalt an Produktvarianten nieder (GRÄBLER 2004, S. 23 f.). In der Literatur wird dafür der Begriff **Variantenproduktion** oder Variantenfertigung verwendet (PILLER 2006, S. 127; GRÄBLER 2004, S. 9). Kundengruppen mit gleichen Produktanforderungen werden kontinuierlich kleiner und damit die Anzahl an Produktvarianten größer (SCHUH 2013, S. 93). Aus dieser zunehmenden Differenzierung des Leistungsangebotes resultieren ein korrespondierender Anstieg der Komplexität in der Entwicklung, Produktion und dem Vertrieb und damit weitreichende Konsequenzen für die gesamte Wertschöpfungskette (PILLER 2006, S. 130 ff.). Die Beherrschung des Komplexitätsanstieges stellt für Unternehmen heute ein massives Problem sowie einen wichtigen Kosten- und damit auch Erfolgsfaktor dar (LINDEMANN ET AL. 2006, S. 8; SCHUH 2005, S. 44 ff.).

Darüber hinaus besteht bei der Variantenproduktion das Problem einer unsicheren Absatzprognose. Auf Basis von Marktstudien werden potentielle Marktnischen meist kundenanonym identifiziert (GRÄBLER 2004, S. 16). Anschließend wird für jede Marktnische mit entsprechendem Marktvolumen eine Produktvariante angeboten (GRÄBLER 2004, S. 16). Unternehmen erbringen auf diese Weise eine erhebliche Vorleistung bei der Entwicklung des Variantenspektrums, ohne den tatsächlichen Bedarf der einzelnen Varianten genau zu kennen (GRÄBLER 2004, S. 16). Der Kunde wird erst beim Kauf in Form der Variantenauswahl in die Leistungserstellung einbezogen. Wie in Abbildung 1-2 dargestellt, treffen die Produkte der Variantenproduktion die

Kundenwünsche daher in der Regel nur ungefähr (GRÄBLER 2004, S. 16). Die Strategie der Variantenproduktion stößt demzufolge, gerade in Zeiten zunehmender Mikrosegmentierung der Märkte, zunehmend an die Grenzen der wirtschaftlichen Tragfähigkeit (PILLER 2006, S. 136; LINDEMANN ET AL. 2003, S. 15).

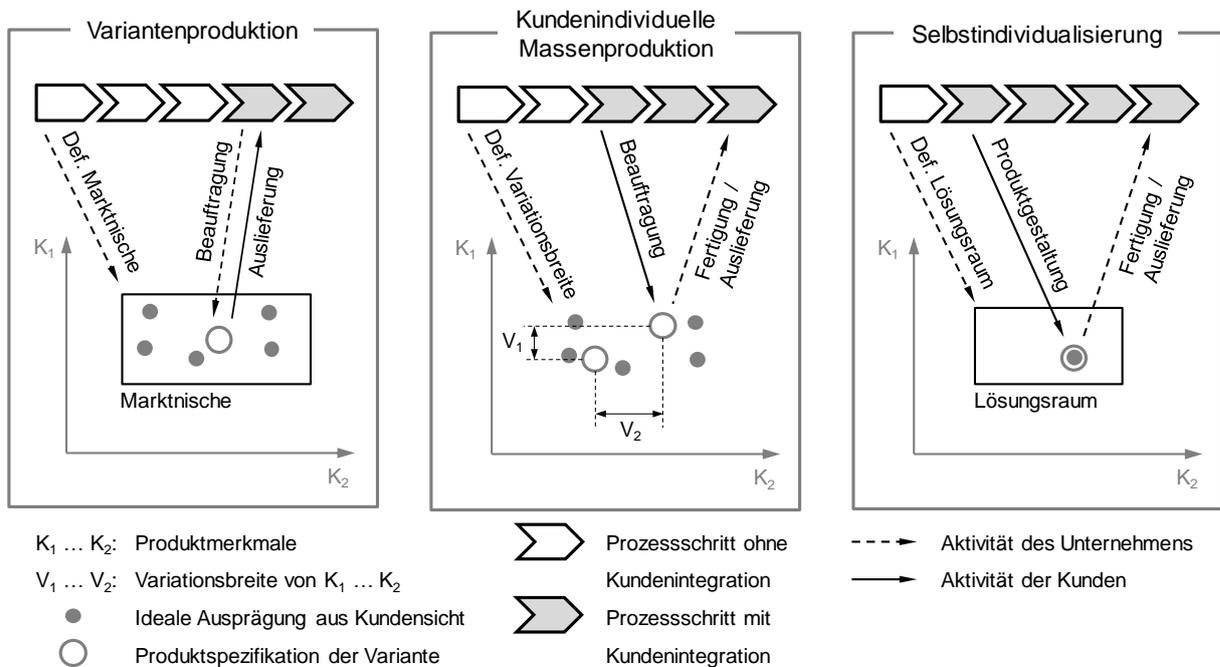


Abbildung 1-2: Abgrenzung der drei grundlegenden Strategien zur massenhaften Produktindividualisierung (in Anlehnung an GRÄBLER 2004, S. 17)

Vor diesem Hintergrund hat die Strategie der **kundenindividuellen Massenproduktion** (engl. „Mass Customization“) in den 1990er Jahren kontinuierlich an Bedeutung gewonnen (LINDEMANN ET AL. 2006, S. 9; GILMORE & PINE 1997). Die kundenindividuelle Massenproduktion beschreibt die Kombination aus massenhafter und individueller Fertigung und wird vielfach als evolutionärer Nachfolger der Variantenproduktion verstanden (PILLER 2006, S. 153 f.; LINDEMANN ET AL. 2003, S. 15; WESTBROOK & WILLIAMSON 1993; DAVIS 1987, S. 169). Ziel ist es, ein kundenindividuelles Produkt (Differenzierung) zum Preis eines Standardproduktes (Kostenführerschaft) anzubieten (BEYERING 1987, S. 168). Auf technologischer Ebene bedeutet das die Realisierung einer großen, für den Kunden erlebbaren Varianz bei gleichzeitig geringer unternehmensinterner Varianz (GRÄBLER 2004, S. 18).

Dafür wird eine endliche Variantenzahl ausgewählter Komponenten eines Produktes a priori und auftragsunabhängig vom Unternehmen entwickelt und in einem Konfigurationsraum mittels einer entsprechenden Konfigurationslogik<sup>3</sup> abgebildet (SCHUH 2005, S. 105). Die Produktvarianz und damit die kundenseitige Konfigurationsvielfalt ergibt sich aus der Festlegung von Variationsbreiten bestimmter Produktmerkmale (siehe Abbildung 1-2) zwischen denen der

<sup>3</sup> Eine Konfigurationslogik ist die unternehmensseitige Generierung von Produktvarianten auf Basis der Kombination von Komponentenvarianten zur Befriedigung von Kundenanforderungen (SCHUH 2005, S. 110 ff.).

Kunde schlussendlich wählen kann. Übertragen auf die kundenindividuelle Massenproduktion in der Automobilindustrie wären das beispielsweise die Motorleistung oder Anzahl der Türen. Die kundenindividuelle Massenproduktion zielt demnach nicht auf kundenindividuelle Produkte der Losgröße „1“ ab, sondern auf eine vom Unternehmen vorgedachte Konfiguration angebotener Produkte (SCHUH 2005, S. 105 ff.; GRÄBLER 2004, S. 14).

Für die Individualisierung tritt der Kunde mit dem Unternehmen in Interaktion, spezifiziert das Produkt gemäß eigener Bedürfnisse innerhalb des Konfigurationsraumes und beauftragt anschließend das Unternehmen. Moderne Informations- und Kommunikationstechnologien sind ein entscheidender Wegbereiter für die Umsetzung einer massenhaften Interaktion zwischen Unternehmen und Kunden. Neben virtuellen Interaktionsplattformen für die kundenseitige Produktkonfiguration, sind beispielsweise durchgängige Workflowmanagement-Systeme<sup>4</sup> zur automatischen Abwicklung von Kundenaufträgen von großer Bedeutung. Nach Eingang des Kundenauftrags erfolgt die kundenindividuelle Materialbeschaffung, Fertigung und Montage des Produktes. Im Vergleich zur Variantenproduktion wird der Kunde bei der kundenindividuellen Massenproduktion intensiv in die Leistungserstellung eingebunden und daher dessen Bedürfnisse exakter erfüllt (GRÄBLER 2004, S. 16 f.). Laut HERMANN & FLORY (1995) ist die kundenindividuelle Massenproduktion jedoch nur in schwierig zu prognostizierenden, stark segmentierten Massenmärkten erfolgsversprechend (vgl. Abschnitt 2.1).

Die kundenindividuelle Massenproduktion ist mittlerweile weit verbreitet und aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Neben Kleidung, Spielzeug oder Einrichtungsgegenständen, lassen sich auch in Branchen wie der Automobil- oder Konsumgüterindustrie Beispiele für eine erfolgreiche Umsetzung der Kundenindividuellen Massenproduktion finden. Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass sich der Individualisierungsgrad zwischen den Branchen zum Teil erheblich unterscheidet. Insbesondere in Bereichen komplexer Massenprodukte (z. B. Automobile oder Kaffeevollautomaten) sind Unternehmen weit davon entfernt individuelle Kundenbedürfnisse vollständig und zu bezahlbaren Preisen befriedigen zu können (GRÄBLER 2004, S. 14). Vor dem Hintergrund einer weiter voranschreitenden Veränderung von Absatzmärkten und Gesellschaft, wird die vollständige Erfüllung von Kundenbedürfnissen ein immer entscheidenderer Wettbewerbsvorteil. In Zeiten von Überangeboten werden Kunden zunehmend orientierungsloser und deren Wunsch nach mehr Selbstbestimmung immer stärker (PINE 1999). So bietet beispielsweise der Sportartikelhersteller Nike<sup>5</sup> seinen Kunden bereits heute die Möglichkeit Sportschuhe gegen einen geringen Aufpreis nahezu vollständig auf ihre individuellen Bedürfnisse anpassen zu können. Durch ein internetbasiertes Software-Tool haben Kunden die Möglichkeit das Schuhdesign zu individualisieren und damit aktiv in die Leistungserstellung einzugreifen (NIKE 2016). Die Variationsbreite der veränderbaren Produktmerkmale ist in diesem Fall ein Kontinuum mit einer nahezu unendlichen Vielfalt kundenseitiger Variationsmöglichkeiten (siehe Abbildung 1-2). Im Gegensatz zur Kundenindividuellen Massenproduktion können sich Kunden „frei“ durch einen begrenzten Konfigurationsraum bewegen und sind nicht mehr an die vom Unternehmen vordefinierte Variationsvielfalt gebunden.

---

<sup>4</sup> Workflowmanagement-Systeme dienen der automatischen Vorgangsbearbeitung mit Hilfe vordefinierter Regeln (ALLWEYER 2007, S. 33).

<sup>5</sup> Nike Inc. ist ein US-amerikanischer Sportartikelanbieter mit Firmensitz in Beaverton, Oregon, USA.

Für diese Form der Produktindividualisierung wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit – in Anlehnung an PILLER (2006, S. 221) und MAYER (1993, S. 263) – der Begriff „**Selbstindividualisierung**“ verwendet (vgl. Abschnitt 2.3.2). Laut einer Umfrage im Bereich des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus wollen zukünftig über 77% der befragten Unternehmen ihr Produktportfolio in Richtung kundenspezifischer Systemlösungen stark oder sehr stark anpassen (GERNANDT ET AL. 2014, S. 41). Das Beispiel unterstreicht den großen Bedarf nach komplexen<sup>6</sup> Produkten, die selbstindividualisierbar und nicht wie bisher, im Rahmen der kundenindividuellen Massenproduktion, „lediglich“ konfigurierbar sind.

## 1.2 Problemstellung

Die Bereitstellung kontinuierlicher Variationsbereiche für selbstindividualisierbare, komplexe Massenprodukte ruft eine Vielzahl von Problemstellungen in den unterschiedlichsten Unternehmensbereichen (z. B. Fertigung, Montage, Marketing, Vertrieb) hervor. Aufgrund der thematischen Ausrichtung der vorliegenden Arbeit, wird der Blickwinkel jedoch auf den Bereich der Produktentwicklung beschränkt. Die Entwicklung selbstindividualisierbarer Produkte ist der zentrale Gegenstand. Damit ergeben sich folgende Problemstellungen, die im weiteren Verlauf dieses Abschnittes hergeleitet und beschrieben werden:

- 1) die strukturierte Identifikation und Verarbeitung des kundenseitigen Individualisierungsbedarfes
- 2) die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten (ausgehend von einem bereits kommerzialisierten Produkt)
- 3) die selbstindividualisierungsgerechte Anpassung einer bestehenden Produktstruktur
- 4) die Spezifikation des Toolkit-Lösungsraumes durch die Festlegung kundenseitig veränderbarer Produktgestaltungsmerkmale

Selbstindividualisierungen setzen nach Ansicht des Autors, kundenseitig bestimmte Produktkenntnisse voraus, die nur durch eine vorherige Produktnutzung generiert werden können (vgl. Abschnitt 2.3.2). Daher wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit davon ausgegangen, dass Selbstindividualisierungen nur für bereits kommerzialisierte Produkte realisierbar sind. Die Entwicklung selbstindividualisierbarer Produkte ist demnach ausschließlich Bestandteil von Weiterentwicklungen<sup>7</sup>, da bei Neuentwicklungen kundenseitig keine oder nur unzureichende Produktkenntnisse vorhanden sind.

### Identifikation und Verarbeitung von Individualisierungsbedarfen

„Interaktive Wertschöpfung“, so beschreiben REICHWALD & PILLER (2009, S. 45 ff.) Strategien bei denen die Kunden eine aktive Rolle im Wertschöpfungsprozess ausfüllen. Kunden sind nicht mehr länger nur Konsumenten oder Produktnutzer, sondern werden aktiv in die Leistungserstellung integriert. Bei der Strategie der Selbstindividualisierung erfolgt die

---

<sup>6</sup> „Komplexität in der Produktentwicklung resultiert im Wesentlichen aus der Vielfalt der in den Produkten verbauten Elemente, ihren unterschiedlichen Funktionen und den zahlreichen Wechselwirkungen dieser Elemente.“ (THIEBES & PLANKERT 2014, S. 169)

<sup>7</sup> PAHL & BEITZ (1977, S. 4) unterscheiden grundlegend zwischen der Entwicklung eines neuen und der Weiterentwicklung eines bereits bestehenden Produktes.

Kundenintegration in Form einer eigenständigen Gestaltung von Produktkomponenten zur Befriedigung individueller Bedürfnisse (vgl. Abschnitt 2.3.2). Damit ist die frühzeitige und strukturierte Identifikation und Verarbeitung des kundenseitigen Individualisierungsbedarfs zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor geworden (WILDEMANN 2004, S. 384). Selbstindividualisierbare Produkte können nur dann kommerziell erfolgreich sein, wenn die Kunden ihre Individualisierungsbedürfnisse durch die Produkte befriedigen können. Der identifizierte Individualisierungsbedarf repräsentiert sowohl den Ausgangspunkt für die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten als auch für die spätere Definition von Produktgestaltungsmerkmalen, welche schlussendlich den Toolkit-Lösungsraum aufspannen.

Die zentrale Problemstellung bildet dabei die Identifikation heterogener und individueller Bedarfe, dessen sich ein Großteil der Kunden mitunter nur vage bewusst ist und folglich im Regelfall nicht artikulieren kann (WILDEMANN 2004, S. 384). Der Transfer dieser Bedarfe von den Kunden zum Unternehmen erfordert ressourcen- und damit kostenaufwendige Verfahren (PICOT ET AL. 1997, S. 167). In Anlehnung an das Konzept der „wissensökonomischen Reife“ nach DIETL (1993) oder auch der „Sticky Information“ nach HIPPEL (1994, S. 430), können diese aufwendigen Transferverfahren durch eine geeignete Kundenintegration vermieden werden (vgl. REICHWALD & PILLER 2009, S. 64 ff.). Dazu wird der Wissenstransfer unternehmensseitig so organisiert, dass Kunden ihre individuellen Bedarfe eigenständig ermitteln und damit eine aktive Rolle im Wertschöpfungsprozess übernehmen (REICHWALD & PILLER 2009, S. 56 ff.). Der Produktentwickler steht vor der Problemstellung, die Individualisierungsbedarfe durch eine geeignete Kundenintegration zu erheben und anschließend die davon betroffenen Produktkomponenten abzuleiten.

### **Festlegung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten**

Für die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten sind neben den kundenseitigen Individualisierungsbedarfen, die relevanten technischen und strategischen Produktmerkmale (vgl. Abschnitt 3.2) der betroffenen Produktkomponenten zu berücksichtigen. Daraus lassen sich zwei übergeordnete Perspektiven für die Festlegung der Produktkomponenten ableiten. Zum einen die Kundenperspektive, die auf Basis der identifizierten Individualisierungsbedarfe beschreibt, welche Produktkomponenten aus Kundensicht für die Selbstindividualisierung zur Verfügung stehen sollen. Und zum anderen die Produktentwicklungsperspektive, die auf Basis technischer und strategischer Merkmale beschreibt, welche der – von den kundenseitigen Individualisierungsbedarfen – betroffenen Produktkomponenten für die Selbstindividualisierung geeignet sind. Damit wird der Aufforderung von PILLER (2006, S. 228) Rechnung getragen, dass für die Festlegung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten neben dem Kundenwert gleichermaßen die unternehmensinternen Auswirkungen zu berücksichtigen sind.

Bei der Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten muss der Produktentwickler sicherstellen, dass die physische Zusammensetzung und damit die Funktionserfüllung des bestehenden Produktes, aufgrund der kundenseitigen Selbstindividualisierungen, nicht negativ beeinflusst werden. Zudem muss insbesondere vor dem Hintergrund angewendeter

Gleichteil- und Modulstrategien<sup>8</sup> sichergestellt werden, dass die Vorteile, wie Reduzierung der Komplexität in der Produktentwicklung oder auch Skaleneffekte in der Fertigung, durch die Selbstindividualisierung nicht kannibalisiert werden.

### **Selbstindividualisierungsgerechte Produktstrukturanpassung**

Die später im Rahmen der Definition des Toolkit-Lösungsraumes umsetzbaren Freiheitsgrade für die kundenseitigen Selbstindividualisierungen werden durch die Produktstrukturierung maßgeblich festgelegt. Eine aktuelle Studie zur Erfassung der relevanten Aspekte bei der Entwicklung selbstindividualisierbarer Produkte (ROTH ET AL. 2016) hat ergeben, dass 58% der befragten Experten aus dem Bereich der Produktentwicklung eine geeignete Produktstrukturierung als wesentlichen Erfolgsfaktor einstufen. Eine selbstindividualisierungsgerechte Anpassung einer bestehenden Produktstruktur ist demnach Grundvoraussetzung für die Realisierung umfangreicher Selbstindividualisierungen. Dabei gilt, je zahlreicher die Schnittstellen und je größer die strategische Bedeutung, desto geringer ist der Individualisierungsfreiheitsgrad der jeweiligen Produktkomponente (vgl. JOSE & TOLLENAERE 2005; MUFFATTO & ROVEDA 2002). Der Freiheitsgrad ist demzufolge Ausdruck dafür, inwieweit Selbstindividualisierungen umgesetzt werden können ohne, dass daraus eine negative Beeinträchtigung relevanter Produktfunktionen und/oder strategischer Produktmerkmale resultiert. Zur Erhöhung des Individualisierungsfreiheitsgrads entsprechender Produktkomponenten ist es demnach erforderlich die Schnittstellen dieser Komponenten zu reduzieren und die Komponenten damit strukturell zu entkoppeln. Der Produktentwickler steht somit vor der Problemstellung die relevanten Dimensionen der Produktstrukturierung um die Perspektive der Selbstindividualisierung zu erweitern und einen, aus unternehmerischer Sicht vertretbaren, Kompromiss für die Anpassung der Produktstruktur zu finden.

### **Spezifikation des Toolkit-Lösungsraumes**

Im Anschluss an die Umsetzung der angepassten Produktstruktur erfolgt die Spezifikation des Toolkit-Lösungsraums durch die Festlegung kundenseitig veränderbarer Produktmerkmale. Die Geometrie, Abmessungen oder auch das Material selbstindividualisierbarer Produktkomponenten sind Beispiele möglicher Produktmerkmale. Durch die Festlegung der Produktmerkmale, deren Ausprägungen sowie entsprechender Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen, wird der kundenseitige Lösungsraum des Toolkits aufgespannt und in erforderlichem Maße beschränkt. Die bereits angeführte Studie zur Erfassung der relevanten Aspekte bei der Entwicklung selbstindividualisierbarer Produkte (ROTH ET AL. 2016) hat ergeben, dass 72% der befragten Experten aus dem Bereich der Produktentwicklung die Beschränkung des Lösungsraumes der Selbstindividualisierungen als dringend notwendig ansehen. Dabei muss der Produktentwickler sicherstellen, dass sämtliche Selbstindividualisierungen der Kunden funktional, nutzungssicher sowie unternehmensseitig fertig- und montierbar sind. Dies erfordert eine enge Abstimmung mit anderen Unternehmensbereichen, wie beispielsweise der Fertigung und Montage oder auch dem Marketing und Vertrieb.

---

<sup>8</sup> Nach GEBHARDT ET AL. (2016, S. 122 f.) handelt es sich bei einem Modul um eine, aus Produktkomponenten gebildete, eigenständige, funktionale Einheit (vgl. Abschnitt 3.2).

Im weiteren Verlauf werden von den oben beschriebenen Problemstellungen die ersten drei fokussiert. Die Spezifikation des Toolkit-Lösungsraumes wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet und ist Gegenstand des Ausblicks in Abschnitt 6.2. Damit ist die zentrale Problemstellung der vorliegenden Arbeit durch die folgenden drei Teilprobleme charakterisiert:

- 1) Die **strukturierte Identifikation und Verarbeitung kundenseitiger Individualisierungsbedarfe** bildet die initiale Problemstellung bei der Entwicklung selbstindividualisierbarer Massenprodukte. Durch eine geeignete Kundeneinbindung sollen die Individualisierungsbedarfe identifiziert und im weiteren Verlauf die davon betroffenen Produktkomponenten abgeleitet werden.
- 2) Für die **Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten** sind sowohl die kundenseitigen Individualisierungsbedarfe als auch die relevanten technischen und strategischen Produktmerkmale zu berücksichtigen. Vor dem Hintergrund der vollständigen Funktionserfüllung sowie möglicher Gleichteil- und Modulstrategien handelt es sich dabei um ein mehrdimensionales Optimierungsproblem.
- 3) Die Realisierung umfangreicher, kundenseitiger Individualisierungsfreiheitsgrade ohne negative Beeinträchtigung relevanter Produktfunktionen und/oder strategischer Produktmerkmale erfordert die Anpassung der Produktstruktur in Form einer **selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturierung**. Dazu sind die für das bestehende Produkt bereits berücksichtigten Anforderungen der Produktstrukturierung um die Perspektive der Selbstindividualisierung zu erweitern.

Zur Bewältigung der geschilderten, zentralen Problemstellung bedarf es einer zweckmäßigen, durchgängigen Unterstützung des Produktentwicklers mittels aufwandsarmer, zielgerichteter Methoden<sup>9</sup>. Die gesamthafte Betrachtung der Teilprobleme sowie eine entsprechende Bereitstellung eines integrierten Vorgehens sind für die effektive und effiziente Entwicklung selbstindividualisierbarer Massenprodukte unerlässlich. Die Bezeichnung „integriertes Vorgehen“ orientiert sich am Ansatz der „Integrierten Produktentwicklung“. EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 194) verstehen darunter die zielorientierte Kombination organisatorischer, methodischer und technischer Maßnahmen und Hilfsmittel, die von ganzheitlich denkenden Produktentwicklern genutzt werden.

Die Analyse des Standes der Technik und Forschung (vgl. Kapitel 2 und 3) macht deutlich, dass insbesondere der große Bedarf nach einem durchgängigen, integrierten Vorgehen gegenwärtig nicht befriedigt werden kann. Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass zwar eine Vielzahl zielgerichteter Methoden/Ansätze in verwandten Themenbereichen existieren, diese jedoch im Sinne der betrachteten Problemstellung entsprechend adaptiert und in ein durchgängiges Vorgehen eingebettet werden müssen.

### 1.3 Zielsetzung und Eingrenzung des Themengebiets

Ausgehend von der charakterisierten Problemstellung ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, die zweckmäßige, methodische Unterstützung bei der selbstindividualisierungsgerechten

---

<sup>9</sup> Eine Methode ist nach LINDEMANN (2009, S. 333) ein planmäßiges, regelbasiertes Vorgehen nach dessen Vorgabe bestimmte Tätigkeiten auszuführen sind, um ein gewisses Ziel zu erreichen.

Anpassung bestehender Produktstrukturen. Dazu wird ein integriertes Vorgehen entwickelt, das dem Produktentwickler notwendige Vorgehensschritte aufzeigt. Zur aufwandsarmen und zielgerichteten Bearbeitung dieser Vorgehensschritte werden zudem geeignete Methoden zur Verfügung gestellt. Dazu werden etablierte Methoden und Ansätze aus dem Stand der Forschung und Technik hinsichtlich der Zielsetzung dieser Arbeit bewertet, ausgewählt und auf den Kontext der Selbstindividualisierung angepasst. Schlussendlich werden die adaptierten Methoden in das Integrierte Vorgehen eingeordnet.

Wie in Abbildung 1-3 dargestellt, ist die Entwicklungsphase der Produktstrukturplanung die zentrale Handlungsebene und damit Fokus dieser Arbeit. Die Festlegung und Bereitstellung notwendiger Eingangsinformationen ist kein Bestandteil der Produktstrukturplanung und wird demzufolge im Rahmen dieser Zielsetzung nicht adressiert. Zu den notwendigen Eingangsinformationen zählen:

- die Identifikation geeigneter Zielkunden zur Erhebung der kundenseitigen Individualisierungsbedarfe
- die Festlegung des Ausgangsproduktes, das zu einem selbstindividualisierbaren Produkt weiterentwickelt werden soll
- die Bereitstellung von Produktdaten zur Modellierung der Produktstruktur des festgelegten Ausgangsproduktes (inklusive technischer und strategischer Produktmerkmale)

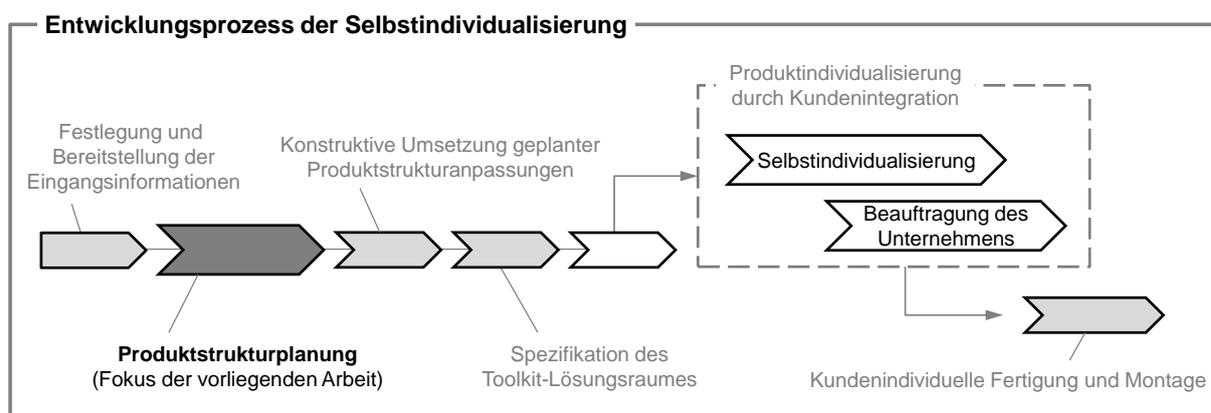


Abbildung 1-3: Entwicklungsprozess zur Realisierung von Selbstindividualisierungen durch Kundenintegration

Die Entwicklungsphasen der konstruktiven Umsetzung geplanter Produktstrukturanpassungen sowie der Spezifikation des Toolkit-Lösungsraumes und der kundenindividuellen Fertigung und Montage sind der Produktstrukturplanung nachgelagert und damit kein Bestandteil der vorliegenden Arbeit. Die übergeordnete Zielsetzung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

**Es ist ein durchgängiges, integriertes Vorgehen zu entwickeln, das den Produktentwickler bei der selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung zweckmäßig unterstützt.**

Wie in Abbildung 1-4 dargestellt, ist die Produktstrukturplanung ein sequentieller Prozess, der aus den Abschnitten Vorbereitung, Strukturplanung und Umsetzungsplanung besteht.

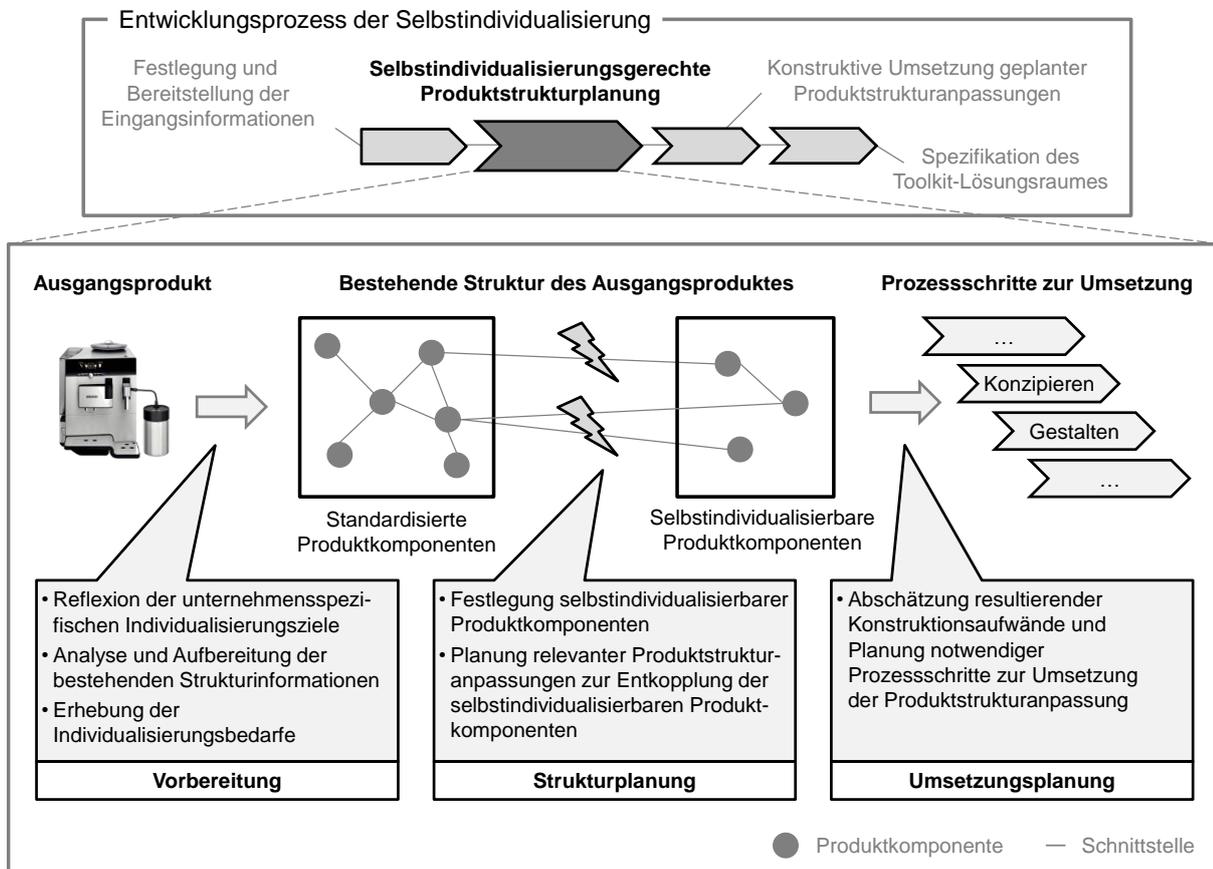


Abbildung 1-4: Prozessabschnitte der selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung

Zur weiteren Konkretisierung der Zielsetzung werden im Folgenden die Teilziele der einzelnen Prozessabschnitte beschrieben.

### Teilziele für den Abschnitt der Vorbereitung

In der Literatur existiert eine sehr differenzierte Betrachtung hinsichtlich unterschiedlicher Formen der Produktindividualisierung (vgl. z. B. GILMORE & PINE 1997; HILDEBRAND 1997, S. 91 ff.). Die Differenzierung basiert dabei häufig auf dem Umfang der Individualisierung und reicht von der Variantenproduktion bis hin zur Selbstindividualisierung (PILLER 2006, S. 127 ff., S. 136 ff., S. 216 ff.). Dazwischen findet sich eine Vielzahl weiterer Ausprägungen, deren Umsetzung unterschiedliche Herausforderungen und Herangehensweisen seitens des Produktentwicklers erfordern. Im industriellen Kontext sind diese unterschiedlichen Individualisierungsformen sowie korrespondierende Methoden/Ansätze für deren Umsetzung häufig nicht präsent (GRÄBLER 2004, S. 22). Aus diesem Grund soll das zu entwickelnde Integrierte Vorgehen eine **Reflexion der unternehmensspezifischen Individualisierungsziele** beinhalten. Mittels einer geeigneten Übersicht und Beschreibung ausgewählter Individualisierungsformen, sollen sich Unternehmen entsprechend einordnen und die eigene Zielvorstellung

reflektieren können. Damit wird gewährleistet, dass die Individualisierungsziele des Unternehmens mit denen der Selbstindividualisierung übereinstimmen und die Durchführung der selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung zielführend ist.

Die Produktstruktur (vgl. Abschnitt 3.2) eines bereits kommerzialisierten Produktes ist der Ausgangspunkt für die selbstindividualisierungsgerechte Produktstrukturplanung. Neben der physischen Zusammensetzung des Produktes sind die funktionalen Beziehungen der Produktkomponenten weitere notwendige Eingangsinformationen für die Produktstrukturplanung. Sowohl die Erhebung und Aufbereitung als auch die Dokumentation und Präsentation dieser Information sind insbesondere bei komplexen Produkten sehr zeit- und ressourcenaufwendig. Aus diesem Grund soll das Integrierte Vorgehen die bedarfsgerechte und aufwandsarme **Analyse und Aufbereitung der bestehenden Produktstrukturinformationen** methodisch unterstützen.

Neben der analysierten Produktstruktur, sind die **Individualisierungsbedarfe der Kunden** maßgebend für die selbstindividualisierungsgerechte Produktstrukturplanung, da diese später die kundenseitig gewünschten, selbstindividualisierbaren Produktkomponenten definieren. Wie bereits in der Problemstellung beschrieben, handelt es sich dabei jedoch häufig um implizite Bedarfe, die Kunden mitunter nur vage und meist nicht ohne Weiteres artikulieren können. Aus diesem Grund soll das Integrierte Vorgehen beschreiben, wie der Transfer der Bedarfe von den Kunden zum Unternehmen durch eine geeignete Kundenintegration ressourcenschonend durchgeführt werden kann. Anforderungen an die Konzeptentwicklung werden maßgeblich sowohl durch die benötigten Informationen als auch durch die sich anschließende Weiterverarbeitung der Informationen bestimmt. Im Rahmen der Informationsweiterverarbeitung sollen die betroffenen Produktkomponenten auf Basis der erhobenen Individualisierungsbedarfe abgeleitet werden. Dazu soll das Integrierte Vorgehen eine strukturierte Herangehensweise bereitstellen und den Produktentwickler bei der Ableitung betroffener Produktkomponenten methodisch unterstützen.

### **Teilziele für den Abschnitt der Strukturplanung**

Bevor mit der Anpassung der Produktstruktur begonnen werden kann, müssen die **selbstindividualisierbaren Produktkomponenten** vom Produktentwickler **festgelegt werden**. Für eine solche Festlegung ist neben den Individualisierungsbedarfen das „technische Potential“ zur Selbstindividualisierung ausschlaggebend. Dieses Potential ist Ausdruck für den Grad an Individualisierungsfreiheit, den eine Produktkomponente aus Entwicklungssicht potentiell erreichen kann. Im weiteren Verlauf wird dafür der Begriff „Individualisierungspotential“ verwendet. So hat beispielsweise eine Produktkomponente, die zahlreiche Schnittstellen zu umliegenden Produktkomponenten aufweist, ein geringeres Individualisierungspotential als eine Produktkomponente, die nur vereinzelt Schnittstellen besitzt (vgl. JOSE & TOLLENAERE 2005; MUFFATTO & ROVEDA 2002). Grundlage für die Ermittlung der Individualisierungspotentiale bilden die relevanten technischen und strategischen Produktmerkmale, die bereits im Rahmen der Problemstellung diskutiert wurden. Das Integrierte Vorgehen soll demnach den Produktentwickler sowohl bei der bedarfsgerechten Identifikation relevanter Produktmerkmale als auch bei der darauf aufbauenden objektiven Bewertung der Individualisierungspotentiale methodisch unterstützen. Damit wird eine transparente und nachvollziehbare Entscheidungsgrund-

lage für die anschließende, obligatorische Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten generiert.

Eine umfangreiche Selbstindividualisierung der festgelegten Produktkomponenten wird erst durch eine **selbstindividualisierungsgerechte Produktstrukturanpassung** möglich. Die Neu-Modularisierung der Produktstruktur ist dabei jedoch nicht das Ziel. Vielmehr sollen die jeweiligen Produktkomponenten strukturell entkoppelt werden, um die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade zu maximieren, ohne jedoch die strategische Ausrichtung bestehender Module zu verändern. Denkbar sind hier beispielsweise Kannibalisierungseffekte hinsichtlich der Funktionserfüllung oder auch der Wirtschaftlichkeit des Produktes. Dementsprechend soll das Integrierte Vorgehen den Produktentwickler dahingehend methodisch unterstützen, eine solche Entkopplung unter Berücksichtigung relevanter technischer und strategischer Produktmerkmale durchzuführen.

### **Teilziele für den Abschnitt der Umsetzungsplanung**

Insbesondere vor dem Hintergrund komplexer Produkte ist an dieser Stelle mit einer Vielzahl geplanter Strukturanpassungen zu rechnen. Da die zur Verfügung stehenden Ressourcen der Produktentwicklung in aller Regel beschränkt sind, erfordert dies wiederum eine Abschätzung der, für die Umsetzung geplanter Strukturanpassungen, anfallenden Konstruktionsaufwände. Das Integrierte Vorgehen soll dementsprechend neben der Entkopplung der Produktkomponenten, eine **Abschätzung resultierender Konstruktionsaufwände** methodisch unterstützen. Damit ist der Produktentwickler in der Lage, nur die Strukturanpassungen zu planen, die schlussendlich mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen umsetzbar sind. Je größer die Anzahl geplanter Strukturanpassungen, desto komplexer und umfangreicher wird deren konstruktive Umsetzung. Eine effektive und effiziente Umsetzung kann nur gewährleistet werden, wenn an dieser Stelle von der Produktentwicklung entsprechende **Prozessschritte definiert und dokumentiert** werden. Darauf aufbauend ist eine geeignete Reihenfolge für die Bearbeitung dieser Prozessschritte zu definieren. Ein Optimierungskriterium bei der Ermittlung einer geeigneten Reihenfolge ist die Vermeidung zeit- und ressourcenaufwendiger Iterationen. Das Integrierte Vorgehen soll demnach den Produktentwickler auch bei der Definition entsprechender Prozessschritte sowie der Ermittlung einer effizienten Bearbeitungsreihenfolge methodisch unterstützen.

### **Ableitung von Forschungsfragen sowie korrespondierender Themen- und Forschungsfelder**

Aus den beschriebenen Teilzielen lassen sich zwei zentrale Forschungsfragen für die vorliegende Arbeit ableiten:

- Wie lässt sich die Eignung von Produktkomponenten zur Selbstindividualisierung auf Produktstrukturebene objektiv bewerten?
- Wie muss die Produktstruktur eines existierenden Produktes angepasst werden, um die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade zu maximieren und gleichzeitig schädliche Auswirkungen auf standardisierte Komponenten zu vermeiden?

Die beschriebene Zielsetzung der vorliegenden Arbeit adressiert die in Abbildung 1-5 dargestellten Themen- und Forschungsfelder der massenhaften Produktindividualisierung, der

methodischen Produktentwicklung, des Komplexitäts-, Änderungs- und Prozessmanagements sowie der modularen Produktentwicklung.



Abbildung 1-5: Von der Zielsetzung betroffene Themen- und Forschungsfelder

Der thematische Rahmen dieser Arbeit wird durch das Themenfeld der massenhaften Produktindividualisierung aufgespannt. Neben der Beschreibung wesentlicher Ursachen und Wegbereiter, wird die Arbeit thematisch in die bestehenden Individualisierungsstrategien eingeordnet.

Die Entwicklung der selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung soll sich auf etablierte Ansätze und Methoden aus dem Stand der Forschung und Technik stützen. Ausgehend von der Zielsetzung, den Produktentwickler mit Hilfe eines integrierten Vorgehens zu unterstützen, ist dafür das Forschungsfeld der methodischen Produktentwicklung relevant. Der Anwendungsbereich des integrierten Vorgehens umfasst die Anpassung der Produktstruktur von bereits kommerzialisierten, komplexen Produkten. Für diesen Fokus sind die Forschungsfelder der modularen Produktentwicklung sowie des Änderungs-, Prozess- und Komplexitätsmanagements relevant.

Die einzelnen Beiträge der genannten Themen- und Forschungsfelder zur Entwicklung des integrierten Vorgehens können dem Abschnitt 3.6 entnommen werden.

## 1.4 Forschungsmethodik

Das forschungsmethodische Vorgehen zur Erarbeitung und Lösung der Problemstellung dieser Arbeit basiert auf der im Produktentwicklungsbereich etablierten Design Research Methodology (DRM) nach BLESSING & CHAKRABARTI (2009, S. 13 ff.). Ziel dieses Vorgehens ist die systematische Erarbeitung und Lösung eines Forschungsproblems durch Kombination geeigneter Forschungsmethoden. Das Vorgehen der DRM gliedert sich in die Stufen „Klärung der Forschungsziele“, „Deskriptive Studie I“, „Präskriptive Studie“ und „Deskriptive Studie II“. In den folgenden Abschnitten werden die relevanten Tätigkeiten und Ergebnisse der einzelnen Stufen sowie die korrespondierenden Kapitel der vorliegenden Arbeit aufgezeigt (siehe Abbildung 1-6).

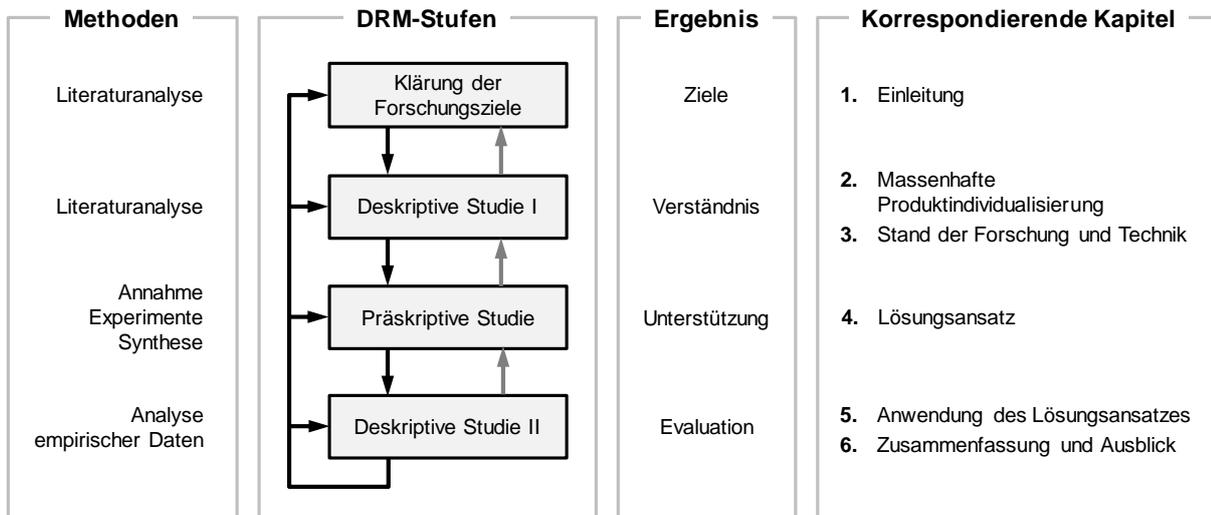


Abbildung 1-6: Angewandte Forschungsmethodik (nach BLESSING & CHAKRABARTI 2009) und korrespondierende Kapitel der vorliegenden Arbeit

Die **Klärung der Forschungsziele** (KF) als erste Stufe der DRM umfasst die Darstellung der Ausgangssituation sowie die Definition der Forschungsziele und des Umfangs der Arbeit (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 43 ff.). Die Klärung der Forschungsziele erfolgt im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf Basis von Erfahrungen des Autors (vgl. Abschnitt 1.5) sowie einer Literaturanalyse (siehe Kapitel 2 und 3). Das Ergebnis ist die Definition zentraler Problemfelder sowie die daraus abgeleitete Zielsetzung der Arbeit (vgl. Kapitel 1).

Die **deskriptive Studie I** (DS I) hat den Aufbau eines umfassenden Verständnisses der adressierten Problemstellung und die Identifikation relevanter Faktoren zum Ziel (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 75 ff.). In der vorliegenden Arbeit erfolgt sowohl der Aufbau des notwendigen Verständnisses als auch die Identifikation relevanter Faktoren anhand einer Literaturanalyse. Dabei werden relevante Grundlagen zur massenhaften Produktindividualisierung (siehe Kapitel 2) sowie der methodischen Produktentwicklung (siehe Kapitel 3) detailliert analysiert. Als zentrales Ergebnis werden die Handlungsbedarfe im Rahmen einer selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung abgeleitet. Damit legt die DS I den Grundstein zur Erarbeitung der angestrebten methodischen Unterstützung des Produktentwicklers bei der Planung selbstindividualisierungsgerechter Produktstrukturen.

Im Rahmen der **präskriptiven Studie** (PS) wird ausgehend von den identifizierten Handlungsbedarfen ein Lösungsansatz entwickelt. Die damit adressierte Unterstützung kann beispielsweise in Form von Konzepten, Richtlinien, Checklisten oder Methoden erfolgen (vgl. BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 141 ff.). Für die Unterstützung der selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung wird in der vorliegenden Arbeit ein integriertes Vorgehen entwickelt und in Kapitel 4 detailliert beschrieben. Die Entwicklung des Integrierten Vorgehens erfolgt auf Basis etablierter Methoden der Kundenintegration sowie der Produktstrukturplanung.

In der **deskriptiven Studie II** (DS II) erfolgt die Evaluation des entwickelten Lösungsansatzes. Dabei soll neben der Anwendbarkeit gleichermaßen die Wirksamkeit des Ansatzes bewertet werden (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 181 ff.). Damit wird der Nachweis geführt, dass die Unterstützung einen Mehrwert gegenüber dem aktuellen Stand der Technik und Forschung stiftet. Abschließend werden Optimierungsbedarfe und Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Lösungsansatzes ermittelt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgt eine Bewertung der Anwendbarkeit des entwickelten Lösungsansatzes anhand eines Kaffeevollautomaten der BSH Hausgeräte GmbH sowie anhand des theoretischen Anwendungsfalls eines Wasserspenders (siehe Kapitel 5). Basierend auf diesen beispielhaften Anwendungen, lassen sich Potentiale zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Integrierten Vorgehens ableiten, welche in Kapitel 6 dargestellt und diskutiert werden.

## 1.5 Erfahrungsgrundlage des Autors

Die Erfahrungsgrundlage des Autors in Bezug auf die selbstindividualisierungsgerechte Produktstrukturplanung basiert auf der, im Zeitraum von 01/2012 und 09/2016 ausgeführten, Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München. Die inhaltliche Grundlage der vorliegenden Arbeit basiert maßgeblich auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes „InnoCyFer“<sup>10</sup> (vgl. INNOCYFER 2017) sowie verschiedener, unter Anleitung des Autors erstellter Studienarbeiten.

Tabelle 1-1 zeigt eine Übersicht dieser Grundlagen mit einer Kurzbeschreibung der Inhalte, deren Beitrag zu den verschiedenen Phasen der DRM sowie resultierender Publikationen.

Das vom BMWi<sup>11</sup>-geförderte dreijährige Forschungsprojekt „InnoCyFer“ (Projektlaufzeit: 01.11.2013-31.10.2016, Förderkennzeichen 01MA13009A) hatte die Realisierung einer durchgängigen Prozesskette, von der Gestaltung bis hin zur Herstellung kundeninnovierter<sup>12</sup> Produkte, zum Ziel. Die produktentwicklungsseitigen Problemstellungen einer solchen Prozesskette – maßgeblich in Form notwendiger Produktaufbereitungen – wurden durch den Lehrstuhl für Produktentwicklung adressiert. Die relevanten Projektergebnisse sind im öffentlich zugänglichen Abschlussbericht umfassend beschrieben (vgl. INNOCYFER 2016).

Das Forschungsprojekt „InnoCyFer“ hat durch die mehrjährige, intensive Zusammenarbeit mit den Konsortialpartner maßgeblich zur Klärung der Forschungsziele, dem Aufbau eines umfassenden Problemverständnisses sowie zur Entwicklung und Anwendung des Lösungsansatzes beigetragen (vgl. HOLLE ET AL. 2015b; HOLLE & LINDEMANN 2014; HOLLE ET AL. 2014a).

---

<sup>10</sup> Projekttitle: Integrierte Gestaltung und Herstellung kundeninnovierter Produkte in Cyber-Physischen Fertigungssystemen.

Das Forschungskonsortium bestand aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München (Konsortialführer), dem Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München, der Hyve Innovation Community GmbH, dem Fraunhofer RMV, der Festo Didactic GmbH & Co. KG sowie der BSH Hausgeräte GmbH.

<sup>11</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

<sup>12</sup> In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe „kundeninnoviert“ und „selbstindividualisiert“ (vgl. Abschnitt 2.3.2) synonym verwendet.

Dabei ist insbesondere das Engagement der BSH Hausgeräte GmbH hervorzuheben, die den Kaffeefullautomaten als Anwendungsfall zur Verfügung gestellt haben.

Tabelle 1-1: Übersicht zur inhaltlichen Grundlage der vorliegenden Arbeit

Nr.	Kurzbeschreibung der Inhalte	Beitrag zu DRM-Stufe	Publikationen
Forschungsprojekt			
1	InnoCyFer: Gestaltung und Herstellung kundeninnovierter Produkte in Cyber-Physischen Fertigungssystemen	KF, DS I, PS, DS II	HOLLE ET AL. 2015b HOLLE & LINDEMANN 2014 HOLLE ET AL. 2014a
Studienarbeiten (Autor der Arbeit)			
2	Open Innovation – Vorgehen zur Produktstrukturplanung (Christian Horn)	KF, DS I	
3	Situations- und Kundenanalyse zur kundenindividuellen Produktgestaltung (Isabell Westrich)	DS I	
4	Verbundprojekt InnoCyFer – Konzept für eine Open Innovation-Plattform (Simon Bader)	PS	
5	Open Innovation – Incentivierung von Innovationspartnern (Michael du Maire)	PS	HOLLE ET AL. 2014b
6	Methodology for Motivating External Open Innovation Partners (Matthias Schuhmacher)	PS	HOLLE ET AL. 2016b
7	Kundenindividuelle Produktentwicklung – Methodik zur Bewertung des Individualisierungspotentials (Clemens Gonnermann)	DS I, PS	HOLLE ET AL. 2015a
8	Kundenindividuelle Produktentwicklung – Methodik zur Bewertung von Änderungsauswirkungen (Christopher Lang)	DS I, PS	
9	Kundenindividuelle Produktentwicklung – Methodik zur Produktarchitekturänderung (Immanuel Straub)	DS I, PS, DS II	HOLLE ET AL. 2016a
10	Kundenindividuelle Produktentwicklung – Methodik zur Umsetzungsplanung von Produktarchitekturänderungen (Benedikt Gehring)	DS I, PS, DS II	
KF = Klärung der Forschungsziele; DS = deskriptive Studie; PS = präskriptive Studie			

Neben dem Forschungsprojekt „InnoCyFer“ haben verschiedene Studienarbeiten zur Klärung der Forschungsziele, dem Aufbau eines umfassenden Problemverständnisses sowie zur Entwicklung und Anwendung des Lösungsansatzes beigetragen (vgl. HOLLE ET AL. 2016a; HOLLE ET AL. 2016b; HOLLE ET AL. 2015a; HOLLE ET AL. 2014b).

## 1.6 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit ist in Abbildung 1-7 dargestellt.

In **Kapitel 1** werden zunächst die Ausgangssituation und Problemstellung beschrieben. Signifikante gesellschaftliche Veränderungen haben zu neuen Wettbewerbssituationen und einem Zerfall des Massenmarktes geführt. Produzierende Unternehmen stehen vor der Herausforderung Massenprodukte in bisher nie dagewesenem Ausmaß zu differenzieren. Die massenhafte Produktindividualisierung wird als Handlungsebene identifiziert und die Entwicklung eines Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung als zentrale Zielsetzung vorgestellt. Flankierend werden die Erfahrungsgrundlage des Autors und die gewählte Forschungsmethodik aufgezeigt.

In **Kapitel 2** und **Kapitel 3** werden die Grundlagen der massenhaften Produktindividualisierung sowie der, für die adressierte Zielsetzung, relevante Stand der Forschung und Technik dargestellt. Die Adaption und Zusammenführung existierender Ansätze und Methoden zu einem konsistenten Vorgehen werden als zentrale Handlungsbedarfe abgeleitet.

In **Kapitel 4** wird das Integrierte Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Planung von Produktstrukturen als Lösungsansatz vorgestellt. Für die Maximierung kundenseitiger Individualisierungsfreiheitsgrade unterstützt das Vorgehen den Produktentwickler bei der dafür notwendigen Anpassung einer bereits existierenden Produktstruktur. Neben der detaillierten Beschreibung von Handlungsschritten werden geeignete Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt.

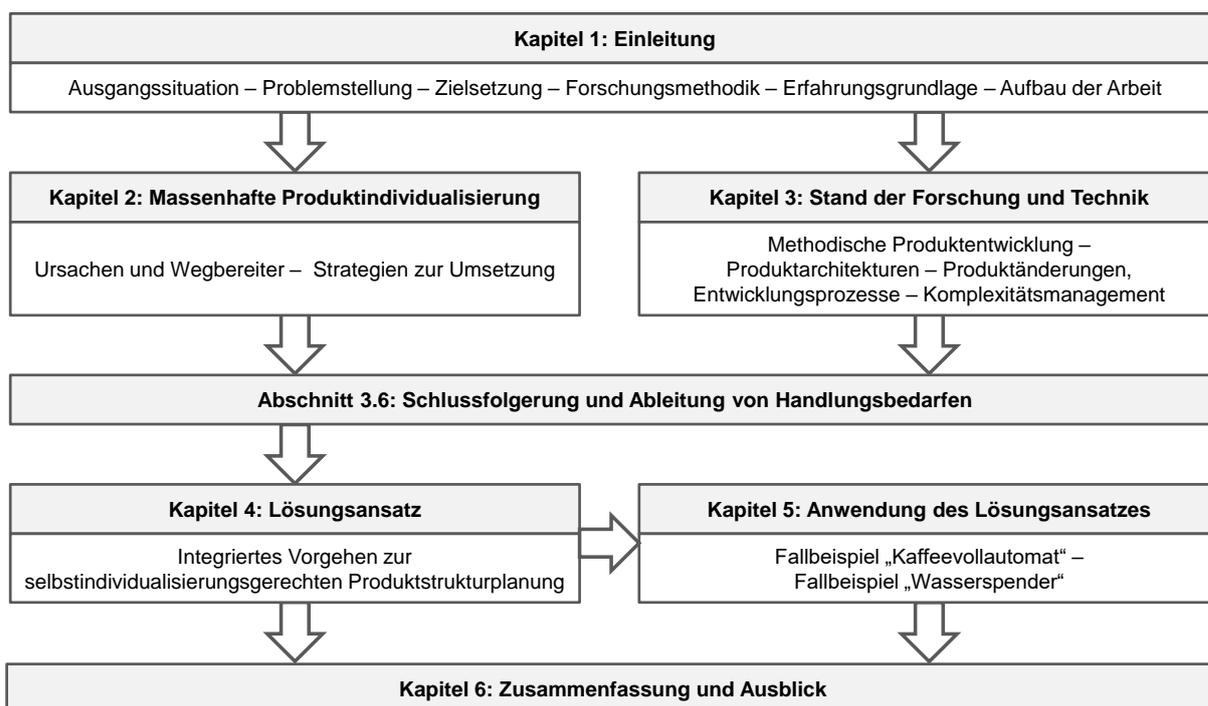


Abbildung 1-7: Aufbau der vorliegenden Arbeit

In **Kapitel 5** wird die Anwendbarkeit des Integrierten Vorgehens anhand von zwei Fallbeispielen demonstriert. Dazu werden ein Kaffeefullautomat der BSH Hausgeräte GmbH sowie der Anwendungsfall eines Wasserspenders betrachtet. Auf Basis dieser Anwendung werden abschließend entsprechende Potentiale für die Weiterentwicklung des Integrierten Vorgehens abgeleitet und diskutiert.

Im abschließenden **Kapitel 6** erfolgt eine Zusammenfassung der Inhalte und Reflexion der Ergebnisse. Die notwendigen Schritte für eine Weiterentwicklung des Integrierten Vorgehens und der Kundenindividuellen Produktgestaltung werden in Form eines Ausblicks beschrieben.

## 2. Massenhafte Produktindividualisierung

Seit Beginn des 19. Jahrhunderts bestimmten Innovationen aus dem Bereich der Elektrotechnik, Chemie oder auch des Automobilbaus das gesellschaftliche Wachstum, bis schließlich in den 1970er Jahren eine materiell-energetische Grenze erreicht wurde (NEFIODOW 2007, S. 10 ff.). Das führte bis 1990 zu einem kulturellen Wandel von der Industrie- zur Informationsgesellschaft. Fortan waren Innovationen aus dem Bereich der Informationstechnik die wichtigste Wachstumsgrundlage (NEFIODOW 2007, S. 10 ff.). Sowohl das Erschließen als auch die effiziente Nutzung von Informationen wurde in sämtlichen Lebensbereichen (z. B. Arbeit, Freizeit und Kultur) immer entscheidender (HAGE & POWERS 1992, S. 57). Dies führte zu neuen gesellschaftlichen Verhaltensmustern, die wiederum eine nachhaltige Veränderung der Absatzmärkte verursachten. Kunden entwickelten ein neues Qualitäts- und Funktionalitätsbewusstsein und forderten zunehmend Produkte, die ihre Lebensart und Individualität widerspiegeln (HILDEBRAND 1997, S. 2; SCHNÄBELE 1997, S. 16 ff.; FLECK 1995, S. 46; PINE 1993, S. 34). Darüber hinaus haben moderne Verkehrs- und Kommunikationsmittel zu steigender Globalisierung und verschärftem Wettbewerb geführt (SCHODER 1999, S. 97 ff.). Insbesondere produzierende Unternehmen aus der Bekleidungs- und Automobilbranche stehen seither vor der wachsenden Herausforderung, mit Massenprodukten individuelle Kundenanforderungen zu erfüllen (GRÄBLER 2004, S. 11 ff.). Die Märkte dieser Branchen weisen stark differenzierte Produkte, eine hohe Wettbewerbsintensität, inhomogene, schnell veränderliche Kundenanforderungen sowie permanente Überkapazitäten auf (SIMON 1988). In derart wettbewerbsintensiven und gesättigten Märkten ist die voranschreitende, massenhafte Produktindividualisierung ein entscheidender Erfolgsfaktor geworden (PILLER 2006, S. 53 f.). Produzierende Unternehmen stehen demnach heute mehr denn je vor der Herausforderung, den Kunden nahezu vollständig individualisierte Produkte zu bezahlbaren Preisen anzubieten (SCHUH 2013, S. 92; PILLER 2006, S. 53).

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die Ursachen und Wegbereiter der voranschreitenden, massenhaften Produktindividualisierung aufgezeigt und anschließend die Umsetzungsstrategien der kundenindividuellen Massenproduktion sowie der Selbstindividualisierung beschrieben.

### 2.1 Ursachen der massenhaften Produktindividualisierung

Die massiven gesellschaftlichen und technologischen Veränderungen der letzten Jahrzehnte werden in der Literatur häufig als wesentliche Ursachen für die kontinuierlich steigende Nachfrage nach individuellen Produkten genannt (vgl. HILDEBRAND 1997, S. 12 f.; SCHNÄBELE 1997, S. 16 ff.). Erklären lässt sich diese Entwicklung u. a. mit dem Anstieg des allgemeinen Wohlstands und Bildungsniveaus sowie mit einer höheren Lebenserwartung und einer Vervielfachung der zur Verfügung stehenden Freizeit in Folge kürzerer Arbeitszeiten (MEFFERT ET AL. 2015, S. 3 ff.; PILLER 2006, S. 43; HAGE & POWERS 1992, S. 57). Diese Veränderungen haben in nahezu allen Altersgruppen zu einer hedonistischeren Lebenseinstellung und einem höheren Selbstbewusstsein geführt. Die Folge sind stark differenzierte, schnell veränderliche und aus

Unternehmenssicht schwer prognostizierbare Produkthanforderungen (SCHUH & BENDER 2012, S. 3; PILLER 2006, S. 125).

Neben den gesellschaftlichen Veränderungen, haben gesättigte Märkte in Folge einer kontinuierlich steigenden Produktivität zu stagnierenden Absätzen und einer hohen Wettbewerbsintensität geführt (vgl. UHLMANN 2003, S. 121 ff.). Beispiele finden sich verstärkt in der Bekleidungs- und Automobilbranche (GRÄBLER 2004, S. 12 f.). Gemäß SIMON (1988) befinden sich derartige Märkte in der sogenannten „Reifen Phase“ und sind geprägt von Dezentralität und differenzierten Produkten. Die Herausforderung besteht nicht mehr in der Erhöhung der Produktionskapazitäten, sondern in der Erweiterung der Absatzbereiche und der Erfüllung individueller Kundenwünsche. Die zunehmende Globalisierung, Deregulierung und Schaffung von Wirtschaftsräumen (z. B. EU und NAFTA) hat insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten zu einer weiteren Verschärfung dieser Situation geführt. Die Folge ist der kontinuierliche Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt. Unternehmen stehen im permanenten Wettbewerb, neue Kunden durch immer differenziertere Produkte zu akquirieren und zu binden. Kunden werden mit einem nahezu unüberschaubaren Produktangebot konfrontiert und können frei entscheiden, welches Produkt ihren Bedürfnissen am besten gerecht wird. Die Verhandlungsposition verschiebt sich damit zu Gunsten des Käufers (HILDEBRAND 1997, S. 2 f.; SCHNÄBELE 1997, S. 16 ff.; FLECK 1995, S. 46; PINE 1993, S. 34).

Die beschriebenen Marktveränderungen machen deutlich, dass produzierende Unternehmen heutzutage nur dann erfolgreich bestehen können, wenn es ihnen gelingt, mit vertretbarem Aufwand, auf die individuellen Wünsche ihrer Kunden einzugehen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn technologisch die entsprechenden Voraussetzungen existieren (GRÄBLER 2004, S. 26). Im Folgenden werden wesentliche technologische Wegbereiter der massenhaften Produktindividualisierung aufgezeigt.

## 2.2 Wegbereiter der massenhaften Produktindividualisierung

Durch die gezielte Kombination mechanischer, elektronischer und informationstechnischer (mechatronischer) Komponenten, können Produkte unabhängig von ihrer Herstellung kundenindividuell angepasst werden. Insbesondere der Einsatz von Software ermöglicht meist eine aufwandsarme Produktdifferenzierung. Darüber hinaus bieten innovative Werkstoffe, wie beispielsweise faserverstärkte Kunststoffe oder Verbundmetalle hohes Individualisierungspotential (GRÄBLER 2004, S. 27). Neben mechatronischen Produkttechnologien sind flexible Produktionstechnologien notwendig, um eine kundenindividuelle Produkthanpassung während der Produktion zu ermöglichen. Im Gegensatz zur klassischen Massenproduktion besteht die Herausforderung in der schnellen und kostengünstigen Fertigung geringer Stückzahlen (SPATH ET AL. 2013, S. 42; PILLER 2006, S. 274 ff.; UHLMANN 2003, S. 123; ZÄH 2003, S. 238; HILDEBRAND 1997, S. 226). Als Beispiel seien hier schichtweise arbeitende (additive) Fertigungsverfahren<sup>13</sup> genannt. Das Prinzip besteht darin, dass beliebig komplexe Bauteile aus flüssigen oder pulverförmigen Ausgangsmaterialien schichtweise aufgebaut werden. Neben Kunststoffen, können auch metallische Werkstoffe mittels Laser-gestützter Verfahren verarbeitet werden. Die

---

<sup>13</sup> Synonym werden in der Literatur auch die Begriffe „Freeform Fabrication“, „3D-Drucken“, „eManufacturing“, „Additive Manufacturing“ oder „Direct Digital Manufacturing“ verwendet (vgl. SCHMID 2015).

Produktionskosten bleiben in diesem Fall, unabhängig von der Stückzahl und der geometrischen Komplexität der Bauteile, nahezu konstant (ZÄH 2003, S. 241 f.).

Der Paradigmenwechsel vom standardisierten zum individuellen Massenprodukt erfordert hochflexible Fabrikstrukturen. Durch automatisierte und vernetzte Produktionseinrichtungen stehen entsprechende Technologien bereit, um schnell und flexibel auf individuelle Kundenanforderungen reagieren zu können (RICHTER ET AL. 2015). Dabei sind Flexibilität, Variabilität und Kompatibilität wesentliche Schlüsselfaktoren für eine ressourceneffiziente Fabrik und damit für die schnelle und wirtschaftliche Fertigung kundenindividueller Massenprodukte (SCHENK ET AL. 2014, S. 43 ff.). Unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ wird bereits heute an Lösungen für intelligente Fabriken („Smart Factories“) gearbeitet. Das erklärte Ziel ist die Echtzeit-Kommunikation zwischen Mensch, Maschine und Produkt. Bauteile sollen zukünftig über Informationen zum Herstellungsprozess und Einsatzkontext (z. B. Fertigungsparameter, Liefertermin) verfügen und damit ihre eigene Herstellung aktiv unterstützen (SPATH ET AL. 2013, S. 90 ff.).

Moderne Informations- und Kommunikationstechnologien bilden den technischen Hintergrund der heutigen Informationsgesellschaft und ermöglichen einen durchgängigen, dezentralen Produktentstehungsprozess. Im Kontext der massenhaften Produktindividualisierung sind insbesondere internetbasierte Toolkits<sup>14</sup> für die ressourceneffiziente Aufnahme und Weiterleitung kundenindividueller Anforderungen relevant (BELZ 2008, S. 11 ff.; CASSIMAN & VEUGELERS 2006; PILLER 2006, 237; GRÄBLER 2004, S. 28). Klassischerweise nähert sich das produzierende Unternehmen in Form eines ressourcenaufwendigen Trial-and-Error-Prozesses iterativ an die endgültige Produktlösung an. Dieser Prozess ist geprägt von einer stetigen Kommunikation zwischen der Kunden- und Unternehmensdomäne und verursacht durch die Ortgebundenheit der Bedürfnis- und Lösungsinformationen hohe Transaktionskosten (DIENER & PILLER 2010, S. 93). Ein Toolkit repräsentiert eine virtuelle Entwicklungsumgebung, die es den Unternehmen ermöglicht, den Trial-and-Error-Prozess an den Kunden zu übergeben. Das Unternehmen stellt dazu eine Interaktionsplattform bereit, auf der Kunden, innerhalb eines fest definierten Lösungsraumes, ihre Bedürfnisse eigenständig in technische Lösungen überführen können (DIENER & PILLER 2010, S. 93 f.). Durch ein visuelles Feedback (z. B. 3D-Visualisierung des virtuellen Produktmodells) können Kunden ihre individuellen Lösungen eigenständig beurteilen und iterativ weiterentwickeln. Neben der Entwicklung kundenindividueller Lösungen können Informations- und Kommunikationstechnologien ebenfalls eine effiziente und dezentrale Ablauforganisation unterstützen und damit eine entsprechende Prozessqualität innerhalb des Unternehmens gewährleisten (GRÄBLER 2004, S. 28 f.).

## **2.3 Strategien zur Umsetzung der massenhaften Produktindividualisierung**

Aus Literatur und Praxis lassen sich verschiedene Strategien zur Umsetzung einer massenhaften Produktindividualisierung ableiten (vgl. z. B. „Mass Customization“ nach DAVIS 1987 „Simultaneitätskonzept“ nach KALUZA 1996 oder „Dynamische Produktdifferenzierung“ nach CORSTEN & WILL 1995). Eine Übersicht und Abgrenzung existierender Strategien kann PILLER

---

<sup>14</sup> In der Literatur wird dafür vereinzelt auch der Oberbegriff „E-Commerce“ verwendet (SMITH & RUPP 2003).

2006, S. 155 ff. entnommen werden. Die einzelnen Strategien lassen sich im Wesentlichen hinsichtlich des betroffenen Unternehmensbereichs (z. B. Marketing, Produktion, Service) sowie der Intensität der Kundeninteraktion unterscheiden. Das gleichzeitige Anstreben von Kostenführerschaft und Differenzierung zur Realisierung von Wettbewerbsvorteilen haben jedoch alle Strategien gemein. Der Wettbewerbsschwerpunkt der Kostenführerschaft basiert auf Skaleneffekten und Lerneffekten in Form von Mengen-, Preis- und Fixkostendegressionen, die auf eine signifikante Erhöhung der Produktionsmenge zurückzuführen sind (PORTER 1998, S. 35). Der Wettbewerbsschwerpunkt der Differenzierung basiert hingegen auf der Schaffung kaufentscheidender Nutzenvorteile in Folge der Befriedigung individueller Kundenwünsche (PORTER 1998, S. 37).

Aufgrund der eingangs beschriebenen Problemstellung wird im weiteren Verlauf die Strategie der kundenindividuellen Massenproduktion fokussiert.

### 2.3.1 Kundenindividuelle Massenproduktion („Mass Customization“)

Der Begriff „Mass Customization“<sup>15</sup> wurde Ende der 80er Jahre durch DAVIS (1987, S. 169) geprägt und stellt die Verbindung von Massenproduktion (Mass Production) und Produktindividualisierung (Customization) dar. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „kundenindividuelle Massenproduktion“ synonym verwendet.

Der Grundgedanke der kundenindividuellen Massenproduktion besteht darin, jedem Kunden ein individuell an seine Bedürfnisse angepasstes Produkt zum Preis eines vergleichbaren Standardproduktes anzubieten (PILLER 2006, S. 175; BEYERLING 1987, S. 168; TOFFLER 1970, S. 19 ff.). In der Umsetzung bedeutet das die Realisierung einer möglichst großen Produktvarianz auf Basis standardisierter Komponenten. Der Produktentwickler steht demnach vor der Herausforderung standardisierte Basiskomponenten zu entwickeln, die kundenindividuell – in gewissen Grenzen – an die jeweiligen Kundenbedürfnisse angepasst werden können (PILLER 2006, S. 174). Abbildung 2-1 stellt zur Verdeutlichung die Wertkette der kundenindividuellen Massenproduktion dar. Die Anpassung erfolgt auf Basis der erhobenen Kundenwünsche und reicht von der Zusammenstellung bis zur konstruktiven Änderung standardisierter Basiskomponenten. In der Automobilindustrie ist es mittlerweile Standard, dass Kunden die Ausstattungsmerkmale ihres Fahrzeugs mit Hilfe internetbasierter Interaktionsplattformen eigenständig konfigurieren können. Im Anschluss an die Erstellung der kundenindividuellen Konstruktion bzw. Konfiguration, werden die notwendigen Materialien für die Fertigung der angepassten Basiskomponenten beschafft. Nach Abschluss der Fertigung und Montage erfolgt die Distribution sowie die Erstellung geeigneter Serviceleistungen für die Nachkaufphase (PILLER 2006, S. 175). Parallel zu den beschriebenen Aktivitäten, die kundenindividuell durchgeführt werden, existieren Aktivitäten, wie beispielsweise die Beschaffung und Vorfertigung standardisierter Komponenten, die auftragsneutral durchgeführt werden. Diese Aufteilung in standardisierte

---

<sup>15</sup> Synonym werden im deutschen Sprachraum auch die Begriffe „Maßgeschneiderte Massenfertigung“, „Massenmaßfertigung“, „Massendifferenzierung“ bzw. im englischen Sprachraum die Begriffe „High Volume Flexible Production“ oder auch „Consumer Construction“ verwendet (vgl. MERTENS 1995; BURNS 1993; CARNOY ET AL. 1993; PINE 1993).

und kundenindividuelle Aktivitäten ist ein wesentliches Kennzeichen der Kundenindividuellen Massenproduktion (PILLER 2006, S. 174).

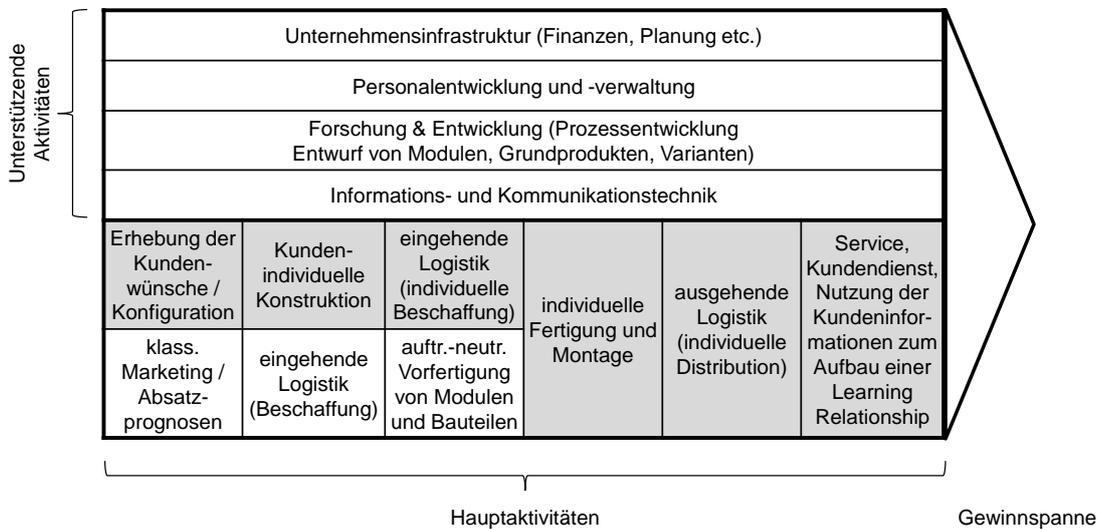


Abbildung 2-1: Wertkette der Mass Customization – grau markierte Aktivitäten werden kundenindividuell durchgeführt (PILLER 2006, S. 175)

Nach PILLER (2006, S. 173 f.) soll im Rahmen der kundenindividuellen Massenproduktion für jeden Kunden ein individuelles Produkt erstellt werden, das dessen Bedürfnisse hinsichtlich bestimmter Produkteigenschaften „exakt trifft“. Auch wenn das bedeutet, dass jedes Produkt in „Losgröße 1“ gefertigt wird. An dieser Stelle teilt der Autor der vorliegenden Arbeit die Sichtweise von GRÄBLER (2004, S. 14), die dafür lediglich in der Bekleidungs- und Konsumgüterbranche realistische Anwendungsszenarios sieht. Beispiele sind das Bedrucken von T-Shirts oder das Ausschäumen von Skischuhen direkt beim Händler (PILLER 2006, S. 227). Dabei handelt es sich in aller Regel um Produkte, die einen geringen Komplexitätsgrad aufweisen und den für die „Losgröße 1“ zu erbringenden technologischen Aufwand rechtfertigen (GRÄBLER 2004, S. 14).

Mit Hilfe der nachfolgend beschriebenen Strategie der Selbstindividualisierung ist es möglich, den Kunden auch komplexe Produkte in „Losgröße 1“ anzubieten.

### 2.3.2 Selbstindividualisierung

Der Begriff der Selbstindividualisierung wurde Mitte der 1990er Jahre maßgeblich von MAYER (1993, S. 263) sowie REIB & BECK (1995) geprägt und beschreibt die Konstruktion und Fertigung standardisierter Produkte, die jedoch aufgrund einer „eingebauten“ Flexibilität vom Kunden selbst individuell angepasst werden können.

Für die Durchführung von Selbstindividualisierungen sind nach Ansicht des Autors kundenseitig bestimmte Motivations- und Qualifikationsmerkmale notwendig, die erst durch Interaktion mit dem jeweiligen Produkt entstehen. Grundlage für diese Annahme ist ein Modell zur Strukturierung von Kundenmerkmalen, das von LÜTHJE (2000, S. 26) entwickelt wurde. Wie in

Abbildung 2-2 dargestellt, entsteht der kundenseitige Produktbezug durch eine Unzufriedenheit (Motivationsmerkmal) bei der Nutzung eines Produktes. Für die kognitive Übersetzung der Unzufriedenheit in eine geeignete Selbstindividualisierung benötigt der Kunde, in Anlehnung an LÜTHJE (2000, S. 26) sowohl Verwendungs- als auch Objektwissen (Qualifikationsmerkmale). Das Verwendungswissen entsteht durch die wiederholte Nutzung eines Produktes und ist Ausgangspunkt für die Entstehung individueller Produkthanforderungen, die durch das betreffende Produkt nicht befriedigt werden können (LÜTHJE 2000, S. 26). Das Objektwissen besteht aus anwendungsfähigen Produktkenntnissen und ist Voraussetzung für die Übersetzung der individuellen Produkthanforderungen in eine konkrete technische Produktspezifikation. Das Objektwissen umfasst sowohl den grundlegenden, physischen Aufbau des Produktes, das Zusammenwirken einzelner Produktkomponenten als auch Material-, Verfahrens- und technologische Kenntnisse (LÜTHJE 2000, S. 38).

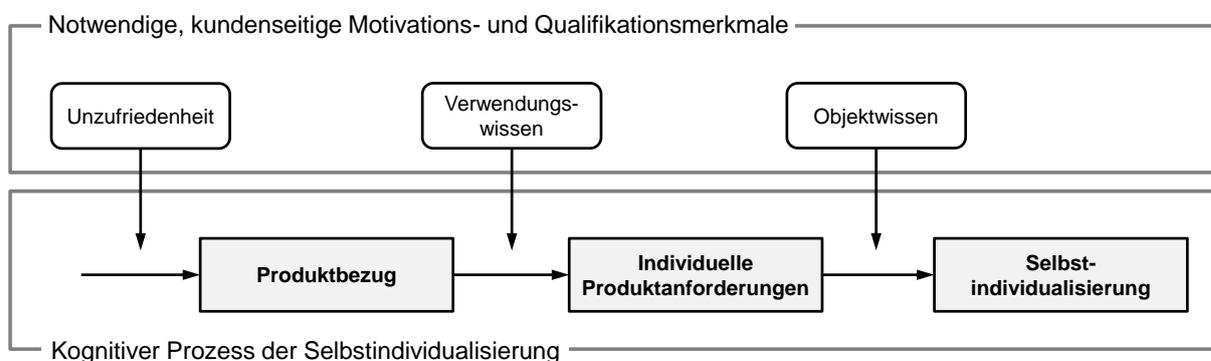


Abbildung 2-2: Verwendungs- und Objektwissen als notwendiges Kundenmerkmal für die Durchführung von Selbstindividualisierungen (in Anlehnung an LÜTHJE 2000, S. 26)

Die wirtschaftlichen Vorteile der Selbstindividualisierung bestehen aus Herstellersicht im Wesentlichen in der Reduzierung der Produktvarianten sowie der Möglichkeit, Marktsegmente bedienen zu können, die durch das bisherige Variantenportfolio nicht erreicht wurden (PILLER 2006, S. 221). Durch die aktive Integration der Kunden in den Wertschöpfungsprozess können zudem personelle Aufwände reduziert werden (PILLER 2006, S. 221).

Großflächige, kommerzielle Anwendung fand die Strategie der Selbstindividualisierung bis dato fast ausschließlich bei Produkten aus dem Bereich der Softwareentwicklung (z. B. Betriebssysteme von Computern). Aufgrund der genannten Vorteile wird das Konzept jedoch zunehmend auf weitere Bereiche übertragen. So können Kunden mittlerweile bereits das Design von Sportschuhen selbstindividuell gestalten (vgl. NIKE 2016). Dazu erstellen Kunden mit Hilfe eines internetbasierten Toolkits, ein virtuelles Produktmodell des Sportschuhs, das nach Auftragserteilung vom Hersteller kundenindividuell gefertigt wird. Eine direkte Interaktion zwischen Kunde und Hersteller ist dabei nicht notwendig.

Der Selbstindividualisierung sind jedoch auf absehbare Zeit Grenzen gesetzt. Insbesondere bei komplexen Massenprodukten wird sich die Selbstindividualisierung, nach Ansicht des Autors, auf die kundenindividuelle Gestaltung von Geometrie, Material und Farbe ausgewählter Komponenten beschränken. Eine kundenindividuelle Gestaltung von Produktfunktionen, ist –

Softwareprodukte ausgenommen – für komplexe Massenprodukte wirtschaftlich kaum realisierbar und daher, wie in Abbildung 2-3 dargestellt, nur indirekt durch eine Selbstindividualisierung der Produktgestalt möglich. Der Kunde muss in diesem Fall die gewünschte Produktfunktion eigenständig in eine Gestaltlösung übersetzen und diese anschließend im Toolkit umsetzen.

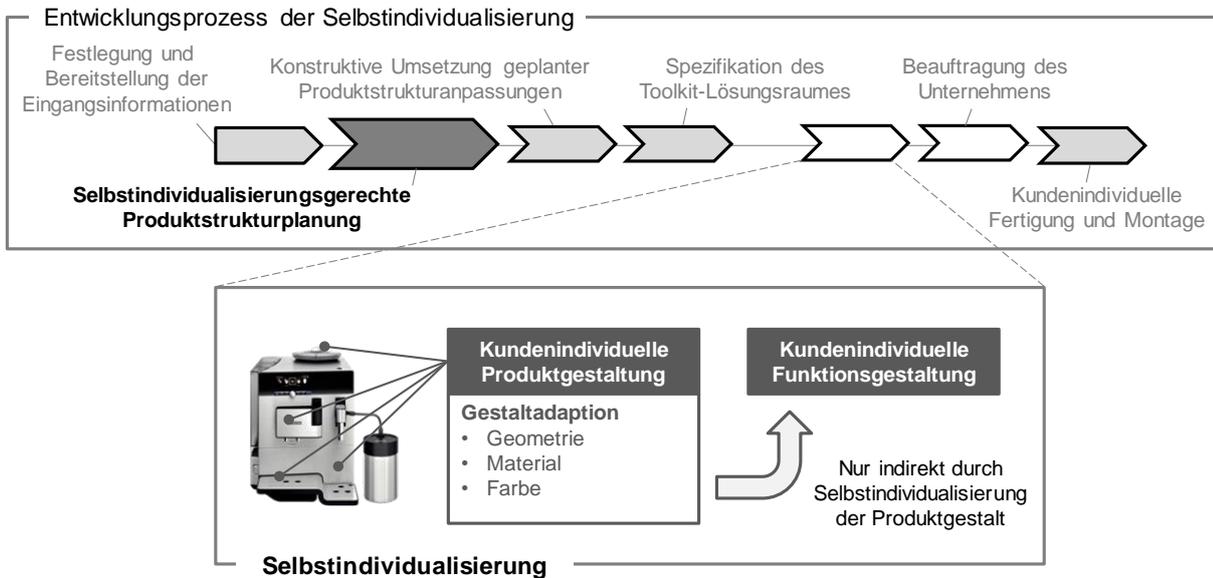


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung der kundenindividuellen Produktgestaltung als Sonderform der Selbstindividualisierung

Das folgende Beispiel aus der Haushaltsgeräte-Branche soll die aktuellen Grenzen der Selbstindividualisierung verdeutlichen. Gibt ein Kunde beispielsweise vor, dass sein zukünftiger Kaffeevollautomat über einen zusätzlichen, bisher nicht angebotenen Kaffeeauslauf verfügen soll, müsste das Toolkit zur Realisierung dieser Funktionsindividualisierung automatisch eine entsprechende Anpassung der davon betroffenen Produktkomponenten vornehmen. Das dafür benötigte Lösungswissen muss jedoch vorher von einem Produktentwickler im Toolkit implementiert werden. An dieser Stelle wird der Konflikt deutlich. Kunden könnten lediglich die Funktionsindividualisierungen umsetzen, die bereits von dem Produktentwickler vorgeguckt und in das Toolkit implementiert wurden. Damit würde sich der Kunde in einem fest definierten Variantenraum bewegen, was dem Prinzip der Selbstindividualisierung widerspricht.

Eine manuelle Anpassung der betroffenen Komponenten durch einen Produktentwickler, würde der Strategie einer Unikatentwicklung (vgl. PILLER 2006, S. 234 ff.) entsprechen und wäre hinsichtlich einer massenhaften Produktindividualisierung kaum wirtschaftlich. Denn wie SCHUH (2013, S. 92) feststellt, sind Kunden häufig nicht bereit für individualisierte Produkte mehr zu bezahlen als für vergleichbare Standardprodukte.

## 3. Stand der Forschung und Technik

*Ausgehend von der Zielsetzung wird in diesem Kapitel der aktuelle Stand der Forschung und Technik für die betroffenen Themen- und Forschungsfelder dargestellt. Das Fundament bilden dabei phasenorientierte Vorgehensmodelle zur methodischen Entwicklung von Produkten. Im weiteren Verlauf werden relevante Methoden für die Entwicklung von Produktarchitekturen sowie den Umgang mit etwaigen Produktarchitekturänderungen aufgezeigt. Die Frage, wie geänderte Produktarchitekturen im Rahmen eines strukturierten Entwicklungsprozesses mit den heute zur Verfügung stehenden Ansätzen und Methoden umgesetzt werden können, wird im Anschluss beantwortet. Neben den bereits genannten Themen- und Forschungsfeldern, werden geeignete Methoden für den erfolgreichen Umgang mit Produktkomplexität beschrieben. Den Abschluss bildet die Identifikation von Handlungsbedarfen, die aus den betrachteten Grundlagen resultieren und den Ausgangspunkt für die anschließende Entwicklung des Lösungsansatzes bilden.*

### 3.1 Methodische Produktentwicklung

Die Entwicklung eines Produktes erfolgt keineswegs im Rahmen eines einzigen Arbeitsschrittes, sondern innerhalb vieler kleiner Schritte, die von den jeweiligen Entwicklern entsprechend geplant und koordiniert werden müssen (FELDHUSEN & GROTE 2013a, S. 11). Die Abfolge dieser Arbeitsschritte bildet den Entwicklungsprozess, der abhängig von der Zahl an beteiligten Entwicklern mitunter eine hohe Komplexität aufweisen kann. Die methodische Produktentwicklung zielt darauf ab, den Entwicklungsprozess in logisch abgrenzbare Phasen mit entsprechenden Arbeitsschritten und Zwischenergebnissen (Anforderungsliste, Funktionsstruktur etc.) zu unterteilen, um diese Komplexität beherrschen zu können und damit die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, die Entwicklungsaufgabe erfolgreich zu bearbeiten (EISENBART ET AL. 2011; MAFFIN 1998). Für die Planung und Durchführung der einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses existieren diverse Vorgehensmodelle, die in der Regel eine spezifische Disziplin (z. B. Maschinenbau, Mechatronik oder Softwareentwicklung) fokussieren. Konkret stellen Vorgehensmodelle, die in der Literatur auch als Entwicklungsmethodiken bezeichnet werden, dem Produktentwickler logische Abhängigkeiten zwischen den Entwicklungsphasen und Arbeitsschritten dar und empfehlen geeignete Methoden für die systematische und zielgerichtete Durchführung einzelner Arbeitsschritte (BENDER & GERICKE 2016, S. 413; LINDEMANN 2009, S. 33). Im Folgenden werden sowohl ausgewählte Vorgehensmodelle als auch Methoden vorgestellt, die für den Kontext dieser Arbeit relevant sind.

#### 3.1.1 Phasenorientierte Vorgehensmodelle

Ein Modell dient allgemein dazu, einen unübersichtlichen Gegenstand zweckorientiert zu vereinfachen, indem das Wesentliche vom Unwesentlichen getrennt wird, um ihn besser verstehen und bearbeiten zu können (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 21). Übertragen auf den Kontext der Vorgehensmodelle, verfolgen diese das Ziel, dem Entwickler zielorientiert

aufzuzeigen, welche Arbeitsschritte er in welcher Situation und Reihenfolge durchzuführen hat, um mit vertretbarem Aufwand ein qualitativ hochwertiges Ergebnis zu erzielen (LINDEMANN 2009, S. 33).

Im Bereich der Produktentwicklung existiert heute eine Reihe von Vorgehensmodellen, die sich inhaltlich zum Teil stark überschneiden (vgl. u. a. EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 327 ff.; FELDHUSEN & GROTE 2013b, S. 11; ULRICH & EPPINGER 2011; ANDREASEN & HEIN 2000; ROTH 2000, S. 24). Der Verein Deutscher Ingenieure hat 1994, mit der VDI-Richtlinie 2221, den Versuch unternommen, auf Basis der bis dato existierenden Vorgehensmodelle (vgl. u. a. RODENACKER 1991; MÜLLER 1990, S. 123; HUBKA 1984, S. 97 ff.; ROTH 1982; PAHL & BEITZ 1977, S. 47 f.; KOLLER 1976, S. 16 ff.), ein allgemeingültiges, branchenunabhängiges Vorgehen für das methodische Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte zu entwickeln (VDI 1993, S. 2 f.). Der wachsenden Bedeutung mechatronischer Produkte und dem damit verbundenen starken Zusammenwirken von Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik, sollte mit der 2004 erschienenen VDI-Richtlinie 2206 Rechnung getragen werden (VDI 2004, S. 8). Stellvertretend für die Vielzahl existierender Vorgehensmodelle im Bereich der Produktentwicklung, werden die beiden VDI-Richtlinien nachfolgend kurz beschrieben und hinsichtlich ihrer Eignung für die individualisierungsgerechte Produktstrukturplanung bewertet.

### Methodik zum Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221

Die VDI-Richtlinie 2221 beschreibt ein Vorgehen zum Entwickeln und Konstruieren, das sich in sieben Arbeitsabschnitte gliedert, die zu Entwicklungs- bzw. Konstruktionsphasen zusammengefasst werden (siehe Abbildung 3-1). Die Arbeitsabschnitte werden je nach Entwicklungsaufgabe teilweise, vollständig oder mehrmals iterativ durchlaufen (VDI 1993, S. 9).

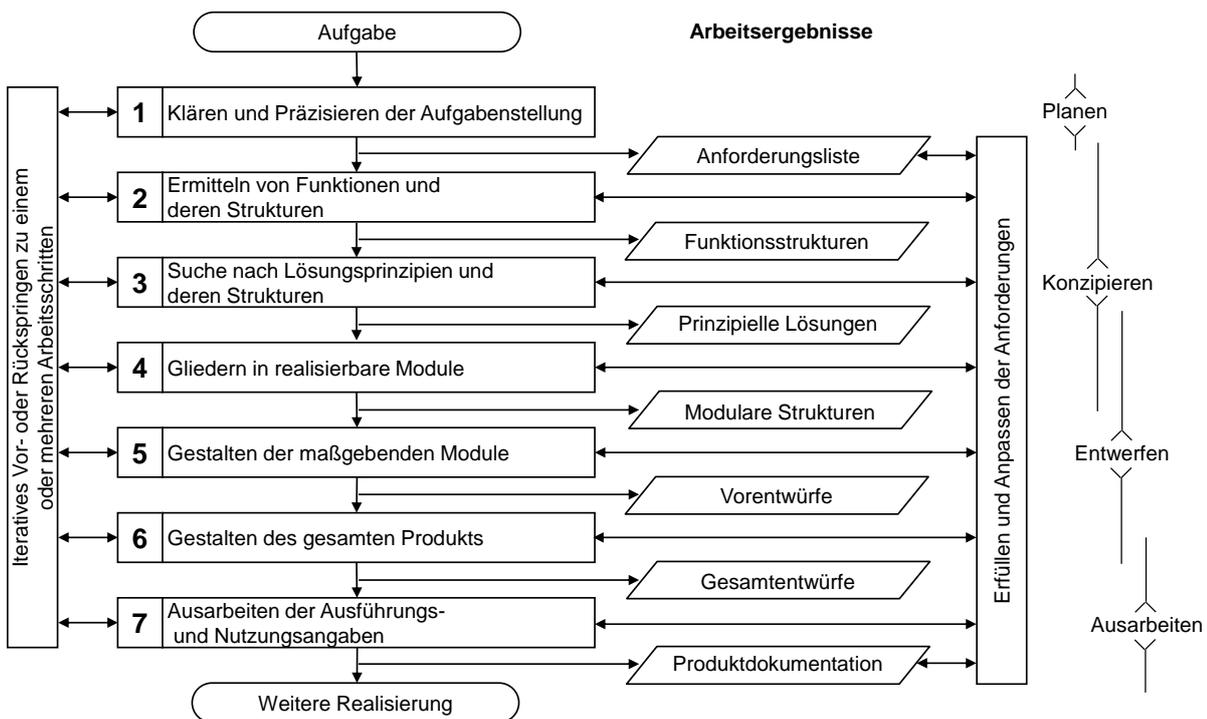


Abbildung 3-1: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren (VDI 1993, S. 9)

Der erste Arbeitsabschnitt dient der Klärung und Präzisierung der, von den Kunden oder der Projektplanung, formulierten Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt. Das Arbeitsergebnis ist die Anforderungsliste, die für alle folgenden Abschnitte eine begleitende Informationsgrundlage repräsentiert und damit stets aktuell zu halten ist. Im darauffolgenden Arbeitsabschnitt erfolgt das Ermitteln der zu erfüllenden Produktfunktion sowie wesentlicher Teilfunktionen. Auf Basis der damit generierten Funktionsstruktur, werden im dritten Arbeitsabschnitt Lösungsprinzipien für die Realisierung der ermittelten Teilfunktionen gesucht und anschließend zu einer Wirkstruktur verknüpft. Das Arbeitsergebnis des dritten Arbeitsabschnittes sind prinzipielle Lösungen für die Realisierung der einzelnen Teilfunktionen, die im darauffolgenden Arbeitsabschnitt in realisierbare Module gegliedert werden. Das Arbeitsergebnis des vierten Abschnittes ist eine modulare Struktur, die wesentliche Teilsysteme und deren Schnittstellen bereits erkennen lässt. Insbesondere bei komplexen Produkten ist diese Form der Produktmodularisierung notwendig, um Konstruktionsarbeiten effizient aufteilen und Entwicklungsschwerpunkte besser erkennen zu können (RICHTER 1984). In den Arbeitsabschnitten fünf und sechs werden die Produktmodule konstruktiv gestaltet, so dass schlussendlich ein Arbeitsergebnis in Form eines Gesamtentwurfs entsteht, der alle wesentlichen Festlegungen der Produktgestalt enthält. Im abschließenden siebten Arbeitsabschnitt werden die Ausführungs- und Nutzungsangaben (Produktdokumentation) ausgearbeitet, so dass die Fertigung und Montage des Produktes erfolgen kann (VDI 1993, S. 9 ff.).

Die VDI-Richtlinie 2221 legt den Schwerpunkt des Vorgehens beim Entwickeln und Konstruieren auf die Konzeption und Gestaltung neuer Produkte. Die Relevanz einer Produktstrukturplanung während der Konzeptionsphase wird zwar betont und durch Beispielanwendungen verdeutlicht, allerdings werden dem Entwickler dafür keine detaillierten Arbeitsschritte oder Methoden zur Verfügung gestellt.

### **Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme nach VDI 2206**

Die VDI-Richtlinie 2206 beschreibt ein praxisorientiertes Vorgehen für die systematische Entwicklung mechatronischer Systeme, die per Definition ein synergetisches Zusammenwirken der Fachdisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik erfordern (VDI 2004, S. 2). Ausgehend von domänenübergreifenden Anforderungen, wird das mechatronische System gemeinsam von Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik entworfen (abwärts gerichteter Schenkel des V-Modells in Abbildung 3-2). Dabei wird das Gesamtsystem in Teilsysteme zerlegt und entsprechende Wirkprinzipien gesucht. Im Anschluss erfolgt der domänenspezifische Entwurf und damit die Konkretisierung und Ausarbeitung der einzelnen Teilsysteme für die Fachdisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik. In der letzten Phase der Entwicklungsmethodik werden die einzelnen Teilsysteme zu einem Gesamtsystem integriert (aufwärts gerichteter Schenkel des V-Modells in Abbildung 3-2). Innerhalb dieser Entwicklungsphase erfolgt eine umfangreiche Eigenschaftsabsicherung, indem das Verhalten des Gesamtsystems analysiert und hinsichtlich der Erfüllung der domänenübergreifenden Anforderungen bewertet wird. In der Regel wird die Entwicklungsmethodik mehrmals durchlaufen, um den Konkretisierungsgrad des mechatronischen Systems von ersten Funktionsmustern, über Vorserienprodukte bis hin zum Serienprodukt zu steigern.

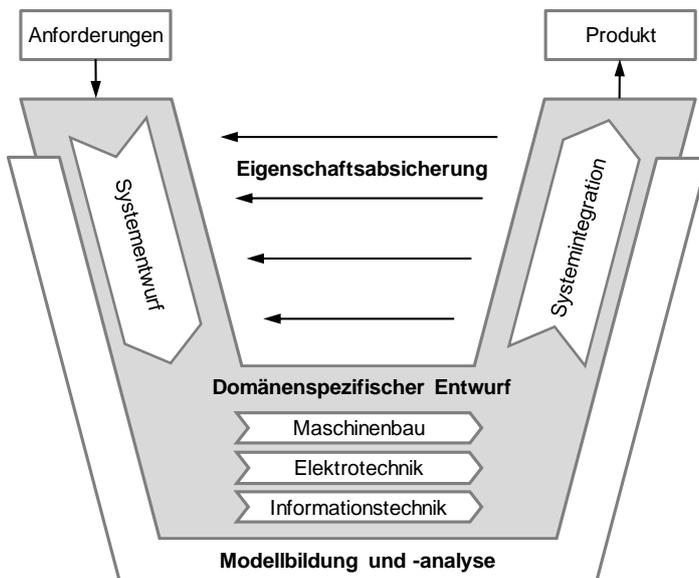


Abbildung 3-2: V-Modell zur Beschreibung des generellen Vorgehens beim Entwickeln mechatronischer Systeme (VDI 2004, S. 29)

Die Entwicklungsmethodik nach VDI 2206 betont die Wichtigkeit eines Systementwurfs, der bei komplexen mechatronischen Systemen von den Fachdisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik gemeinsam durchzuführen ist. Auch die abschließende Phase der Systemintegration ist gemeinsam durchzuführen, um die notwendige Eigenschaftsabsicherung des Systems zu gewährleisten. Auch bei der Strukturplanung selbstindividualisierter Produkte, sind Anforderungen unterschiedlicher Fachdisziplinen zu berücksichtigen. Die VDI-Richtlinie 2206 lässt allerdings offen, auf welche Weise und mit Hilfe welcher Methoden dies im Detail erfolgen sollte. Darüber hinaus ist der domänenspezifische Entwurf der einzelnen Teilsysteme kritisch anzumerken, da Erfahrungen aus der Praxis gezeigt haben, dass Integrationsabstimmungen während des gesamten Entwicklungsprozesses notwendig sind (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 284).

### 3.1.2 „Design for X“-Richtlinien

Phasenorientierte Vorgehensmodelle erheben den Anspruch, dem Produktentwickler ein allgemeingültiges Vorgehen zur Entwicklung und Konstruktion von Produkten bereitzustellen. Wie DÖRNER (1999) jedoch feststellt, kann es aufgrund der Vielzahl verschiedenartiger Einflussfaktoren, kein ideales Vorgehen für alle denkbaren Entwicklungssituationen geben. Folglich ist jeder Entwickler dazu angehalten, das eigene Vorgehen an die jeweilige Entwicklungssituation anzupassen, um die Entwicklungsaufgabe erfolgreich zu bewältigen. Laut EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013) wird eine Entwicklungssituation maßgeblich durch die Art der Hauptforderung an das zu entwickelnde Produkt gekennzeichnet. Diese kann z. B. (übernommen aus EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 278):

- die Produktfunktionen,
- die Sicherheit bei gegebener Funktion und bekanntem Produkt,

- das Gewicht oder die Baugröße (Leichtbau)
- das Erscheinungsbild (Industrial Design) oder auch
- die Herstellkosten (kostengünstig Konstruieren) betreffen

Unter dem Begriff „Design for X“ (DfX) finden sich in der Literatur eine Vielzahl von Methoden und Vorgehensweisen, die Entwickler bei der Bewältigung solcher Hauptanforderungen unterstützen sollen. Die oben aufgeführten Beispiele repräsentieren lediglich einen Bruchteil der Vielfalt möglicher X im DfX-Umfeld. Weitere können u. a. den Schriften von LINDEMANN (2007) und HUANG (1996, S. 1) entnommen werden. EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 287) weisen darauf hin, dass bei der Berücksichtigung unterschiedlicher Hauptforderungen weniger das Vorgehen, als vielmehr das Beschaffen der notwendigen Informationen ausschlaggebend ist.

Nach Ansicht von LINDEMANN (2007) adressieren die meisten DfX-Richtlinien späte Phasen des Entwicklungsprozesses, wie beispielsweise die Produktgestaltung und kaum frühe Phasen, wie beispielsweise die Produktstrukturplanung.

### 3.1.3 Methoden zur Übersetzung von Kundenanforderungen

Die Identifikation relevanter Kundenanforderungen sowie die anschließende Übersetzung dieser Anforderungen in konkrete Produktmerkmale sind elementare Herausforderungen während des Entwicklungsprozesses. Entwickler stehen häufig vor dem Problem, Bedürfnisse von meist unbekanntem Kunden zu antizipieren (GRANDE 2011, S. 27; WESTKÄMPER 1997, S. 29 ff.), was wiederum eine wesentliche Motivation für die Entwicklung selbstindividualisierbarer Produkte darstellt. Für die damit einhergehende Anpassung der Produktstruktur ist es jedoch notwendig, die Individualisierungsbedarfe der Kunden nach deren Identifikation zu übersetzen und die davon betroffenen Produktkomponenten abzuleiten (vgl. Abschnitt 1.3). Im Bereich der Anforderungsklä rung existiert bereits eine Vielzahl von Methoden, die den Entwickler bei der Durchführung derartiger Übersetzungen unterstützen. Im Rahmen dieses Abschnittes werden die Methoden vorgestellt, die für den Kontext der vorliegenden Arbeit relevant sind.

#### **Quality Function Deployment (QFD)**

Marktkonforme Produkte sind der Grundstein für einen langfristigen, wirtschaftlichen Unternehmenserfolg (REINHART ET AL. 1996, S. 53). Diese Aussage aus den 90er Jahren ist heute aktueller denn je. Vor dem Hintergrund einer steigenden Produktivität und einer zunehmenden Sättigung der Märkte, können Unternehmen nur dann erfolgreich sein, wenn sie auf die Stimme des Kunden hören (BEUMERS 1993, S. 32). Das setzt natürlich eine intensive Beschäftigung mit den Kundenanforderungen während des gesamten Entwicklungsprozesses voraus. Daraus lässt sich der Bedarf nach einer unternehmensweiten, transparenten Kommunikation und Dokumentation der relevanten Kundenanforderungen ableiten.

Die von AKAO (1990) erstmals in den 1960er Jahren in Japan eingeführte Methode des „Quality Function Deployment“ (QFD) bedient diesen Bedarf in Form einer durchgängigen Vermittlung der Kundenwünsche für die Planung entsprechender Unternehmensprozesse. Grundlegender Ansatz ist dabei die Verbindung verschiedener Begriffswelten, Unternehmensbereiche und Entwicklungsphasen über Matrizen. Die Matrizen können dabei für das Herleiten, Aufbereiten und

Dokumentieren von Abhängigkeiten, Einflüssen und Zielkonflikten verwendet werden (REINHART ET AL. 1996, S. 55). Auf diese Weise ist die „Stimme des Kunden“ stets Maßstab für sämtliche Entscheidungen während der Produktentwicklung (vgl. EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 240; REINHART ET AL. 1996, S. 62).

Das prinzipielle Vorgehen beim QFD ist geprägt von Was-Wie-Fragestellungen. Was braucht, fordert oder benötigt der Kunde (Ziel) und wie kann es realisiert, bereitgestellt oder damit umgegangen werden (Umsetzung). Für die Entwicklung marktkonformer Produkte und die dafür notwendige Verknüpfung von Ziel und Umsetzung, stellt QFD ein matrixbasiertes Arbeitsschema zur Verfügung (siehe Abbildung 3-3). Dabei werden zunächst die aus Kundensicht formulierten Anforderungen strukturiert und mit Hilfe des „House of Quality“ in quantifizierbare Qualitätsmerkmale übersetzt (vgl. SAATWEBER 2007, S. 197 ff.; GRIFFIN & HAUSER 1993; AKAO 1990). Diese Qualitätsmerkmale bilden den Ausgangspunkt für die anschließende Festlegung erforderlicher Produktmerkmale über verschiedene Konkretisierungsstufen (z. B. Funktionen, Baugruppen und Einzelteile) hinweg. Die Stufen sind produkt- und entwicklungsprozessabhängig und müssen daher stets auf den Kontext des jeweiligen Unternehmens angepasst werden (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 242).

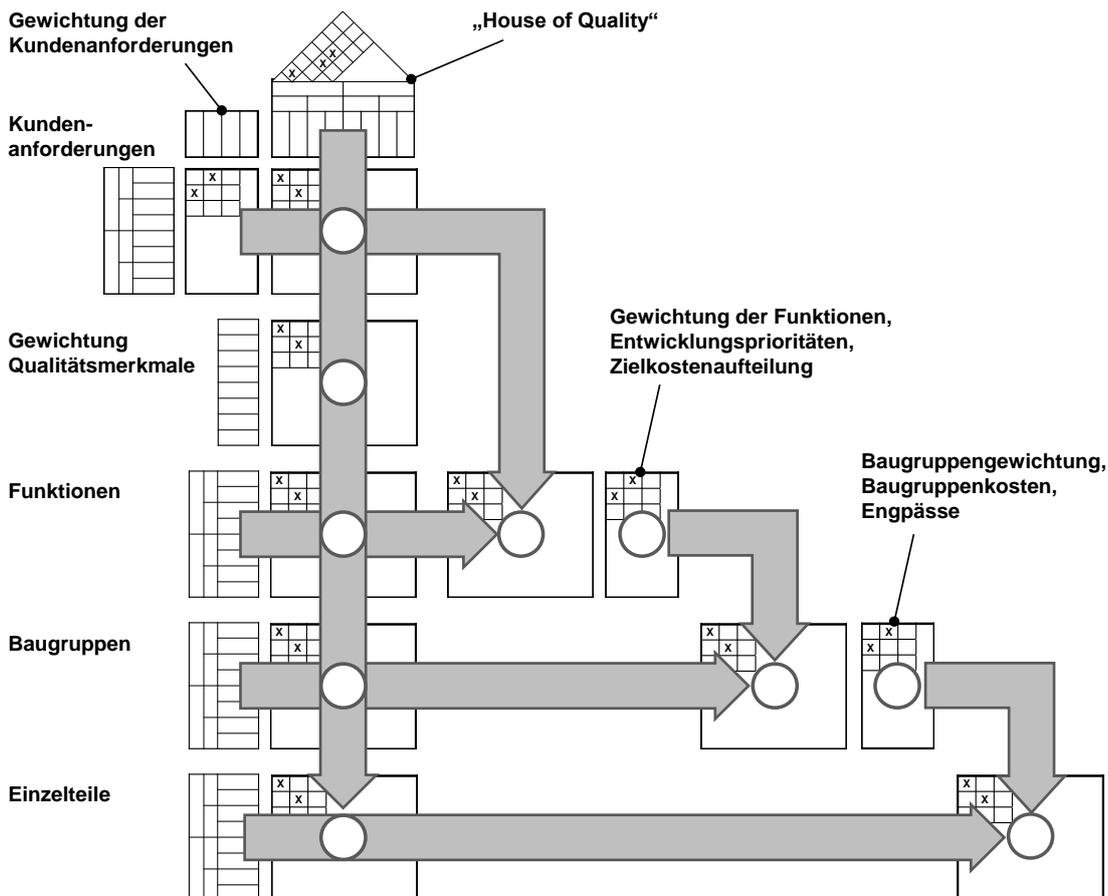


Abbildung 3-3: QFD-Matrizen zur systematischen Übersetzung von Kundenanforderungen in Produkt- und Bauteileigenschaften (nach REINHART ET AL. 1996, S. 60 und EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 243)

QFD ist eine weit verbreitete und etablierte Methode zur durchgängigen Übersetzung von „unscharfen“ Kundenanforderungen in konkrete Produktmerkmale. Ausgehend von einem bereits bestehenden Produkt, unterstützt die matrixbasierte Methode Entwickler u. a. dabei, im Falle geänderter Kundenanforderungen, die entsprechend davon betroffenen Produktfunktionen und -komponenten strukturiert zu identifizieren.

## Axiomatic Design

Axiomatic Design ist eine Methode zum strukturierten Entwurf von beliebigen Systemen (z. B. technisches Produkt, Software), die Ende der 1970er Jahre von SUH (2001) entwickelt wurde und insbesondere im amerikanischen und asiatischen Raum weit verbreitet ist. Das Grundprinzip der Methode basiert auf der Unterscheidung von Anforderungen (Was soll erreicht werden?) und korrespondierenden Lösungen (Wie soll es erreicht werden?) (FIEGE 2009, S. 35). Dazu definiert SUH (2001, S. 10 ff.) vier Domänen, die mit Hilfe bestimmter Vektoren beschrieben werden.

Wie in Abbildung 3-4 dargestellt, werden in der Kundendomäne die Anforderungen (KA) abgebildet, die aus Sicht der Kunden an das zu entwickelnde System bestehen. Die Funktionale Domäne beinhaltet die funktionalen Systemanforderungen (FA), die aus Sicht des Entwicklers notwendig sind, um die Kundenanforderungen zu erfüllen. In der Physischen Domäne werden entsprechende Designparameter (DP) zur Realisierung der funktionalen Anforderungen beschrieben. Schlussendlich werden in der Prozessdomäne die notwendigen Prozessvariablen (PV) zur Umsetzung der Designparameter beschrieben. Die Zuordnung der Domänenvektoren erfolgt über Matrizen. Gemäß SUH (2001, S. 21) soll das Konzept der Domänen wesentlich dazu beitragen, aufwendige Iterationen bei der Systementwicklung zu vermeiden.

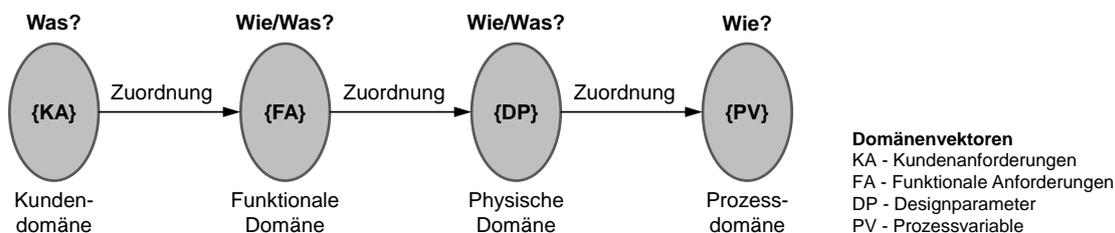


Abbildung 3-4: Domänen-Prinzip des Axiomatic Design nach SUH (2001, S. 11)

Zusätzlich zu den vier Domänen beschreibt SUH (2001, S. 16 ff.) im Rahmen des Axiomatic Design zwei unabhängige Axiome, die ein guter Systementwurf erfüllen sollte. Dabei handelt es sich um das Unabhängigkeitsaxiom (Independence Axiom) und das Informationsaxiom (Information Axiom). Das Unabhängigkeitsaxiom fordert, dass die funktionalen Anforderungen unabhängig voneinander, durch die Zuordnung eines Designparameters erfüllt werden sollen. Damit liegt eine eindeutige hierarchische Abhängigkeit vor, die wiederum eine eindeutige Determinierung des Systementwurfs ermöglicht. SUH (2001, S. 16 ff.) spricht dabei vom sogenannten „decoupled“ oder „uncoupled design“. Das Informationsaxiom dient dazu, im Falle mehrerer Gestaltungsalternativen, diejenige auszuwählen, die aus Sicht der Funktionserfüllung die größte Wahrscheinlichkeit aufweist, alle funktionalen Anforderungen zu befriedigen. Ausgehend von diesen beiden Axiomen leitet SUH (2001) weiterführende Regeln zur erfolgreichen

Systemgestaltung ab. Der Ansatz des Axiomatic Design wurde bis heute in den unterschiedlichsten Bereichen adaptiert und weiterentwickelt (vgl. u. a. FARID & SUH 2016; WU ET AL. 2012; FAVARO 2008; ULLAH 2005).

Das Axiomatic Design besitzt aufgrund des matrixbasierten Ansatzes prinzipiell großes Potential hinsichtlich der systematischen Übersetzung von Kundenanforderungen in entsprechende Designparameter komplexer Produkte. Im Falle sich ändernder Anforderungen an ein bereits bestehendes Produkt, wird demzufolge auch die Identifikation der davon betroffenen Produktkomponenten unterstützt. Die praktische Anwendung des Axiomatic Design hat jedoch gezeigt, dass die Methode insbesondere bei komplexen Produkten mit einer Vielzahl von Anforderungen und Komponenten schnell unhandlich wird (BAUMBERGER 2007, S. 77).

## 3.2 Entwicklung von Produktarchitekturen

### 3.2.1 Definition und Klassifizierung von Produktarchitekturen

Das vorherrschende, allgemeine Verständnis des Produktarchitektur-Begriffes geht ursprünglich auf eine Definition von ULRICH (1995) zurück. Er definiert die Architektur eines Produktes als die Anordnung von Funktionselementen, die Zuordnung dieser Elemente zu physischen Komponenten sowie die Spezifikation von Schnittstellen zwischen interagierenden physischen Elementen. Diese Definition beruht auf dem Verständnis, dass die Aufgabe der Entwicklung darin besteht, geforderte Produktfunktionen unter Berücksichtigung einschränkender Randbedingungen in ein entsprechendes Produkt umzusetzen (GÖPFERT 2009, S. 77).

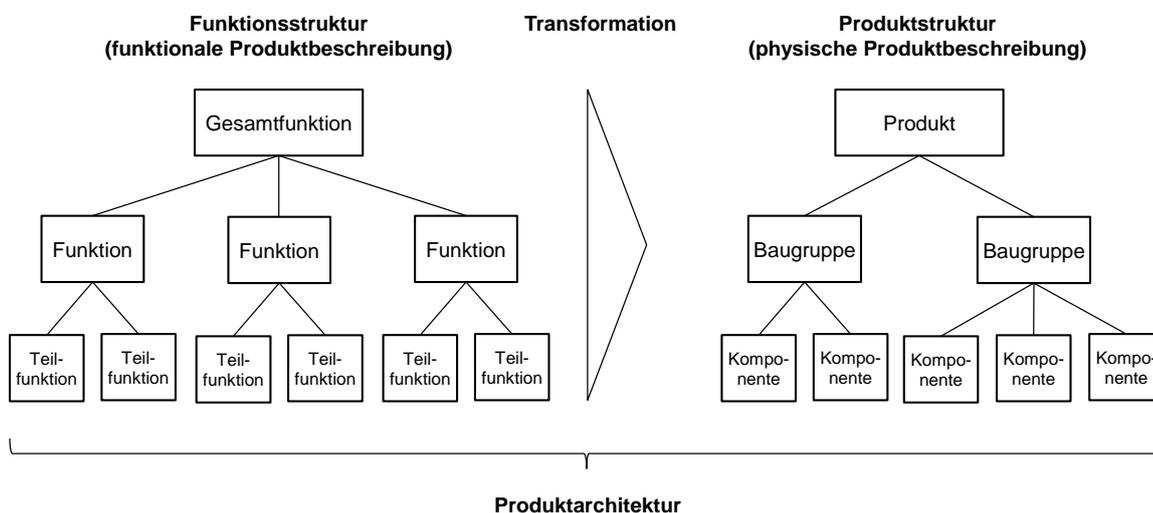


Abbildung 3-5: Produktarchitektur als Definition der Funktions- und Produktstruktur sowie deren Transformationsbeziehung (FELDHUSEN ET AL. 2013c, S. 256)

Die Produktarchitektur setzt sich, wie in Abbildung 3-5 dargestellt, aus den folgenden drei Bestandteilen zusammen (übernommen aus FELDHUSEN ET AL. 2013c, S. 255 ff.):

- **Funktionsstruktur** – Dekomposition der Gesamtfunktion des Produktes in Teilfunktionen und deren Beziehungen
- **Produktstruktur** – physische Zusammensetzung der Komponenten eines Produktes
- **Transformation** – Zusammenhang zwischen den Teilfunktionen und den physischen Komponenten eines Produktes

Ein Produkt lässt sich sowohl aus der physischen als auch aus der funktionalen Perspektive beschreiben (FELDHUSEN ET AL. 2013c, S. 255). Aus funktionaler Perspektive werden mittels der Funktionsstruktur Teilfunktionen und deren Beziehungen beschrieben, die notwendig sind, um die geforderte Gesamtfunktion des Produktes zu realisieren. Die Gesamtfunktion wird dabei so lange in immer detailliertere Teilfunktionen dekomponiert, bis deren Transformation in physische Komponenten möglich wird. Die physische Perspektive beschreibt anhand der Produktstruktur, durch welchen technisch-physischen Produktaufbau die einzelnen Teilfunktionen erfüllt werden (GÖPFERT 2009, S. 78). Dabei ist es durchaus möglich, dass eine Produktkomponente mehrere Teilfunktionen bzw. mehrere Produktkomponenten eine Teilfunktion erfüllen (ULRICH 1995).

Neben der Produktarchitektur hat sich GÖPFERT (2009, S. 12 ff.) intensiv mit dem Begriff der Systemarchitektur auseinandergesetzt, der sowohl die hierarchische Struktur eines Systems (z. B. Produkt oder Organisation) als auch die Beziehungen zwischen dessen Elementen beschreibt (siehe Abbildung 3-6).

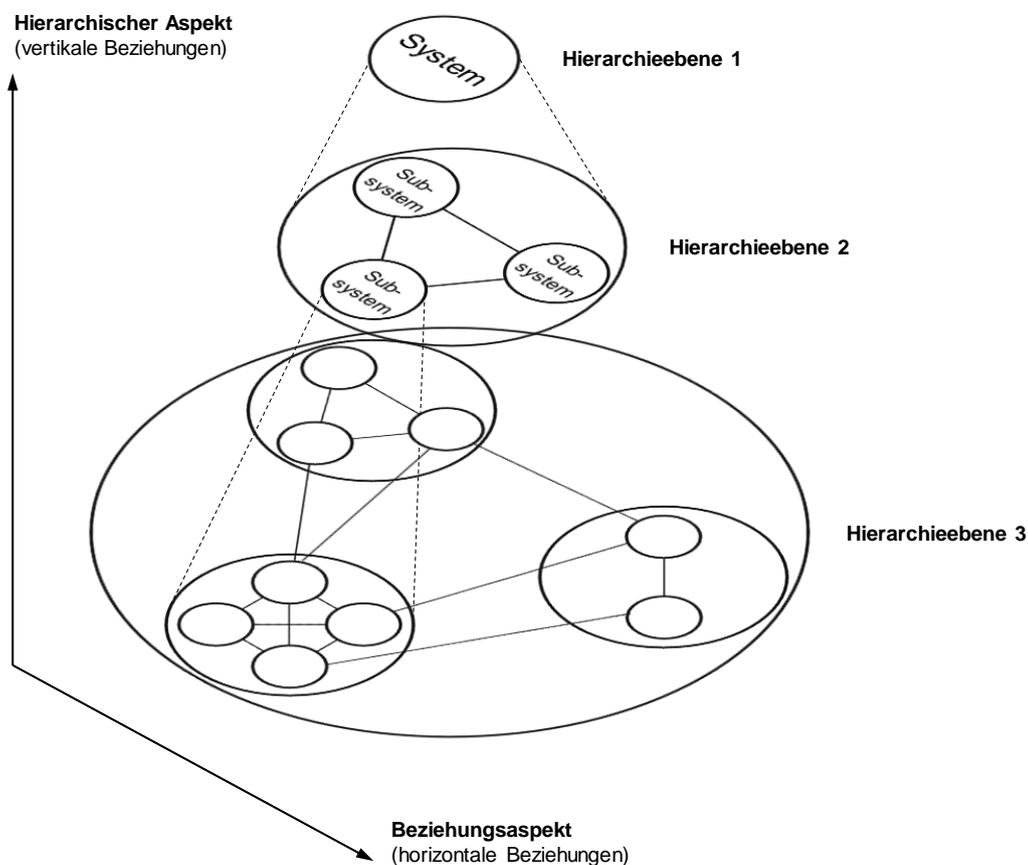


Abbildung 3-6: Systemarchitektur, definiert durch Beziehungsstruktur und hierarchische Struktur (in Anlehnung an GÖPFERT 2009, S. 23)

Der hierarchische Aspekt beschreibt dabei die vertikalen Beziehungen zwischen Elementen unterschiedlicher Hierarchieebenen während der Beziehungsaspekt die horizontalen Beziehungen zwischen Elementen der gleichen Hierarchieebene beschreibt. Auch die Funktions- und Produktstruktur sind durch einen hierarchischen Aspekt und einen Beziehungsaspekt gekennzeichnet (GÖPFERT 2009, S. 98 ff.). Die vertikalen Beziehungen zwischen den funktionalen und physischen Elementen unterschiedlicher Hierarchieebenen lassen sich beispielsweise mittels Relationen, wie „gehört zu“ oder „ist Teil von“ beschreiben. Die horizontalen Beziehungen zwischen den dekomponierten Produktkomponenten und -funktionen innerhalb einer Hierarchieebene lassen sich wiederum mit Hilfe der allgemeinen Charakteristika „Art“, „Richtung“ und „Intensität“ beschreiben (GÖPFERT 2009, S. 99 ff.). Jedoch ist dabei eine differenziertere Betrachtung der Beziehungen notwendig, wie Tabelle 3-1 zeigt.

Tabelle 3-1: Unterscheidung zwischen dem Hierarchischen Aspekt (vertikale Beziehungen eines Systems) und dem Beziehungsaspekt (horizontale Beziehungen eines Systems) nach GÖPFERT (2009, S. 21 und S. 97 ff.)

	Beziehungstyp	Funktionsstruktur	Produktstruktur
Hierarchischer Aspekt	Vertikale Beziehungen zwischen zwei Hierarchieebenen eines Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logische Zugehörigkeitsverhältnisse: „gehört zu“ oder ist „Teil von“</li> </ul>	
Beziehungsaspekt	Horizontale Beziehungen innerhalb einer Hierarchieebene eines Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>Input-Output-Beziehungen bzw. Flussbeziehungen (Stoff-, Energie-, Signalfuss)</li> <li>Abstrakte Beziehungen (z.B. logische oder zeitliche Zusammenhänge)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Physische Schnittstellen (ermöglicht Fluss von Stoff, Energie und Signalen)</li> <li>Abstrakte Beziehungen (räumliche Nähe, funktionale oder gestalterisch-ästhetische Beziehung)</li> </ul>

Die Funktionsstruktur umfasst sowohl die Dekomposition der geforderten Gesamtfunktion in Teilfunktionen über mehrere Hierarchieebenen hinweg (hierarchischer Aspekt) als auch die Beziehungen zwischen den Teilfunktionen einer Hierarchieebene (Beziehungsaspekt). Gemäß GÖPFERT (2009, S. 16) und FELDHUSEN ET AL. (2013c, S. 240) beschreibt eine Funktion eine eindeutige Umwandlungsbeziehung zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen. Bei den Eingangs- und Ausgangsgrößen können die folgenden Flussgrößen unterschieden werden (übernommen aus FELDHUSEN ET AL. 2013c, S. 240):

- **Stoff** – Gas, Flüssigkeit oder Festkörper
- **Energie** – z. B. Kräfte, Momente, Strom, Wärme
- **Signal** – z. B. Messgrößen, Daten, Steuersignale

Innerhalb einer Hierarchieebene lassen sich die Beziehungen zwischen den Teilfunktionen demnach als materiell (Stoff), energetisch oder informatorisch (Signal) beschreiben. Neben diesen drei Flussgrößen können zudem abstrakte Beziehungen zwischen den Teilfunktionen bestehen, welche beispielsweise zeitliche oder logische Abhängigkeiten beschreiben (PATZAK 1982, S. 57 f.).

Die Produktstruktur wiederum umfasst sowohl die Dekomposition der physischen Produktkomponenten in Baugruppen und Einzelteile (hierarchischer Aspekt) als auch deren Beziehungen innerhalb einer Hierarchieebene (Beziehungsaspekt). Bei diesen Beziehungen handelt es

sich gemäß GÖPFERT (2009, S. 103 ff.) und ULRICH (1995) analog zur Funktionsstruktur um physische Schnittstellen und abstrakte Beziehungen. Physische Schnittstellen bedingen einen physischen Kontakt zwischen den beteiligten Komponenten und ermöglichen damit die Übertragung der oben beschriebenen Flussgrößen Stoff, Energie und Signal (FELDHUSEN ET AL. 2013b, S. 493 ff.). Die abstrakten Beziehungen erfordern nicht zwangsläufig einen physischen Kontakt zwischen Komponenten und lassen sich folgendermaßen unterscheiden (übernommen aus GÖPFERT 2009, S. 104 f.):

- **Funktionale Beziehung** – besteht dann, wenn Komponenten gemeinsam eine Funktion erfüllen,
- **Räumliche Nähe** – besteht beispielsweise dann, wenn Komponenten um den gleichen Bauraum konkurrieren,
- **Gestalterisch-Ästhetische Beziehung** – besteht dann, wenn Komponenten die Form und das Aussehen eines Produktes gemeinsam bestimmen.

Damit wird deutlich, dass im Rahmen der Produktstrukturdefinition eine nahezu unendliche Vielfalt, sich teilweise überlagernder Beziehungen besteht, was aus Sicht der Entwicklung, die Identifikation der wesentlichsten Beziehungen erfordert.

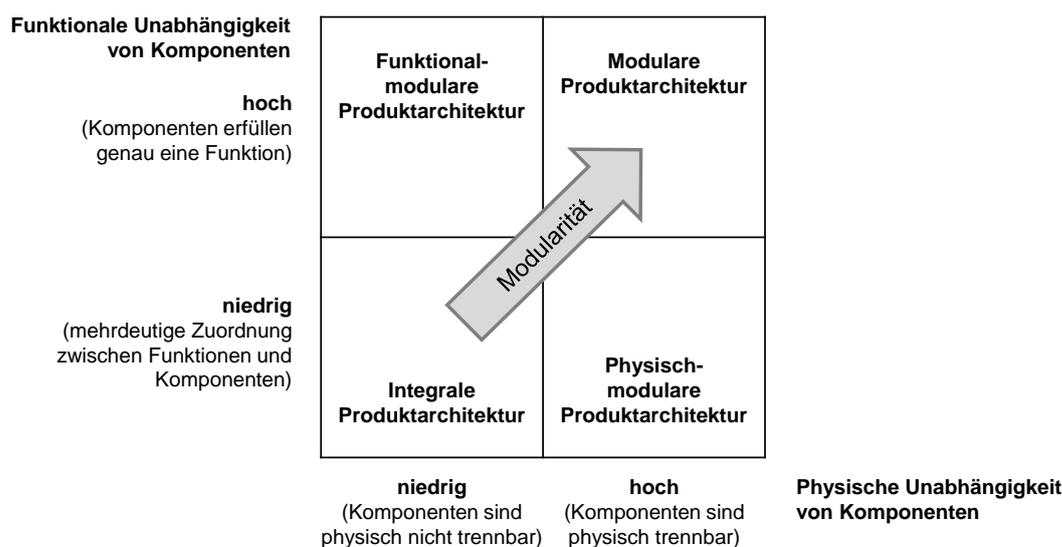


Abbildung 3-7: Klassifizierung von Produktarchitekturen (GÖPFERT 2009, S. 115)

Durch die Zusammenführung der funktionalen und physischen Sichtweise lassen sich Produktarchitekturen, wie in Abbildung 3-7 dargestellt, anhand der funktionalen und physischen Unabhängigkeit von Komponenten klassifizieren (übernommen aus GÖPFERT 2009, S. 116):

- **Modulare Produktarchitektur** – liegt vor, wenn die Komponenten des Produktes sowohl funktional als auch physisch relativ unabhängige, abgeschlossene Einheiten (sogenannte „Module“) darstellen, die jedoch als System zusammenwirken.
- **Integrale Produktarchitektur** – liegt vor, wenn die Komponenten des Produktes starke funktionale und physische Abhängigkeiten und damit physisch nicht oder nur schwer trennbare Schnittstellen aufweisen.

- **Funktional-modulare Produktarchitektur** – liegt vor, wenn die Komponenten des Produktes zwar funktional unabhängig<sup>16</sup> sind, jedoch physisch nicht oder nur schwer trennbare Schnittstellen aufweisen.
- **Physisch-modulare Produktarchitektur** – liegt vor, wenn die Komponenten des Produktes zwar physisch unabhängig<sup>17</sup> sind, jedoch starke funktionale Abhängigkeiten aufweisen und damit als System zusammenwirken.

Zur Verdeutlichung der einzelnen Produktarchitekturklassen zeigt Abbildung 3-8 eine beispielhafte, schematische Darstellung.

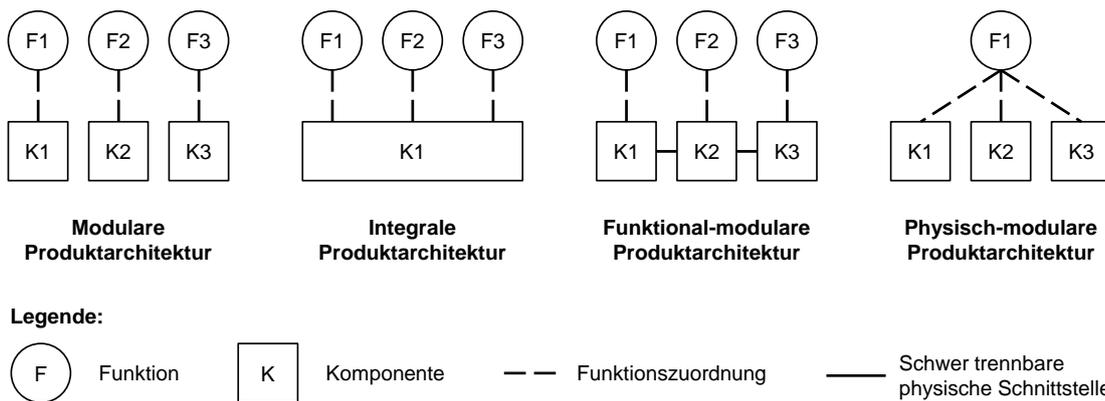


Abbildung 3-8: Schematische Darstellung der Produktarchitektur-Klassifizierung (in Anlehnung an KOLLER 1994, S. 266)

Aufgrund des graduellen Charakters der funktionalen und physischen Unabhängigkeit, ist es nicht möglich, die Produktarchitekturen trennscharf gegeneinander abzugrenzen, was lediglich eine Unterscheidung in „hoch“ und „niedrig“ zulässt (siehe Abbildung 3-7). Eine Produktarchitektur kann demzufolge als „hoch-modular“ bezeichnet werden, wenn jede Teilfunktion von genau einer Komponente erfüllt wird und die Komponenten nach Fertigstellung des Produktes noch trennbar sind (GÖPFERT 2009, S. 116; BALDWIN & CLARK 1995). In der Praxis wird ein solcher Grad an Unabhängigkeit jedoch nur selten erreicht, weshalb lediglich mehr oder weniger modulare Einheiten (sogenannte „Module“) innerhalb einer Produktarchitektur existieren (FELDHUSEN ET AL. 2013c, S. 258). GÖPFERT (2009, S. 1) definiert in Anlehnung an SIMON (1962) ein Modul als spezielles Subsystem, dessen interne Beziehungen sehr viel stärker ausgeprägt sind als die Beziehungen zu anderen Subsystemen (siehe Abbildung 3-6). Demnach lässt sich festhalten, dass eine modulare Produktarchitektur aus funktional und physisch relativ unabhängigen, abgeschlossenen Modulen besteht.

Modulare Produktarchitekturen tragen allgemein zu einer Reduktion von Unklarheiten im Entwicklungsprozess bei, die aufgrund folgender Faktoren entstehen können (übernommen aus GÖPFERT 2009, S. 57):

<sup>16</sup> Funktionale Unabhängigkeit bedeutet, dass die Produktfunktionen einzelnen Komponenten in Form einer Eins-zu-Eins-Beziehung zugeordnet werden können (vgl. ULRICH 1995, ULRICH & TUNG 1991).

<sup>17</sup> Physische Unabhängigkeit bedeutet, dass die Produktkomponenten während der Produktnutzungsphase einfach getrennt und wieder zusammengesetzt werden können (vgl. ULRICH & TUNG 1991).

- Komplexität – Hohe Elemente- und Beziehungsvielfalt,
- Neuartigkeit – Mangelnde Anwendbarkeit existierender Erfahrungen und Lösungen,
- Dynamik – Veränderung von Elementen, Beziehungen und Zielen,
- Zielunklarheit – Unpräzise, widersprüchliche Ziele.

Darüber hinaus beschreibt BLEES (2011, S. 12 ff.), dass modulare Produktarchitekturen zur Entwicklung und Strukturierung von Produktfamilien<sup>18</sup> dienen und damit aufgrund von Synergieeffekten u. a. zur Reduktion von Entwicklungsaufwänden beitragen. WILDEMANN (2014, S. 6 f.) sieht in der Entwicklung modularer Produktarchitekturen eine Grundvoraussetzung für die effiziente Gestaltung kundenindividueller Produkte. Aus diesem Grund werden im folgenden Abschnitt bestehende Methoden zur Entwicklung modularer Produktarchitekturen (Synonym: Modularisierungsmethoden) vorgestellt.

### 3.2.2 Methoden zur Entwicklung modularer Produktarchitekturen

Seit den 1990er Jahren ist die Produktmodularisierung Gegenstand intensiver Forschungsanstrengungen. Folglich finden sich in der Literatur zahlreiche Methoden zur Entwicklung modularer Produktarchitekturen (einen Überblick liefern u. a. KRAUSE & RIPPERDA 2013). Bei der Differenzierung dieser Methoden, lassen sich folgende Modularisierungsansätze unterscheiden (BLEES 2011, S. 88 ff.):

- Alle Komponenten, die untereinander starke technisch-funktionale Abhängigkeiten aufweisen, werden in einem Modul zusammengefasst.
- Alle Komponenten, die den gleichen produktstrategischen Anforderungen<sup>19</sup> unterliegen, werden in einem Modul zusammengefasst.

Neben den Methoden, die eindeutig einer dieser beiden Ansätze zugeordnet werden können, existieren Methoden, die beide Ansätze erfüllen. Im weiteren Verlauf dieses Abschnittes werden bestehende Modularisierungsmethoden vorgestellt, die folgende Kriterien erfüllen und damit hohe Relevanz für diese Arbeit besitzen (teilweise in Anlehnung an BLEES 2011, S. 19):

- 1) die Methode soll technisch-funktionale Abhängigkeiten berücksichtigen
- 2) die Methode soll produktstrategische Anforderungen berücksichtigen
- 3) die Anwendbarkeit der Methode soll nicht auf bestimmte Produkte oder Branchen eingeschränkt sein
- 4) die Methode soll dem Anwender eine durchgängige Vorgehensweise bereitstellen

In der folgenden Abbildung sind die existierenden Methoden zur Entwicklung modularer Produktarchitekturen hinsichtlich dieser vier Kriterien bewertet. Die dreistufige Bewertungsskala reicht von „vollständig erfüllt“ über „teilweise erfüllt“ bis hin zu „nicht erfüllt“. Die in der Abbildung grau hinterlegten Bewertungen entsprechen denen von BLEES (2011, S. 50) und werden vom Autor der vorliegenden Arbeit bestätigt. Eine Methode ist relevant für diese Arbeit, wenn sie alle vier Kriterien vollständig erfüllt.

---

<sup>18</sup> Bezeichnet eine Menge verschiedener Produkte, die auf ähnliche Anwendungsbereiche abzielen und sich zu diesem Zweck gemeinsam Komponenten und Funktionen teilen (GÖPFERT 2009, S. 86 ff.). Die Vertreter einer Produktfamilie werden als Produktvarianten bezeichnet (DELLANOI 2006, S. 47 ff.).

<sup>19</sup> Produktstrategische Anforderungen werden durch Modultreiber beschrieben (vgl. ERIXON 1998 S. 72 ff.).

Bewertungskriterium	Relevant für die vorliegende Arbeit	1) Berücksichtigung technischer funktionaler Abhängigkeiten	2) Berücksichtigung produkt-strategischer Abhängigkeiten	3) Unabhängig von bestimmten Branchen und Produkten anwendbar	4) Bereitstellung einer durchgehenden Vorgehensweise
Modularisierungsmethode					
Baukastenkonstruktion nach PAHL & BEITZ (1974)		●	●	●	●
Gliedern in realisierbare Module nach VDI (1993)		○	○	●	○
Development of Modular Products nach KUSIAK & SZCZERBICKI (1993)		●	○	●	●
Modularity in Design of Products and Systems nach HUANG & KUSIAK (1998)		●	●	●	●
Integration Analysis Methodology nach PIMMLER & EPPINGER (1994)		●	○	●	●
Product Architecture Design nach LANNER & MALMQVIST (1996)	✓	●	●	●	●
Modular Design Methodology nach STONE (1997)		●	○	●	●
Modularisierung nach LANGE (1998)		●	●	●	○
Modularisierung nach NEWCOMB ET AL. (1998)		●	●	○	●
Modular Function Deployment nach ERIXON (1998)		○	●	●	●
Modular Design Methodology nach ZAMIROWSKI & OTTO (1999)		●	●	●	●
Produktmodularisierung nach GU & SOSALE (1999)		○	●	●	●
Erweiterung der Modular Function Deployment nach STAKE (2000)		○	●	●	●
Entwicklung modularer Produktarchitekturen nach GAUSEMEIER & RIEPE (2000)		●	○	●	○
Modularisierung nach BLACKENFELT (2001)	✓	●	●	●	●
Modular Engineering nach KOPPENHAGEN (2004)	✓	●	●	●	●
Produktstrukturierung nach STEFFEN (2007)		●	●	●	●
Modularisierung nach KOEPPEN (2008)		●	●	●	●
Multiple Domain Matrix nach LINDEMANN ET AL. (2009)		●	●	●	●
Modulare Produktentwicklung nach GÖPFERT (2009)		●	●	●	○
Entwicklung modularer Produktfamilien nach BLEES (2011)	✓	●	●	●	●

## Legende

- vollständig erfüllt
- teilweise erfüllt
- nicht erfüllt
- ✓ zutreffend

Abbildung 3-9: Bewertung der Relevanz bestehender Modularisierungsmethoden für den Fokus der vorliegenden Arbeit (in Anlehnung an BLEES 2011, S. 50)

## Product Architecture Design (PAD) nach LANNER & MALMQVIST (1996)

LANNER & MALMQVIST (1996) beschreiben eine Vorgehensweise zur Analyse und Entwicklung von Produktarchitekturen. Den Kern bildet dabei die sogenannte Lanner-Matrix (siehe Abbildung 3-10), die durch das Zusammenführen der Design Structure Matrix (DSM) von PIMMLER & EPPINGER (1994) sowie der Module Indication Matrix (MIM) von ERIXON (1998, S. 72 ff.) entstand. Damit haben LANNER & MALMQVIST (1996) versucht, sowohl die technisch-funktionalen Abhängigkeiten zwischen den Komponenten als auch deren produktstrategische Anforderungen bei der Modularisierung zu berücksichtigen.

	O1	O2	O3	O4	O5
Organ 1 O1	1 3 3	+2 0	+2 -2	+2 0	+2 0
Organ 2 O2	+2 0 0 0	9 9 3 3 3 9	+2 0 0 0		
Organ 3 O3	+2 -2 0 -1	+2 0 0 0	3 9 1 9 3 9	+1 0 0 0	
Organ 4 O4	+2 0 0 -1		+1 0 0 0	3 1 3 9 1 3 3	+2 0 0 0
Organ 5 O5	+2 0 0 0			+2 0 0 0	9 3 1 1

### Legende:

Nicht-Diagonalelemente:

Räumlich:	S	E	: Energie
Information:	I	M	: Material

Diagonalelemente:

A	B	C	D	E
F	G	H	I	J
K	L			

A: Übertragelement	G: Spezielle Prozesse
B: Technische Varianz	H: Testfähigkeit
C: Produktplan	I: Fremdbezug
D: Produktspezifikation	J: Wartung / Service
E: Designvarianz	K: Nachrüstung
F: Standardelement	L: Recycling

Abbildung 3-10: Beispiel einer „Lanner-Matrix“ – die Position A bis L repräsentiert in den Diagonal-Elementen die Modultreiber (nach LANNER & MALMQVIST 1996, S. 4)

Bei der Lanner-Matrix handelt es sich um eine DSM, deren Diagonalelemente die produktstrategischen Anforderungen der jeweiligen Komponenten in Form der bewerteten Modultreiber<sup>20</sup> enthalten. Die Nicht-Diagonalelemente hingegen enthalten die technisch-funktionalen Abhängigkeiten zwischen den Komponenten bezüglich Raum, Energie, Information und Material. Die Bildung geeigneter Module erfolgt durch eine entsprechende Umsortierung der Matrix-Zeilen und -Spalten (Clustern – siehe Abschnitt 3.5.2) hinsichtlich eines bestimmten Beziehungstyps (z. B. Energie). Die übrigen Beziehungstypen werden lediglich für die anschließende Analyse der gebildeten Module verwendet.

Die von LANNER & MALMQVIST (1996) entwickelte Modularisierungsmethode versucht die beiden Dimensionen der technisch-funktionalen Abhängigkeiten und produktstrategischen Anforderungen zu vereinen, um geeignete Module innerhalb der Produktarchitektur zu bilden. Dafür wird jedoch kein Clustering-Algorithmus (vgl. Abschnitt 3.5.2) zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus erscheint die Anwendung der Lanner-Matrix für komplexe Produkte, aufgrund der Vielzahl gleichzeitig zu berücksichtigender Abhängigkeiten und Anforderungen wenig praktikabel.

<sup>20</sup> Modultreiber bilden produktstrategische Anforderungen ab und sind Ausgangspunkt für die Bildung von Produktmodulen (ERIXON 1998, S. 65).

### Modularisierung nach BLACKENFELT (2001)

BLACKENFELT (2001, S. 41 ff.) beschreibt ein systematisches Vorgehen zur Produktmodularisierung, das gleichermaßen technisch-funktionale Abhängigkeiten und produktstrategische Anforderungen berücksichtigt. Das Fundament bilden dabei relationale Matrizen auf Basis der Design Structure Matrix (DSM) von PIMMLER & EPPINGER (1994), die eine mehrkriterielle Bewertung der Komponenten erlaubt (siehe Abbildung 3-11).

**Strategische DSM (Beispiel)**

	TS 1	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5	TS 6	
TS 1	RD CV						
	CC MB						
TS 2	-2	RD CV					
	-1	CC MB					
TS 3							
	-1						
TS 4							
	-1						
TS 5							
	2	-2	-1	-1	RD CV		
	-1	2	-1	-1	CC MB		
TS 6							
	1	-1	-1	-1	1	RD CV	
	1	-2	-1	-1	-1	-2	CC MB

RD – Reuse vs. Develop  
 CV – Commonality vs. Variety  
 CC – Carry over vs. Change  
 MB – Make vs. Buy  
 [-2 (widersprüchlich) .. 0 (indifferent) .. 2 (unterstützend)]

**Funktionale DSM (Beispiel)**

	TS 1	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5	TS 6
TS 1	E I				2	-1
	M FP					
TS 2		E I		2	2	
		M FP				
TS 3			E I	2		2
			M FP	2		
TS 4				E I		
				M FP		
TS 5					E I	2
					M FP	
TS 6						E I
						M FP

E – Energy  
 I – Information  
 M – Material  
 FP – Beitrag zu gleicher Funktion  
 [-2 (widersprüchlich) .. 0 (indifferent) .. 2 (unterstützend)]

**Kombinierte strategische (S) und funktionale (F) DSM (geclustert)**

	TS 1	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5	TS 6
Modul 1	TS 1	F			2	-1
	S					
Modul 2	TS 2	-2	F	2	2	
	-1	S				
Modul 3	TS 3	-1	1	F	2	2
	-1	1	S	2		
	TS 4	-1	1	1	F	
	-1	2	1	S		
	TS 5	2	-2	-1	-1	F
	-1	2	-1	-1	S	
	TS 6	1	-1	-1	-1	1
	1	-2	-1	-1	-1	-2
						S

Abbildung 3-11: Modularisierung von Produktkomponenten (Synonym: Technical Solution – TS) durch Integration einer strategischen (S) und einer funktionalen (F) DSM sowie anschließendem Clustering der resultierenden, kombinierten DSM (BLACKENFELT 2001, S. 68 f.)

Aufbauend auf STAKE (2000) erfolgt die Berücksichtigung der produktstrategischen Anforderungen durch eine separate Bewertung der einzelnen Komponenten hinsichtlich ihrer physischen und zeitlichen Varianz (übernommen aus BLACKENFELT 2001, S. 67 f.):

- „Reuse“ oder „Develop“
- „Commonality“ oder „Variety“
- „Carry Over“ oder „Change“
- „Make“ oder „Buy“

Die Bewertung sieht dabei die Festlegung der Wichtigkeit (niedrig oder hoch) des jeweils zutreffenden Modultreibers vor, wobei innerhalb der gegensätzlichen Modultreiber-Paare stets nur einer zutreffen kann (siehe Beispiel für „TS 1“ und „TS 2“ in Abbildung 3-11). Anschließend wird die Kompatibilität der einzelnen Komponenten durch paarweise Gegenüberstellung der produktstrategischen Anforderungen ermittelt. Übertragen auf das Beispiel in Abbildung 3-11 verfolgen die Komponenten „TS 1“ und „TS 2“ widersprüchliche Anforderungen (Wert: -2) und sind daher hinsichtlich der Modulbildung inkompatibel. Das Ergebnis der Gegenüberstellungen wird in der strategischen DSM entsprechend dokumentiert.

Die Berücksichtigung der technisch-funktionalen Abhängigkeiten zwischen den Komponenten erfolgt durch Verwendung der funktionalen DSM gemäß PIMMLER & EPPINGER (1994). Anstelle des Kriteriums „Räumlich“ wird jedoch „Beitrag zu gleicher Funktion“ verwendet. Abschließend werden die produktstrategische und die technisch-funktionale Perspektive in der kombinierten DSM zusammengeführt und durch entsprechendes Umsortieren der Matrix-Zeilen und -Spalten geeignete Module gebildet.

Die Berücksichtigung produktstrategischer Anforderungen mit Hilfe gegensätzlicher Modultreiber-Paare lässt nach Ansicht des Autors keine ausreichende produktstrategische Differenzierung zu, wenngleich der Ansatz eine gewisse Wertschätzung verdient. Wie BLACKENFELT (2001, S. 74) selbst bemerkt, erscheint zudem eine manuelle Auswertung der relationalen Matrizen vor dem Hintergrund komplexer Produkte nicht praktikabel. Darüber hinaus schränkt die fehlende Bereitstellung eines Clustering-Algorithmus (vgl. Abschnitt 3.5.2) die Adaptierbarkeit der Modularisierungsmethode erheblich ein.

### **Modular Engineering nach KOPPENHAGEN (2004)**

KOPPENHAGEN (2004, S. 73 f.) beschreibt eine Methode, die neben produktstrategischen und technisch-funktionalen Beziehungen, gleichermaßen Kundenanforderungen für die Entwicklung modularer Produktarchitekturen berücksichtigt. Dazu werden eine modifizierte Design Structure Matrix (DSM) von PIMMLER & EPPINGER (1994), eine Module Indication Matrix (MIM) von ERIXON (1998, S. 72 ff.) sowie eine modifizierte QFD-Matrix von AKAO (1990) zu einer resultierenden Beziehungsmatrix integriert. Diese Beziehungsmatrix ist wiederum Ausgangspunkt für die abschließende Modulbildung in Folge einer optimierten Umsortierung der Matrix-Zeilen und Matrix-Spalten.

Die modifizierte DSM betrachtet neben den von PIMMLER & EPPINGER (1994) vorgeschlagenen Beziehungsarten Energie-, Material-, Informationsfluss und Räumlich, zusätzlich die Beziehungsart Kraftfluss. Alle Beziehungsarten werden entgegen dem Ansatz von PIMMLER & EPPINGER (1994) in einer konsolidierten DSM dargestellt. Die Beziehungsstärke zwischen den

Komponenten kann damit auf mehreren Beziehungsarten beruhen und einen Wert von „1“ (gering) über „3“ (gering-mittel) und „5“ (mittel-stark) bis hin zu „7“ (stark) aufweisen. Besteht keine Beziehung zwischen zwei Komponenten, bleibt das Matrixfeld aus Gründen der Übersichtlichkeit entsprechend leer.

Für die Berücksichtigung der produktstrategischen Beziehungen übernimmt KOPPENHAGEN (2004, S. 93) die MIM von ERIXON (1998, S. 72 ff.) unverändert. Wie in Abbildung 3-12 dargestellt, werden dabei die Modultreiber den Komponenten entsprechend ihrer Beziehungsstärke von „0“ (kein Treiber), „1“ (schwacher Treiber), „3“ (mittlerer Treiber) und „9“ (starker Treiber) zugeordnet.

Komponente / Modultreiber	Komponente											
	Gehäuse (GE)	Räder (RÄ)	Deckel (DE)	Motor (MO)	Kabelrolle (KA)	Chassis (CH)	Staubraum (ST)	Bedienelemente (BE)	Vibrationsdämpfer (VI)	Ventilator (VE)	Geräuschfilter (GR)	Elektr. Bauelemente (EB)
Standardelement		9		3	9				9	3	9	3
Designvarianz	9		9					9				
Technische Varianz						3	3	3				
Übertragelement				9	9					9		9
Geplante Designänderung	3		3					3				
Technologiewechsel												
Spezielle Prozesse	9	1		9		9				9		
Fremdbezug					9							
Separates Testen				9								3
Konfigurationsflexibilität												
Wartung / Instandhaltung				3			3			3		3
Recycling				9								

1 – Schwacher Treiber  
3 – Mittlerer Treiber  
9 – Starker Treiber

Abbildung 3-12: Module Indication Matrix (MIM) am Beispiel eines Staubsaugers (KOPPENHAGEN 2004, S. 94)

Mit Hilfe einer modifizierten QFD-Matrix werden darüber hinaus die Kundenanforderungen mit den Produktkomponenten in Beziehung gesetzt. Dabei wird der Beitrag der jeweiligen Komponente zur Erfüllung der Kundenanforderungen über eine entsprechende Skala bewertet. Die Werte der Skala reichen wie bei der MIM von „0“ (Komponente leistet keinen Beitrag zur Erfüllung der Kundenanforderung) über „1“ (... leistet einen geringen Beitrag ...) und „3“ (... leistet einen mittleren Beitrag ...) bis hin zu „9“ (... leistet einen starken Beitrag ...). Für die Durchführung der Modulbildung transformiert KOPPENHAGEN (2004, S. 95) die MIM und die QFD-Matrix in eine relationale Form. Mit Hilfe eines Vergleichs der Modultreiber- bzw. Kundenanforderungsprofile, wird dazu ein Beziehungswert berechnet und auf die Bewertungsskala der DSM projiziert.

Anschließend werden die relationale MIM und QFD-Matrix zusammen mit der DSM durch Aufsummieren der jeweiligen Beziehungswerte zu einer resultierenden Beziehungsmatrix

integriert (siehe Abbildung 3-13). Die Beziehungsmatrix bildet laut KOPPENHAGEN (2004, S. 95 ff.) alle relevanten Informationen für die Produktmodularisierung ab, so dass abschließend die Modulbildung durch eine optimierte Umsortierung der Matrix-Zeilen und -Spalten (Clustering) erfolgen kann.

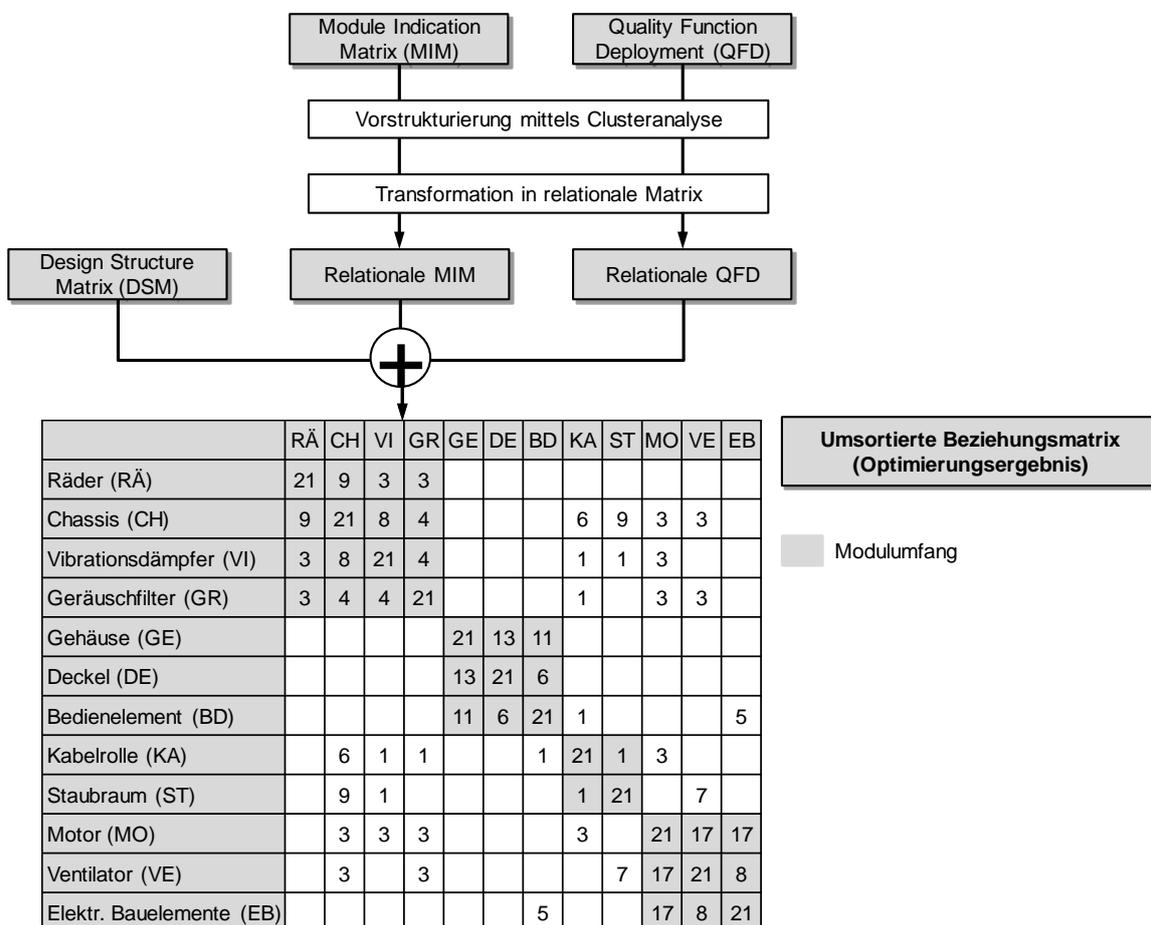


Abbildung 3-13: Zusammenführung der Betrachtungsebenen (nach KOPPENHAGEN 2004, S. 96 und S. 114)

KOPPENHAGEN (2004) liefert mit dem Modular Engineering eine Modularisierungsmethode, die neben technisch-funktionalen Abhängigkeiten und produktstrategischen Anforderungen, zusätzlich die Betrachtungsebene der Kundenanforderungen berücksichtigt. Verglichen mit den bereits vorgestellten Methoden in diesem Abschnitt, kommt das Modular Engineering dem Ziel einer ganzheitlichen Modulbildung damit am nächsten. Trotz des Risikos eines möglichen Informationsverlustes in Folge der Matrizen-Zusammenführung, verdient der Ansatz Anerkennung.

**Entwicklung modularer Produktfamilien nach BLEES (2011)**

BLEES (2011, S. 65 ff.) beschreibt eine Methode, die dem Anwender eine durchgehende Unterstützung bei der Entwicklung modularer Produktfamilien bieten soll. Die Methode gliedert sich in folgende acht Arbeitsschritte (BLEES 2011, S. 67 ff.):

- 1) **Zieldefinition** – Definition erreichbarer Ziele und Festlegung der Schwerpunkte für alle folgenden Arbeitsschritte
- 2) **Ist-Aufnahme** – Aufnahme der für die Entwicklung erforderlichen Informationen (z. B. Funktionen, Wirkprinzipien, Komponenten der Produktfamilie)
- 3) **Variantengerechte Produktgestaltung** – variantengerechte Gestaltung der Produktkomponenten basierend auf dem Variety Allocation Model (VAM)
- 4) **Technisch-funktionale Modularisierung** – Entwicklung einer technisch-funktionalen Modularisierung auf Basis von Heuristiken
- 5) **Produktstrategische Modularisierung** – Entwicklung produktstrategischer Modularisierungen für die einzelnen Produktlebensphasen
- 6) **Zusammenführung** – Zusammenführung der einzelnen Modularisierungen der verschiedenen Produktlebensphasen zu Modularisierungskonzepten
- 7) **Konzeptbewertung und -auswahl** – Bewertung und Auswahl der Modularisierungskonzepte auf Basis eines Kennzahlensystems
- 8) **Ableitung der Baustruktur** – Ableitung der Baustruktur durch Bestimmung einer geeigneten Verbindungstechnik für die einzelnen Module der verschiedenen Produktlebenszyklusphasen

Aufgrund der Zielstellung der vorliegenden Arbeit wird der Methodenteil der Modularisierung (Arbeitsschritte vier bis sechs) im Folgenden genauer betrachtet. Ausgangspunkt ist dabei die Entwicklung einer Produktstruktur, die sich aus technisch-funktional entkoppelten Modulen zusammensetzt. Anschließend werden produktstrategische Modularisierungen für die verschiedenen Produktlebensphasen entwickelt. Wie in der folgenden Abbildung verdeutlicht, hat BLEES (2011, S. 88 ff.) dazu das Modultreiberkonzept von ERIXON (1998, S. 72 ff.) um entsprechende Modultreiberausprägungen erweitert.

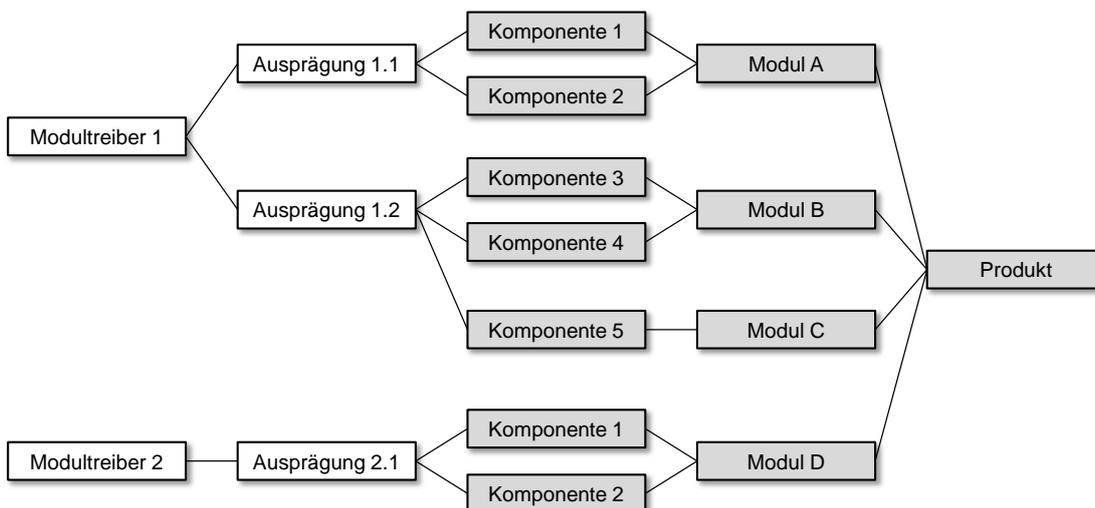


Abbildung 3-14: Beispiel eines Netzplans zur Modulbildung für eine bestimmte Produktlebensphase (BLEES 2011, S. 89)

Für die Modulbildung hat BLEES (2011, S. 99 ff.) im Rahmen des fünften Arbeitsschrittes einen Netzplan entwickelt, der die Gegenüberstellung von Modultreiberausprägungen und

Produktkomponenten ermöglicht (siehe Abbildung 3-14). Das ermöglicht die Modularisierung von Produktkomponenten (Produktstrukturierung) auf Basis gemeinsam verfolgter Modultreiberausprägungen. Im anschließenden sechsten Arbeitsschritt werden die einzelnen Produktstrukturen der verschiedenen Produktlebensphasen mit Hilfe der Module Process Chart (MPC) in einer Prozessdarstellung abgebildet (siehe Abbildung 3-15). Auf diese Weise können Widersprüche zwischen den Produktstrukturen identifiziert und die Produktmodularisierung gezielt optimiert werden.

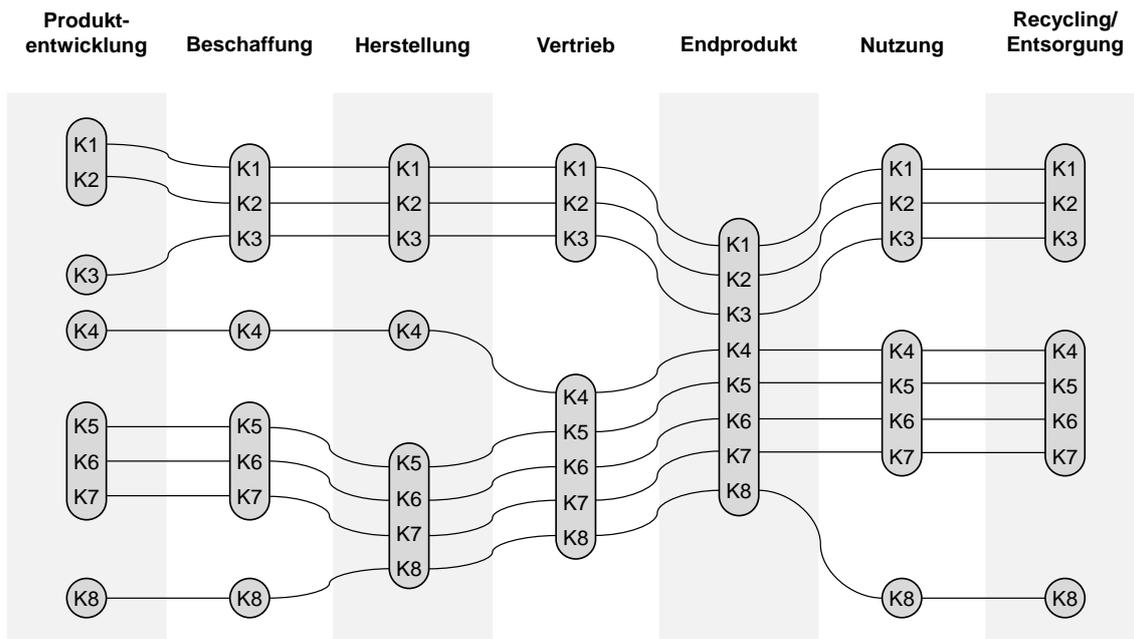


Abbildung 3-15: Beispiel eines Module Process Chart (BLEES 2011, S. 102)

Die von BLEES (2011, S. 65 ff.) entwickelte Modularisierungsmethode berücksichtigt sowohl technisch-funktionale Abhängigkeiten als auch produktstrategische Anforderungen über sämtliche Produktlebensphasen hinweg und ermöglicht damit eine umfassende Berücksichtigung der Modularisierungsgründe. Die damit entwickelte Produktstruktur muss keinen unumstößlichen Kompromiss über alle Produktlebensphasen bilden, sondern kann gezielt auf die verschiedenen Phasen ausgerichtet werden. Sowohl der Netzplan als auch das Module Process Chart von BLEES (2011, S. 100) scheinen jedoch für komplexe Produkte mit einer Vielzahl von Produktkomponenten nicht geeignet. Darüber hinaus birgt die Bewertung und Auswahl der Modularisierungskonzepte auf Basis von zwei einfach aufgebauten Kennzahlen nach Ansicht des Autors die Gefahr des Informationsverlustes. Dennoch verdient die Modularisierungsmethode Anerkennung für den Ansatz einer ganzheitlichen Produktmodularisierung.

Für Erläuterungen zu den in Abbildung 3-9 aufgeführten, jedoch hier nicht vorgestellten Modularisierungsmethoden von PAHL & BEITZ (1974), VDI (1993, S. 10), KUSIAK & SZCZERBICKI (1993), HUANG & KUSIAK (1998), PIMMLER & EPPINGER (1994), STONE (1997, S. 108), LANGE (1998), NEWCOMB ET AL. (1998), ERIXON (1998, S. 65), ZAMIROWSKI & OTTO (1999), GU & SOSALE (1999), STAKE (2000), GAUSEMEIER & RIEPE (2000), STEFFEN (2007), KOEPPEN

(2008), LINDEMANN ET AL. (2009, S. 143) sowie von GÖPFERT (2009, S. 63) soll an dieser Stelle auf die entsprechende Literatur verwiesen werden.

Neben den Methoden zur Entwicklung modularer Produktarchitekturen, existieren Richtlinien, die speziell darauf abzielen, Produkte so zu entwickeln, dass sie zukünftig mit möglichst minimalem Aufwand<sup>21</sup> an geänderte oder variierende Randbedingungen (z. B. Kundenanforderungen) angepasst werden können. In der Literatur hat sich dafür der Begriff „Produktflexibilität“ etabliert (vgl. CARDIN 2014; KEESE ET AL. 2006; HAUBELT ET AL. 2002; SALEH ET AL. 2002). Auch die Planung selbstindividualisierungsgerechter Produktstrukturen geht mit der Herausforderung einher, Produktbereiche zu definieren, die während des gesamten Produktlebens kontinuierlichen (geometrischen) Änderungen unterliegen (vgl. Abschnitt 1.3). Aus diesem Grund werden im folgenden Abschnitt Richtlinien zur Entwicklung flexibler Produktarchitekturen betrachtet, die für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit relevant erscheinen.

### 3.2.3 Prinzipien zur Entwicklung flexibler Produktarchitekturen

Entwicklungsprinzipien dienen grundsätzlich der Optimierung eines Produktes und unterstützen die Produktgestaltung auf unterschiedlichen Konkretisierungsebenen (PAHL ET AL. 2013, S. 541 ff.; EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 495 ff.; PONN & LINDEMANN 2011, S. 414 ff.). In der Literatur existieren unterschiedliche Herangehensweisen zur Kategorisierung solcher Prinzipien, z. B.:

- basierend auf der **Konkretisierungsebene der Prinzipien** (BAUER 2016, S. 104) – Modul-, Transformations-, Komponenten-, Schnittstellenebene
- basierend auf dem **Ansatz der Prinzipien** (KEESE ET AL. 2007; QURESHI ET AL. 2006) Modularisierung, Komponentenreduktion, Bauraumgestaltung, Schnittstellenentkopplung, Einstellbarkeit
- basierend auf der **Wirkung der Prinzipien** (MARTIN & ISHII 2002) – Reduktion von Änderungsauswirkungen, Reduktion von Änderungsaufwänden

Die Zielstellung der vorliegenden Arbeit fokussiert ausschließlich die Modulebene und den Ansatz der Produktmodularisierung. Daher werden im weiteren Verlauf dieses Abschnittes verschiedene Methoden aufgezeigt, die entsprechende Prinzipien für die Durchführung einer zielgerichteten Produktmodularisierung bereitstellen.

#### **Design for Variety (DFV) nach MARTIN & ISHII (2002)**

MARTIN & ISHII (2002) beschreiben mit DFV eine Methode zur Entwicklung standardisierter und modularisierter Produktplattformarchitekturen. Gemäß SCHUH (2005, S. 132) handelt es sich bei Produktplattformen um eine Zusammenfassung von Komponenten, Schnittstellen und Funktionen, die über eine Produktfamilie vereinheitlicht werden können und daher zeitlich stabil sind. Damit kann die Entwicklung von Produktplattformarchitekturen als Sonderfall der Produktmodularisierung aufgefasst werden (PONN & LINDEMANN 2011, S. 251).

---

<sup>21</sup> Umfasst beispielsweise das Entfernen, Hinzufügen oder Modifizieren von Produktkomponenten, ohne dass daraus Änderungen an der Produktarchitektur resultieren (FERGUSON ET AL. 2007).

Die Methode basiert auf zwei zentralen Kennzahlen. Dem „General Variety Index (GVI)“, einem Indikator, der angibt, welche Produktkomponenten im Laufe der Zeit wahrscheinlich angepasst werden müssen. Und dem „Coupling Index (CI)“, einer Maßzahl für den Vernetzungsgrad der Komponenten innerhalb eines Produktes. Die Methode besteht aus folgenden vier Schritten:

- 1) Ermittlung des produktspezifischen GVI und CI
- 2) Gegenüberstellung der Produktkomponenten auf Basis ihrer GVI und CI
- 3) Identifikation von Standardisierungs- und/oder Modularisierungsbedarfen innerhalb der Produktarchitektur
- 4) Entwicklung der Produktplattformarchitektur

Im Rahmen des vierten Schrittes stellen MARTIN & ISHII (2002) entsprechende Prinzipien zur Reduktion des GVI und CI zur Verfügung, die sich jeweils in die Kategorien „Reduktion von Änderungsaufwänden“ und „Reduktion von Änderungsauswirkungen“ einordnen lassen.

Prinzipien zur Reduktion von Änderungsauswirkungen (MARTIN & ISHII 2002, S. 224):

- Neuordnung von Funktionen zu Produktkomponenten – auf diese Weise können Produktkomponenten funktional entkoppelt und damit mögliche Auswirkungen zukünftiger Komponentenänderungen reduziert werden.
- „Einfrieren“ von Merkmalsausprägungen – durch das Einschränken von Merkmalsausprägungen (z. B. Spannungsbereich eines Netzteils) können mögliche Auswirkungen zukünftiger Komponentenänderungen reduziert werden.

Prinzipien zur Reduktion von Änderungsaufwänden (MARTIN & ISHII 2002, S. 227):

- Reduzierung der Vernetzung von Produktkomponenten – Jede Schnittstelle zwischen den Produktkomponenten birgt im Änderungsfall ein großes Risiko für Folgeänderungen. Durch das Entfernen von Schnittstellen (Reduktion der Vernetzung) kann dieses Risiko verringert und damit insgesamt Änderungsaufwände reduziert werden.
- Überdimensionierung von Produktkomponenten – Durch das gezielte Überdimensionieren von Produktkomponenten (z. B. Volumen eines Wassertanks größer auslegen als benötigt) können zukünftige Änderungen ohne zusätzliche Aufwände kompensiert werden.

Die Prinzipien zur Reduktion der GVI und CI sind sehr allgemein beschrieben und deren Anwendung wird lediglich anhand weniger Beispiele aufgezeigt. Geeignete Methoden zur Umsetzung der Prinzipien werden von MARTIN & ISHII (2002) nicht dargestellt. Darüber hinaus zielen die Prinzipien auf unterschiedliche Konkretisierungsebenen ab (maßgeblich Modul- und Komponentenebene). Angesichts dieser Defizite scheint eine Übertragung der Prinzipien auf reale Anwendungsfälle, aus Sicht des Autors der vorliegenden Arbeit, durchaus herausfordernd und erfordert von dem Anwender eine nicht unerhebliche Transferleistung.

### **Design for Flexibility nach PALANI RAJAN ET AL. (2003)**

PALANI RAJAN ET AL. (2003) haben die Methode „Change Mode and Effect Analysis (CMEA)“ zur Quantifizierung der Flexibilität von Produkten entwickelt. Für die Evaluation der CMEA haben die Autoren empirische Studien durchgeführt und konnten damit die Wirksamkeit der

Methode bestätigen. Auf Basis dieser Studien konnten PALANI RAJAN ET AL. (2003) zudem die folgenden sechs Prinzipien zur Entwicklung flexibler Produktarchitekturen identifizieren (PALANI RAJAN ET AL. 2003 ,S. 8 f.):

- Verbesserung der Entwicklungsflexibilität durch Modularisierung des Produktes
- Reduzierung von Änderungsauswirkungen durch Verringerung des Einflusses jeder einzelnen Komponente in Folge der Erhöhung der Gesamtanzahl an Komponenten
- Reduzierung von Änderungsauswirkungen durch Vergrößerung der Anzahl oder Größe von Pufferzonen
- Reduzierung des Auftretens von Änderungen durch Standardisierung von Komponenten und Schnittstellen
- Reduzierung des Auftretens von Änderungen durch Verwendung von Technologien, die keine Gefahr laufen zu veralten

Die Prinzipien sind insgesamt sehr oberflächlich beschrieben und bieten damit viel Raum für Interpretationen. Eine Darstellung geeigneter Methoden zur Umsetzung der Prinzipien bleibt aus. Eine Übertragung der Prinzipien auf reale Entwicklungssituationen ist daher, aus Sicht des Autors der vorliegenden Arbeit, nicht ohne weiteres möglich.

### **Design for Changeability (DfC) nach FRICKE & SCHULZ (2005)**

Den Aspekt der Änderbarkeit (Changeability) in Produktarchitekturen zu integrieren, war das erklärte Ziel von FRICKE & SCHULZ (2005) bei der Entwicklung des DfC-Ansatzes. Dazu haben sie Prinzipien definiert, die folgende vier Aspekte der Änderbarkeit während der Entwicklung von Produktarchitekturen adäquat berücksichtigen sollen (FRICKE & SCHULZ 2005, S. 347):

- **Robustheit** – beschreibt die Insensibilität eines Systems gegenüber veränderten Umweltbedingungen
- **Flexibilität** – beschreibt die leichte Änderbarkeit eines Systems
- **Agilität** – beschreibt die schnelle Änderbarkeit eines Systems
- **Adaptierbarkeit** – beschreibt die Selbstadaption eines Systems in Folge veränderter Umweltbedingungen

Aufgrund der erklärten Zielstellung der vorliegenden Arbeit, werden im weiteren Verlauf lediglich die Prinzipien näher betrachtet, die laut FRICKE & SCHULZ (2005, S. 348 ff.) für die Entwicklung flexibler Produktarchitekturen zu berücksichtigen sind:

- **Einfachheit / Idealität** – Reduzierung der Produktkomplexität in Folge der Reduzierung der Schnittstellen und Sekundärfunktionen sowie der Konzentration auf bestehende Ressourcen (vgl. ALTSHULLER 1984)
- **Unabhängigkeit** – Minimierung des Einflusses von Designparametern indem jede Produktfunktion durch einen unabhängigen Designparameter erfüllt wird (vgl. „Unabhängigkeitsaxiom“ von SUH 2001, S. 16 ff.)
- **Modularisierung / Einkapselung** – Aufteilung der Produktfunktionen auf verschiedene Module während die intermodularen Kopplungen minimiert und die intramodularen maximiert werden

- **Integrierbarkeit** – Verwendung generischer, einheitlicher Schnittstellen, die für alle Komponenten gültig sind, womit die Komponenten untereinander ausgetauscht werden können
- **Autonomie** – Generierung autonomer Komponenten, die über Basisfunktionalitäten verfügen, die notwendig sind, um die Autonomie gegenüber den umgebenden Komponenten zu gewährleisten
- **Skalierbarkeit** – Ermöglichung der Skalierbarkeit eines Produktes durch den Zusammenschluss mehrerer identischer Komponenten, die zusammen eine skalierbare Funktion oder Leistung bereitstellen oder einzelne Komponenten innerhalb einer Architektur können ohne Einschränkungen hoch- bzw. runterskaliert werden
- **Redundanz** – Ausführung einer Produktfunktion durch mehrere Komponenten realisieren, so dass im Änderungsfall einer Komponente keine Funktionsbeeinträchtigung erfolgen kann

Die Prinzipien sind mit Hilfe einfacher Beispiele so beschrieben, dass dem Leser, der jeweils zugrundeliegende Ansatz verdeutlicht wird. Wie FRICKE & SCHULZ (2005) in ihrer Veröffentlichung jedoch selbst feststellen, steht eine methodische Anwendungsunterstützung noch aus. Darüber hinaus wird nicht erläutert, wie der Anwender die Frage beantworten kann, in welchen Bereichen der Produktarchitektur Flexibilität tatsächlich benötigt wird. Die Antwort auf diese Frage ist nach Ansicht von FRICKE & SCHULZ (2005) stets ein Kompromiss zwischen dem Aufwand der Produktflexibilisierung und dem Nutzen, der damit über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg generiert werden kann.

### **Principles of Product Flexibility nach KEESE ET AL. (2007) / QURESHI ET AL. (2006)**

Auf Basis einer empirischen Studie des US-Patentamtes konnten QURESHI ET AL. (2006) mit Hilfe einer entsprechenden Methodik, siebzehn formale Prinzipien für die Entwicklung flexibler Produkte ableiten. Für eine einheitliche und allgemeinverständliche Formulierung der Prinzipien haben QURESHI ET AL. (2006) Analogien zu den TRIZ<sup>22</sup>-Prinzipien von ALTSHULLER ET AL. (1997) und der DFV-Methode von MARTIN & ISHII (2002) hergestellt. KEESE ET AL. (2007) konnten die Liste auf Basis einer empirischen Studie von Verbraucherprodukten, um sieben weitere Prinzipien ergänzen.

Die Prinzipien sind in fünf Ansätze unterteilt (KEESE ET AL. 2007, S. 6 und QURESHI ET AL. 2006, S. 6):

- 1) Modularisierung (Steigerung des Modularisierungsgrades eines Produktes)
  - Verwendung separater Module zur Ausführung verschiedenartiger Funktionen
  - Begrenzung von Funktionen auf einzelne Module
  - Begrenzung von Funktionen auf so wenig Komponenten wie möglich
  - Aufteilung von Modulen in mehrere kleine, identische Module
  - Zusammenfassung von Komponenten in einem Modul, für die zukünftig keine Änderungen zu erwarten sind
  - Zusammenfassung von Komponenten in einem Modul, die Funktionen der gleichen Energie-Domäne ausführen

---

<sup>22</sup> Steht sinngemäß für „Theorie des erfinderischen Problemlösens“ (ORLOFF 2006, S. VIII).

- 2) Komponentenreduktion (Reduzierung der Komponenten, die fertigungstechnischen Änderungen unterliegen)
  - Zuordnung von Funktionen zu einem Modul oder einer Komponente, wenn die Funktionen eng miteinander verwandt sind
  - weitgehende Verwendung identischer Komponenten ohne die Anzahl der Komponenten zu erhöhen
- 3) Bauraumgestaltung (Berücksichtigung zusätzlicher Funktionen sowie die Neuordnung oder Skalierung von Komponenten)
  - Generierung von zusätzlichem Bauraum an der Außenseite des Produktes, um interne Module herum und um Komponenten, die eine Nutzerschnittstelle besitzen
  - Bereitstellung freier Schnittstellen sowie umfangreiche, frei zugängliche Oberflächen für neue Schnittstellen
  - Erweiterung des verfügbaren Bauraums für die Übertragungskomponenten des Produktes
  - Anordnung der Komponenten mit zu erwartenden Änderungen in der Nähe der Außenseite des Produktes
- 4) Schnittstellenentkopplung (Reduzierung der Kommunikation zwischen Modulen und Befähigung des Produktes zur Funktionsausübung unabhängig von Orientierung, Platzierung und Anordnung seiner individuellen Module)
  - Standardisierung oder Reduzierung der Anzahl unterschiedlicher Verbinder zwischen den Modulen
  - Reduzierung der Anzahl oder vollständige Eliminierung von Verbindungen,
  - Reduzierung der Kontaktpunkte zwischen Modulen
  - Vereinfachung der Geometrie modularer Schnittstellen
  - Leitung der Energie-, Informations- und Materialflüsse in einer Art, die im Bedarfsfall eine Umgehung jedes Modules ermöglicht
  - Generierung trennbarer Module
  - Verwendung eines Rahmenkonzeptes für die Befestigung der Module,
  - Verwendung konformer Materialien
  - Vereinfachung der Geometrie jeder Komponente
- 5) Einstellbarkeit (Befähigung des Produktes zur Absorption kleiner Änderungen)
  - Kontrollieren der Abstimmung von Entwicklungsparametern
  - Vorhalten der Fähigkeit zur Speicherung oder Einspeisung überschüssiger Energie

Die Effektivität der Prinzipien wurde validiert, indem konventionell entwickelte Produkte mit Hilfe einer „Change Mode and Effect Analysis (CMEA)<sup>23</sup>“ mit Produkten verglichen wurden, die auf Basis der abgeleiteten Flexibilitätsprinzipien entwickelt wurden.

---

<sup>23</sup> Dabei handelt es sich um eine Methode zur Bestimmung der Produktflexibilität, welche an die weitverbreitete „Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)“ angelehnt ist (PALANI RAJAN ET AL. 2005; PALANI RAJAN ET AL. 2003). Das Ergebnis der CMEA ist die sogenannte „Change Potential Number (CPN)“, die Auskunft darüber gibt, wie schnell ein Produkt Änderungen absorbieren kann.

Die Prinzipien von KEESE ET AL. (2007) repräsentieren ein umfangreiches Sammelsurium möglicher Maßnahmen zur Entwicklung flexibler Produkte, deren Anwendbarkeit mittels nachvollziehbarer Beispiele verdeutlicht wird. Darüber hinaus ist die Kategorisierung in fünf übergeordnete Ansätze hervorzuheben. Damit konnten die unterschiedlichen Konkretisierungsebenen für die Anwendung der Prinzipien aufgezeigt werden, was die Übertragung auf reale Entwicklungssituationen erleichtert. Zu bemängeln ist jedoch die fehlende methodische Unterstützung, die dem Anwender ein erhebliches Maß an Transferleistung abverlangt.

### 3.3 Management von Produktänderungen

Heutzutage werden faktisch nur noch selten Produkte von Grund auf neu entwickelt. Der überwiegende Teil entsteht in Folge gezielter Modifikationen bereits bestehender Produkte (MCMAHON 1994). Das führt zu einer Vielzahl von Produktänderungen, die unternehmensseitig entsprechend organisiert, kontrolliert und durchgeführt werden müssen. Das Änderungsmanagement<sup>24</sup> beschreibt eine Disziplin, die sich bereits seit den 1980er Jahren mit der systematischen Bewältigung solcher Herausforderungen beschäftigt (WRIGHT 1997). Das Ziel des Änderungsmanagements lässt sich gemäß FRICKE ET AL. (2000) wie folgt beschreiben:

- Vermeidung oder Reduzierung notwendiger Produktänderungen
- effektive und effiziente Durchführung von Produktänderungen und
- Lernen von bereits durchgeführten Produktänderungen

Produktänderungen lassen sich grundsätzlich hinsichtlich ihrer Ursachen unterscheiden. Dabei werden Produktänderungen, die durch äußere Einflüsse (z. B. geänderte Kundenanforderungen oder neue gesetzliche Auflagen) entstehen als „initiierte Änderungen“ bezeichnet (GIFFIN ET AL. 2009; ECKERT ET AL. 2004). Dem gegenüber stehen die „emergierenden Änderungen“. Diese sind nicht bewusst herbeigeführt und resultieren meist aus unvorhergesehenen Problemen (GIFFIN ET AL. 2009; ECKERT ET AL. 2004). Emergierende Änderungen treten häufig erst in späteren Phasen des Produktentstehungsprozesses auf – nicht selten sogar erst nach der Fertigstellung. Aufgrund der damit verbundenen Kosten, ist die Früherkennung emergierender Änderungen essentieller Bestandteil eines erfolgreichen Änderungsmanagements (GILLE 2013, S. 74; LINDEMANN & REICHWALD 1998, S. 31).

Jede Änderung einer Produktkomponente, gleich ob initiiert oder emergierend, führt gemäß CLARKSON ET AL. (2001) aufgrund bestehender funktionaler und geometrischer Abhängigkeiten zu Folgeänderungen an anderen Komponenten. Diese Änderungsfortpflanzungen werden im angelsächsischen Sprachraum weitestgehend einheitlich als „Change Propagation“<sup>25</sup> bezeichnet. Im weiteren Verlauf dieses Abschnittes werden grundlegende Methoden zur Prognose von Änderungsfortpflanzungen vorgestellt.

---

<sup>24</sup> JARRATT ET AL. (2011) präsentieren eine umfassende Sammlung von Publikationen (bis 2010) aus dem Bereich des Änderungsmanagements, klassifiziert nach den Kategorien: (1) Prozess, (2) Tool, (3) Produkt, (4) generelle Studien sowie (5) Strategien und Methoden zum Umgang mit Produktänderungen. Darüber hinaus stellen HAMRAZ ET AL. (2013) in ihrer Veröffentlichung eine Liste von 427 kategorisierten Publikationen zum Thema Änderungsmanagement bereit.

<sup>25</sup> GIFFIN ET AL. (2009, S. 2) definieren den Begriff wie folgt: Eine Änderung an einem Bauteil oder Element einer existierenden Systemkonfiguration oder eines Systemdesigns führt zu einem oder mehreren zusätzlichen Änderungen am System, obwohl diese Änderungen andernfalls nicht erforderlich gewesen wären.

### 3.3.1 Change Prediction Method nach CLARKSON ET AL. (2001)

Auf Basis einer Fallstudie bei Westland Helicopters haben CLARKSON ET AL. (2001) die „Change Prediction Method (CPM)“ entwickelt. Diese Methode ermöglicht die systematische Prognose des Risikos einer Change Propagation durch die Berücksichtigung der jeweiligen Auftretenswahrscheinlichkeit sowie der resultierenden Auswirkung (z. B. konstruktiver Änderungsaufwand) von Folgeänderungen. Die CPM gliedert sich in die folgenden drei Stufen:

- 1) **Initial Analysis** – Analyse des Ausgangsproduktes und Berechnung der kombinierten Risiko-Matrix auf Basis der Wahrscheinlichkeits- und Auswirkungs-Matrix
- 2) **Case Analysis** – Identifikation notwendiger Produktänderungen auf Basis von veränderten Anforderungen
- 3) **Redesign** – Umsetzung der identifizierten Produktänderungen und Anpassung der Wahrscheinlichkeits- und Auswirkungs-Matrix für zukünftige Änderungsprojekte

Die weitere Vorstellung der CPM beschränkt sich, aufgrund des Fokus der vorliegenden Arbeit, auf die Stufe der Initial Analysis. Im ersten Schritt dieser Stufe werden die Komponenten (oder auch Subsysteme wie z. B. Baugruppen) des betrachteten Produktes sowie deren Schnittstellen mit Hilfe einer Design Structure Matrix (DSM) modelliert (siehe „Komponenten-DSM“ in Abbildung 3-16). Die Schnittstellen werden von erfahrenen Entwicklern identifiziert und können sowohl funktionaler als auch geometrischer Natur sein. Aus Gründen der Übersichtlichkeit empfehlen CLARKSON ET AL. (2001) die Detaillierungsebene so zu wählen, dass die Anzahl der Matrix-Elemente weniger als 50 beträgt.

Ausgehend von den Schnittstellen zwischen den Komponenten, werden im nächsten Schritt die möglichen, direkten Folgeänderungen hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit und ihrer Auswirkungen bewertet. Die direkte Wahrscheinlichkeit beschreibt dabei die durchschnittliche Probabilität, dass sich eine initiierte Änderung an einer Produktkomponente über eine gemeinsame Schnittstelle direkt auf eine andere Komponente ausbreitet. Die direkte Auswirkung beschreibt den Teil des komponentenspezifischen Entwicklungsaufwands, der im Falle einer Komponentenänderung erneut erbracht werden muss. Für die Durchführung der Bewertung wird in beiden Fällen eine quantitative Skala von 0 bis 1 verwendet. Die Bewertung sollte gemäß CLARKSON ET AL. (2001) von erfahrenen Entwicklern vorgenommen werden, wobei dafür meist Entwickler mit unterschiedlicher Expertise benötigt werden. Die Autoren betonen, dass dieser Schritt, abhängig von der Produktkomplexität und Anzahl der Komponenten, durchaus ein zeitaufwendiges Unterfangen sein kann. Auf Basis der bewerteten, direkten Wahrscheinlichkeiten und Auswirkungen wird jeweils das direkte Risiko einer Change Propagation berechnet. Dazu werden die Wahrscheinlichkeits- und Auswirkungsbewertungen der jeweiligen Schnittstellen miteinander multipliziert und in der direkten Risiko-Matrix dokumentiert (siehe Abbildung 3-16).

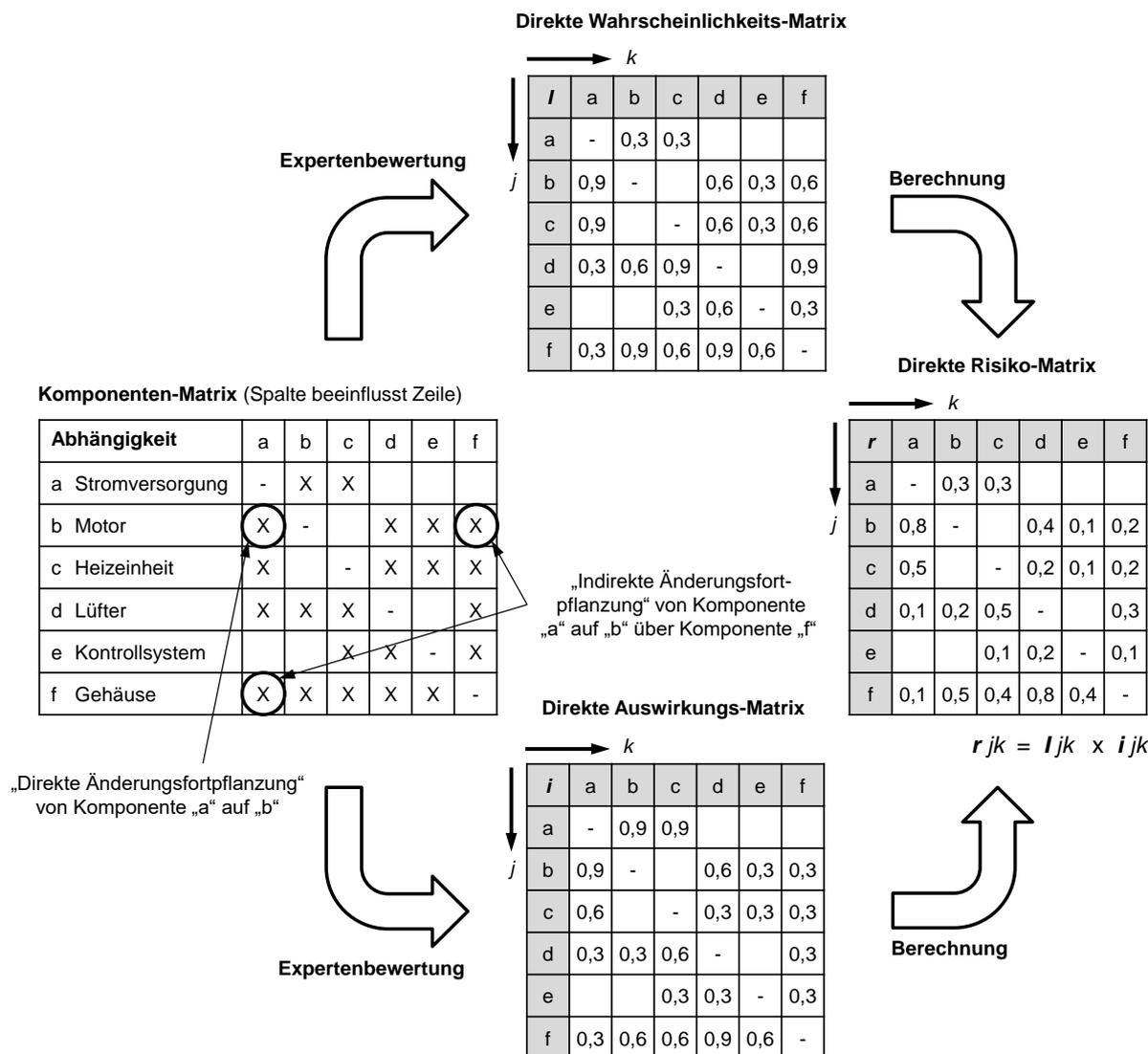


Abbildung 3-16: Wahrscheinlichkeits-, Auswirkungs- und Risiko-DSM (nach CLARKSON ET AL. 2001, S. 5 f.)

Gemäß CLARKSON ET AL. (2001) kann Change Propagation sowohl das Ergebnis einer direkten Änderungsfortpflanzung von einer Komponente auf eine andere sein, als auch in Folge einer indirekten Änderungsfortpflanzung über mehrere Komponenten entstehen. Solche indirekten Ausbreitungspfade ergeben sich beispielsweise, wenn sich eine initiierte Änderung an Komponente „a“ nicht direkt auf Komponente „b“ ausbreitet, sondern indirekt über Komponente „f“ auf Komponente „b“ (siehe Abbildung 3-16). Aus diesem Grund wird im letzten Schritt der ersten CPM-Stufe das kombinierte Risiko einer Change Propagation aus den direkten und indirekten Abhängigkeiten der Komponenten bestimmt. Dazu wird für jede Komponente der sogenannte „Change Propagation-Tree“ abgeleitet (siehe Abbildung 3-17). Mit diesem lassen sich komponentenspezifisch die direkten und indirekten Ausbreitungspfade bestimmen. Die Wahrscheinlichkeit einer Ausbreitung nimmt dabei mit jedem Folgeschritt kontinuierlich ab, da die einzelnen Wahrscheinlichkeiten multipliziert werden. CLARKSON ET AL. (2001) empfehlen die Berücksichtigung von maximal drei bis vier Folgeschritten. Die kombinierte

Wahrscheinlichkeit wird durch logische UND- bzw. ODER-Verknüpfungen gemäß des jeweiligen Change Propagation-Tree berechnet (siehe Abbildung 3-17). Vertikale Linien entsprechen dabei einer UND-Verknüpfung und horizontale einer ODER-Verknüpfung. Mit Hilfe der kombinierten Wahrscheinlichkeit lässt sich im weiteren Verlauf zunächst das kombinierte Risiko und darauf aufbauend die kombinierte Auswirkung einer Change Propagation bestimmen. Für weiterführende Erläuterungen zu den einzelnen Berechnungsschritten sei an dieser Stelle auf CLARKSON ET AL. (2001) verwiesen.

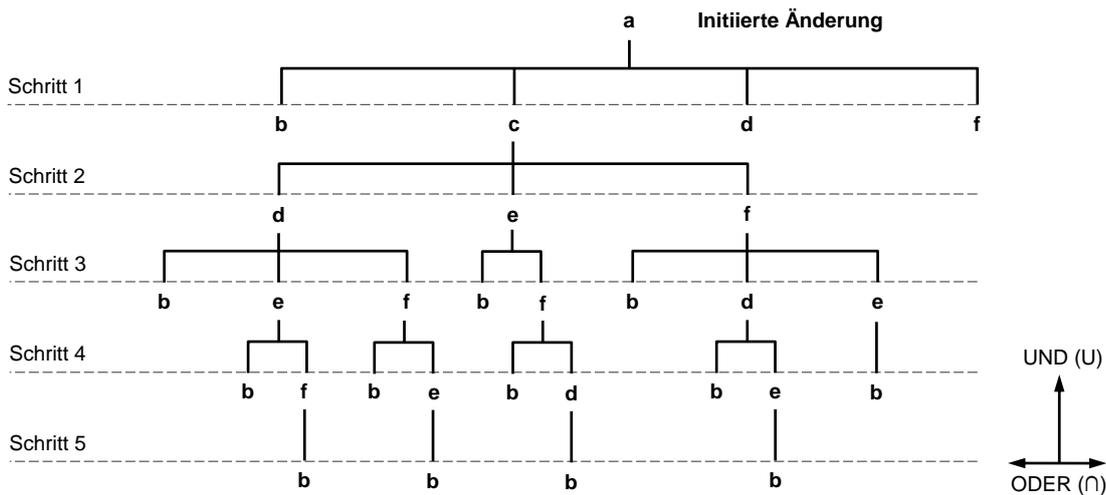


Abbildung 3-17: Change Propagation-Tree am Beispiel einer initiierten Änderung der Komponente „a“ (nach CLARKSON ET AL. 2001, S. 6)

Ausgehend von einer Komponentenänderung, repräsentiert die CPM eine systematische Methode zur Prognose des Risikos einer Change Propagation. Dabei ermöglicht die Verwendung des DSM-Ansatzes die Realisierung einer softwarebasierten Anwenderunterstützung, was CLARKSON ET AL. (2001) bereits erfolgreich demonstrieren konnten. Ebenso ist die Darstellung der direkten und indirekten Änderungsfortpflanzungen mit Hilfe des Change Propagation-Tree eine zielführende Unterstützung für den Methodenanwender. Wie die Autoren jedoch selbst feststellen, ist die Expertenbewertung der Ausbreitungswahrscheinlichkeiten und korrespondierenden Auswirkungen mitunter sehr zeitaufwendig. Darüber hinaus hängt die Präzision der Prognose vollständig von der Qualität der Expertenbewertung ab. Das Prognoseergebnis unterliegt demnach starken subjektiven Einflüssen und birgt durch die Quantifizierung des Risikos die Gefahr, den Anwender in die Irre zu führen.

### 3.3.2 Komponentenklassifizierungen nach ECKERT ET AL. (2004)

Die Grundlage für die Arbeit von ECKERT ET AL. (2004) bildet eine umfangreiche Fallstudie zur Änderung existierender Produkte bei Westland Helicopters. Dabei konnten die Autoren feststellen, dass jede Komponente (oder auch Subsysteme wie z. B. Baugruppen) eines Produktes durch verschiedene Parameter anderer Komponenten beeinflusst werden kann und gleichzeitig andere Komponenten durch die gleichen oder andere Parameter beeinflussen kann. Die Parameter sind dabei entweder struktureller, funktionaler oder verhaltensgesteuerter Natur.

Wie in Abbildung 3-18 dargestellt, lassen sich die Parameterbeziehungen zwischen den einzelnen Komponenten in drei grundlegende Kategorien einordnen:

- die Komponente wird durch mehr Parameter beeinflusst, als sie selbst Parameter beeinflusst, was wiederum zu Änderungen an anderen Komponenten führt (Komponente 1 in Abbildung 3-18)
- die Komponente wird durch die gleiche Anzahl an Parametern beeinflusst, wie sie selbst Parameter beeinflusst, was wiederum zu Änderungen an anderen Komponenten führt (Komponente 2 in Abbildung 3-18)
- die Komponente wird durch weniger Parameter beeinflusst, als sie selbst Parameter beeinflusst, was wiederum zu Änderungen an anderen Komponenten führt (Komponente 3 in Abbildung 3-18)

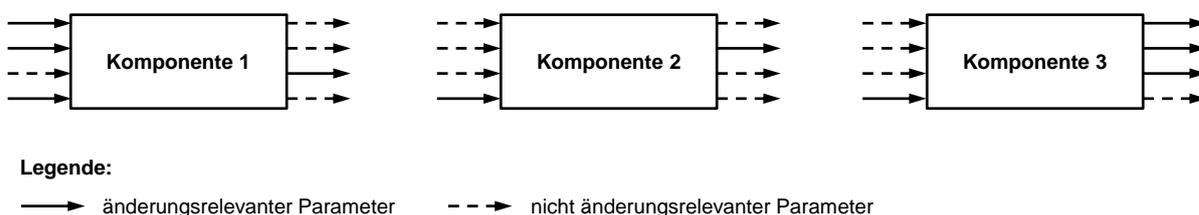


Abbildung 3-18: Änderungsrelevante Parameter in einem Änderungsprozess (nach ECKERT ET AL. 2004, S. 13)

Es ist zu beachten, dass sowohl strukturelle, funktionale als auch verhaltensgesteuerte Parameter gleichermaßen änderungsrelevant sein können oder auch nicht. So kann eine Komponente beispielsweise über eine Vielzahl struktureller Parameter beeinflusst werden, andere Komponenten jedoch selbst nur über funktionale Parameter beeinflussen. Damit wird deutlich, dass jede Komponente verschieden auf änderungsrelevante Parameter reagiert. So existieren, wie bereits dargestellt, Komponenten, die Änderungseinflüsse verstärken oder wiederum andere, die Änderungseinflüsse absorbieren und damit Folgeänderungen an anderen Komponenten verhindern. Wie in Abbildung 3-19 dargestellt, differenzieren ECKERT ET AL. (2004) hinsichtlich der Change Propagation vier charakteristische Verhaltensweisen von Komponenten (ECKERT ET AL. 2004, S. 13):

- **Absorber** – sind Komponenten, die mehr Änderungen absorbieren, als sie selbst verursachen,
- **Träger** – sind Komponenten, die ähnlich viele Änderungen absorbieren, wie sie selbst verursachen,
- **Multiplikatoren** – sind Komponenten, die selbst mehr Änderungen verursachen, als sie absorbieren,
- **Konstanten** – sind Komponenten, die von Änderungen nicht betroffen sind und damit weder Änderungen absorbieren noch selbst verursachen.

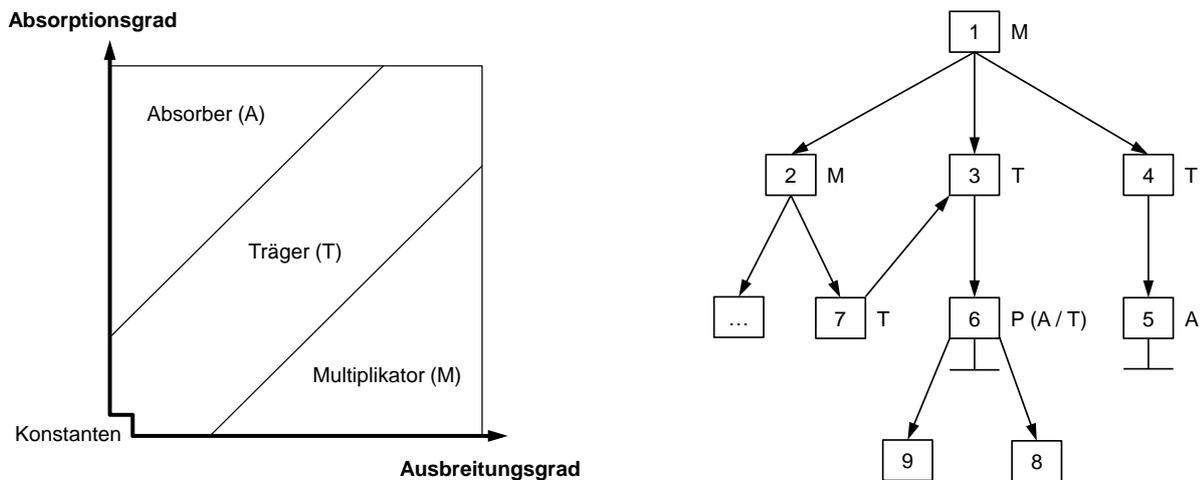


Abbildung 3-19: Absorptions-Ausbreitungs-Verhalten eines Systems (nach ECKERT ET AL. 2004, S. 13 f.)

Die Komponentenklassifizierung nach ECKERT ET AL. (2004) ermöglicht eine systematische Einteilung der Komponenten eines Produktes hinsichtlich ihres Verhaltens im Änderungsfall. Auf diese Weise können Komponenten, die Änderungen an anderen Komponenten auslösen, gezielt identifiziert und damit eine mögliche Change Propagation prognostiziert werden. Abhängig von der Komplexität des Produktes, erfordert dies jedoch ein hohes Maß an Produktexpertise und manuellem Aufwand. Eine softwarebasierte Unterstützung des Anwenders ist aus Sicht des Autors der vorliegenden Arbeit nur schwer zu realisieren. Damit erscheint eine Anwendung, insbesondere für komplexe Produkte mit umfangreicher Komponentenanzahl wenig praktikabel.

Neben den hier vorgestellten Methoden zur Prognose von Change Propagation existieren weitere Methoden, die sich mit ähnlichen oder ganz und gar vergleichbaren Ansätzen beschäftigen. Für weiterführende Informationen wird an dieser Stelle auf die entsprechende Literatur verwiesen: GIFFIN ET AL. (2009); ARIYO ET AL. (2006); FLANAGAN ET AL. (2003); MA ET AL. (2003); OLLINGER & STAHOVICH (2001); LINDEMANN & REICHWALD (1998, S. 132 ff.).

### 3.4 Management von Entwicklungsprozessen

Als Überwindung von Hindernissen bei der Transformation eines unerwünschten Ausgangszustandes in einen erwünschten Endzustand haben PAHL & BEITZ (1997, S. 59) die Hauptaufgabe der Produktentwicklung ganz allgemein beschrieben. GÖPFERT (2009, S. 77) formuliert diese etwas konkreter, als die Transformation der vom Markt geforderten Produktfunktion in eine physische Produktbeschreibung. Die Transformation reicht dabei von der Anpassung bestehender Lösungen bis hin zur Generierung neuer, bisher unbekannter Lösungen (GÖPFERT 2009, S. 71), auch wenn letzteres in der heutigen Zeit nur noch selten vorkommt. Der Entwicklungsprozess beschreibt die Abfolge zusammenhängender Entwicklungsaufgaben, die notwendig sind, um die gewünschte Transformation durchzuführen (FELDHUSEN & GROTE 2013a, S. 11). Jedoch erst durch die Zuordnung einer organisatorischen Einheit (z. B. Personen oder Sachmittel), die in der Lage ist, die erforderlichen Entwicklungsaufgaben zu erfüllen, kann der

Entwicklungsprozess realisiert werden (PICOT ET AL. 1997, S. 167). Gemäß GÖPFERT (2009, S. 157 f.) stellt der Entwicklungsprozess demnach das Bindeglied zwischen der technischen und der organisatorischen Gestaltung dar (siehe Abbildung 3-20).

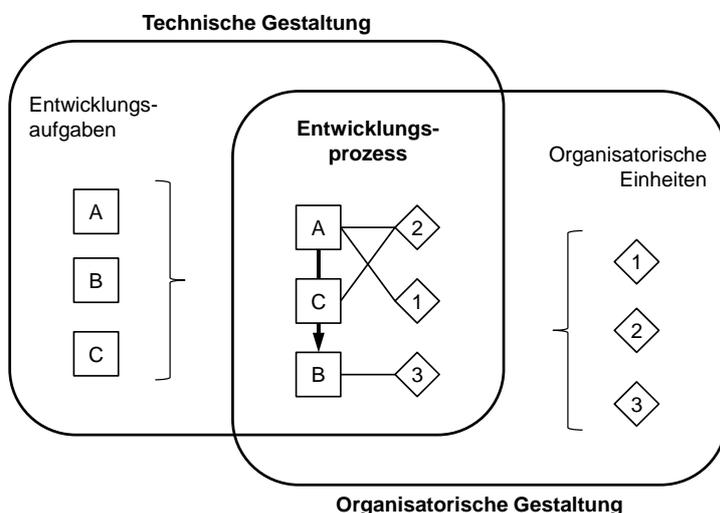


Abbildung 3-20: Der Entwicklungsprozess als Bindeglied zwischen technischer und organisatorischer Gestaltung (nach GÖPFERT 2009, S. 157)

Zur Reduzierung des Koordinationsaufwandes zwischen den organisatorischen Einheiten, sind die Prozesse so zu gestalten, dass die funktionalen, physischen und zeitlichen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Prozessschritten minimiert werden (PICOT ET AL. 1997, S. 167). Eine funktionale Unabhängigkeit kann erreicht werden, indem alle Entwicklungsaufgaben, die einer bestimmten Funktion zugeordnet werden können, zu einem Entwicklungsprozess zusammengefasst werden. Dementsprechend kann eine physische Unabhängigkeit erreicht werden, indem die Entwicklungsaufgaben zu einem Entwicklungsprozess zusammengefasst werden, die einer Komponente zugeordnet werden können. Analog kann eine zeitliche Unabhängigkeit erreicht werden, indem die Entwicklungsaufgaben mit klarer zeitlicher Ablaufstruktur zu einem Entwicklungsprozess zusammengefasst werden.

Gemäß GÖPFERT (2009, S. 160) ist eine gleichzeitige Minimierung aller Abhängigkeiten nur dann möglich, wenn die Produktarchitektur eine eindeutige Zuordnung zwischen Teilfunktionen und physischen Produktkomponenten aufweist. Eine modulare Produktarchitektur (vgl. Abschnitt 3.2.2) ist demnach eine Grundvoraussetzung für funktional, physisch und zeitlich unabhängige Entwicklungsaufgaben und damit auch für die Reduzierung des Koordinationsaufwandes zwischen den organisatorischen Einheiten. Einen Entwicklungsprozess, der aus unabhängigen Entwicklungsaufgaben besteht, bezeichnet GÖPFERT (2009, S. 166 ff.) als modularen Entwicklungsprozess und kann u. a. folgende Potentiale aufweisen (GÖPFERT 2009, S. 168):

- **Entkopplung** – relativ autonome Bearbeitung von Entwicklungsaufgaben durch reduzierten Koordinationsaufwand zwischen den organisatorischen Einheiten
- **Hierarchisierung** – Komplexitätsreduktion durch Strukturierung der Entwicklungsaufgaben

- **Wiederverwendbarkeit** – Rückgriff auf bereits vorhandene, modulare Entwicklungsprozesse und organisatorische Zuordnungen
- **Kontrollierbarkeit** – einfache Erfolgskontrolle durch zurechenbare Leistung
- **Stabilität** – Veränderungen bleiben auf einzelne Entwicklungsaufgaben begrenzt
- **Kombinierbarkeit** – flexible, temporäre Zusammensetzung einzelner Entwicklungsaufgaben

Neben dem Streben nach einem modularen Entwicklungsprozess, existieren unterschiedlichste Einflussfaktoren, die unweigerlich zu einer erschwerten Gestaltbarkeit des Entwicklungsprozesses führen. Diese Einflussfaktoren werden, wie in Abbildung 3-21 dargestellt, u. a. durch Art, Komplexität und Umfang der Entwicklungsaufgabe, die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen sowie das Wissen und die Kreativität der beteiligten Entwickler bestimmt (BADKE-SCHAUB & FRANKENBERGER 2004, S. 6).

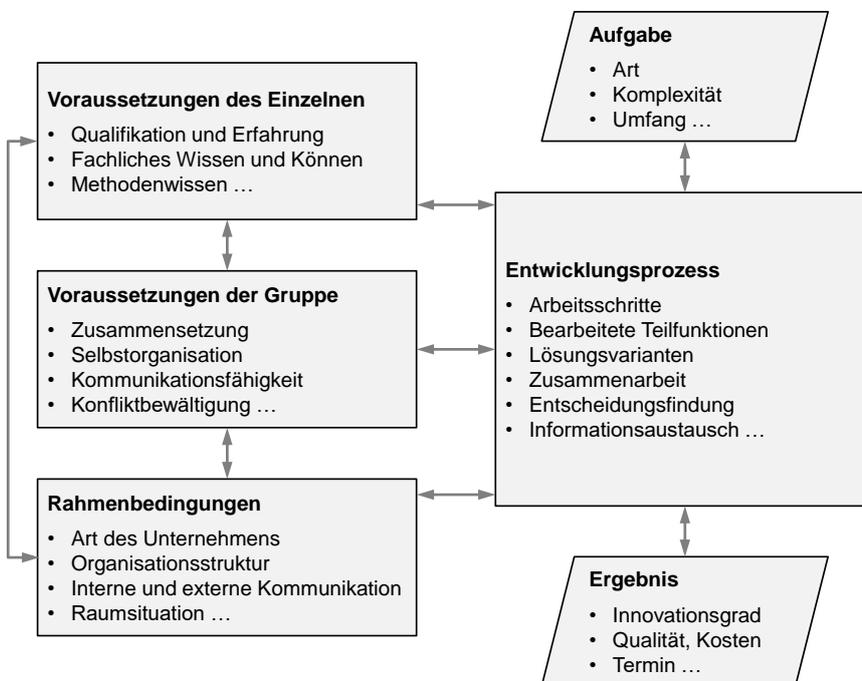


Abbildung 3-21: Einflussfaktoren auf den Entwicklungsprozess und das korrespondierende Ergebnis (BADKE-SCHAUB & FRANKENBERGER 2004, S. 6)

Angesichts der aufgezeigten Vielfalt an Einflussfaktoren ist es nicht möglich einen allgemeingültigen Entwicklungsprozess zu beschreiben, der allen unternehmens-, personen- und produktbezogenen Faktoren gerecht wird (SCHUMANN 1994, S. 10). Phasenorientierte Vorgehensmodelle (vgl. Abschnitt 3.1.1) versuchen dem zwar gerecht zu werden, bleiben jedoch in ihren Beschreibungen sehr abstrakt und können allenfalls bei der Planung von groben Prozessphasen unterstützen. Diese generelle Unvereinbarkeit einer allgemeingültigen Prozessbeschreibung mit hohem Detaillierungsgrad und konkretem Situationsbezug, repräsentiert einen wesentlichen Konflikt bei der Gestaltung von Entwicklungsprozessen. Die Lösung dieses Konfliktes erfordert gemäß SCHUMANN (1994, S. 11) die Bereitstellung einer generischen

Methode zur Generierung individueller Entwicklungsprozesse und damit den Verzicht auf allgemeingültige Prozessbeschreibungen (siehe Abbildung 3-22).

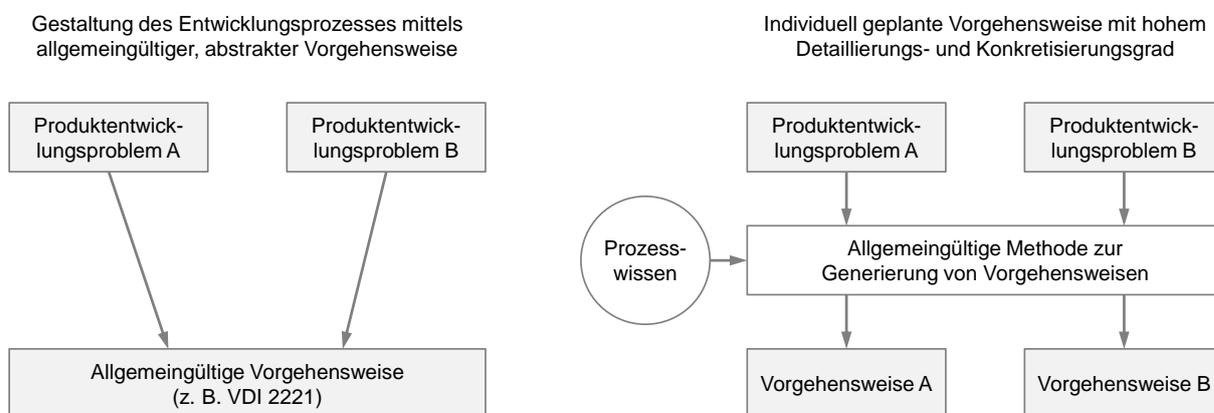


Abbildung 3-22: Unterschiedliche Ansätze zur Gestaltung des Entwicklungsprozesses (SCHUMANN 1994, S. 11)

HILLER (1997, S. 8) hat drei wesentliche Anforderungen bei der Gestaltung von Entwicklungsprozessen beschrieben:

- **Transparenz** – jede, am Entwicklungsprozess beteiligte Person sollte die Möglichkeit haben, ohne großen Aufwand, einen Überblick über alle prozessrelevanten Aspekte zu gewinnen
- **Effizienz** – das gewünschte Prozessergebnis sollte unter möglichst minimalem Einsatz von Ressourcen und Entwicklungszeit erreicht werden
- **Flexibilität** – der Entwicklungsprozess sollte eine große Problemvielfalt lösen können und stets die Möglichkeit bieten, auf unvorhergesehene Ereignisse reagieren zu können

Die von HILLER (1997, S. 8) beschriebenen Anforderungen können durch den Aspekt einer angemessenen Detaillierungsebene ergänzt werden. Dazu kann der Entwicklungsprozess, wie in Abbildung 3-23 dargestellt, aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und folgende Handlungsebenen mit unterschiedlichem Auflösungsgrad beschrieben werden (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 288 ff.; LINDEMANN 2009, S. 38):

- **elementare Handlungsabläufe** – Elementarer Denk- und Handlungsabläufe (z. B. Festlegung einzelner Maße und Toleranzen)
- **operative Arbeitsschritte** – Verknüpfung von zusammenhängender Aktivitäten zu elementaren Prozessschritten (z. B. Entwicklung einzelner Bauteile und Baugruppen)
- **Phasen, Arbeitsabschnitte** – Definition grober Prozessphasen zur Erreichung des Entwicklungsziels (z. B. Entwicklung einzelner Produkte)
- **Meilensteine, Gesamtprojekt** – Definition von Projektplänen (z. B. Durchführung von Großprojekten)

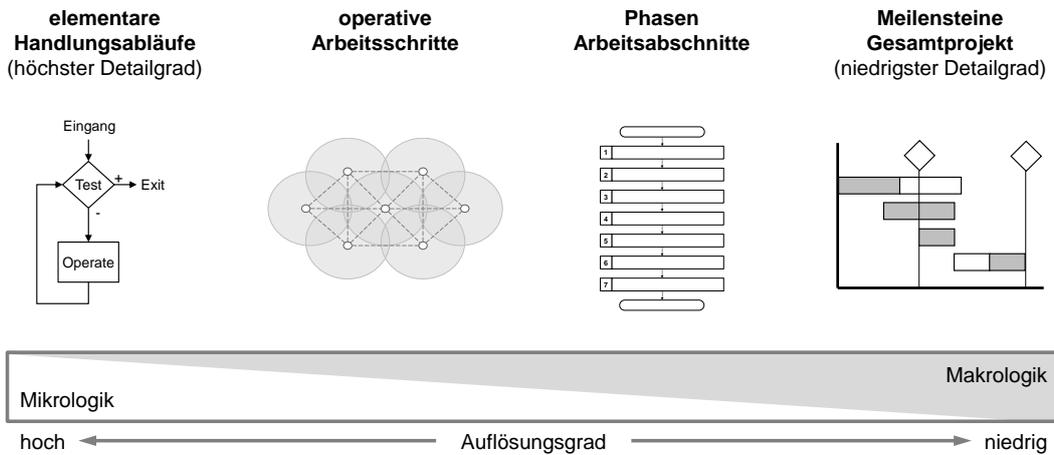


Abbildung 3-23: Unterschiedliche Auflösungsgrade des Entwicklungsprozesses (nach LINDEMANN 2009, S. 38)

Die oben beschriebenen Anforderungen an die Gestaltung von Entwicklungsprozessen können nur durch eine geeignete Prozessplanung und -modellierung umgesetzt werden (HILLER 1997). Im folgenden Abschnitt werden bestehende Methoden vorgestellt, die aus Sicht des Autors dieser Arbeit dafür geeignet erscheinen.

### 3.4.1 Methoden zur Gestaltung von Entwicklungsprozessen

Ausgehend von den allgemeinen Anforderungen an die Gestaltung von Entwicklungsprozessen (siehe Tabelle 3-2), hat BAUMBERGER (2007, S. 148) elf bestehende Methoden zur Prozessgestaltung identifiziert und bewertet. Dabei hat sich gezeigt, dass die Entwicklungsprozessbausteine nach BICHLMAIER (2000, S. 78 ff.) durch die Verwendung generischer Prozessaktivitäten sowie strukturierter Prozessbausteine, eine Methode zur Gestaltung flexibler Entwicklungsprozesse darstellt.

Tabelle 3-2: Allgemeine Anforderungen an die Gestaltung von Entwicklungsprozessen (nach HILLER 1997, S. 8; LINDEMANN 2009, S. 38) sowie abgeleitete, spezifische Anforderungen an die Prozessmodellierung und -planung

Allgemeine Anforderungen	Spezifische Anforderungen an die ...	
	Prozessmodellierung	Prozessplanung
<b>Transparenz</b> (HILLER 1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strukturierte Beschreibung aller relevanten Prozessinformationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generierung von Ablauftransparenz</li> <li>Vorsehen regelmäßiger Soll-Ist-Vergleiche zur frühzeitigen Identifikation von Zielabweichungen</li> </ul>
<b>Effizienz</b> (HILLER 1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringer Modellierungsaufwand durch Verwendung generischer Prozessbausteine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermeidung unnötiger Iterationen</li> <li>Unterstützung notwendiger Iterationen</li> </ul>
<b>Flexibilität</b> (HILLER 1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inhaltlich flexible und ablaufbezogene Modellierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptiver Charakter der Prozessplanung</li> <li>Flexible Anpassbarkeit bei geänderten Rahmenbedingungen bzw. Einflussfaktoren</li> </ul>
<b>Detailierung</b> (LINDEMANN 2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wahl einer angemessenen Detailierungsebene</li> </ul>	

### Entwicklungsprozessbausteine nach BICHLMAIER (2000)

Die Methode der Entwicklungsprozessbausteine<sup>26</sup> basiert auf dem Modellierungsansatz der integrierten Entwicklungsprozessbausteine nach BICHLMAIER ET AL. (1999) und verfolgt u. a. das Ziel, die Prozesstransparenz und die Flexibilität der Prozessgestaltung zu erhöhen. Dabei wird ein Entwicklungsprozess durch die Vernetzung einzelner Entwicklungsprozessbausteine in Form eines Prozessnetzes gestaltet (siehe Abbildung 3-24). Jeder Entwicklungsprozessbaustein beinhaltet sowohl die jeweiligen Tätigkeitsbeschreibungen des Prozessschrittes als auch die dafür notwendigen Eingangs- und resultierenden Ausgangsinformationen.

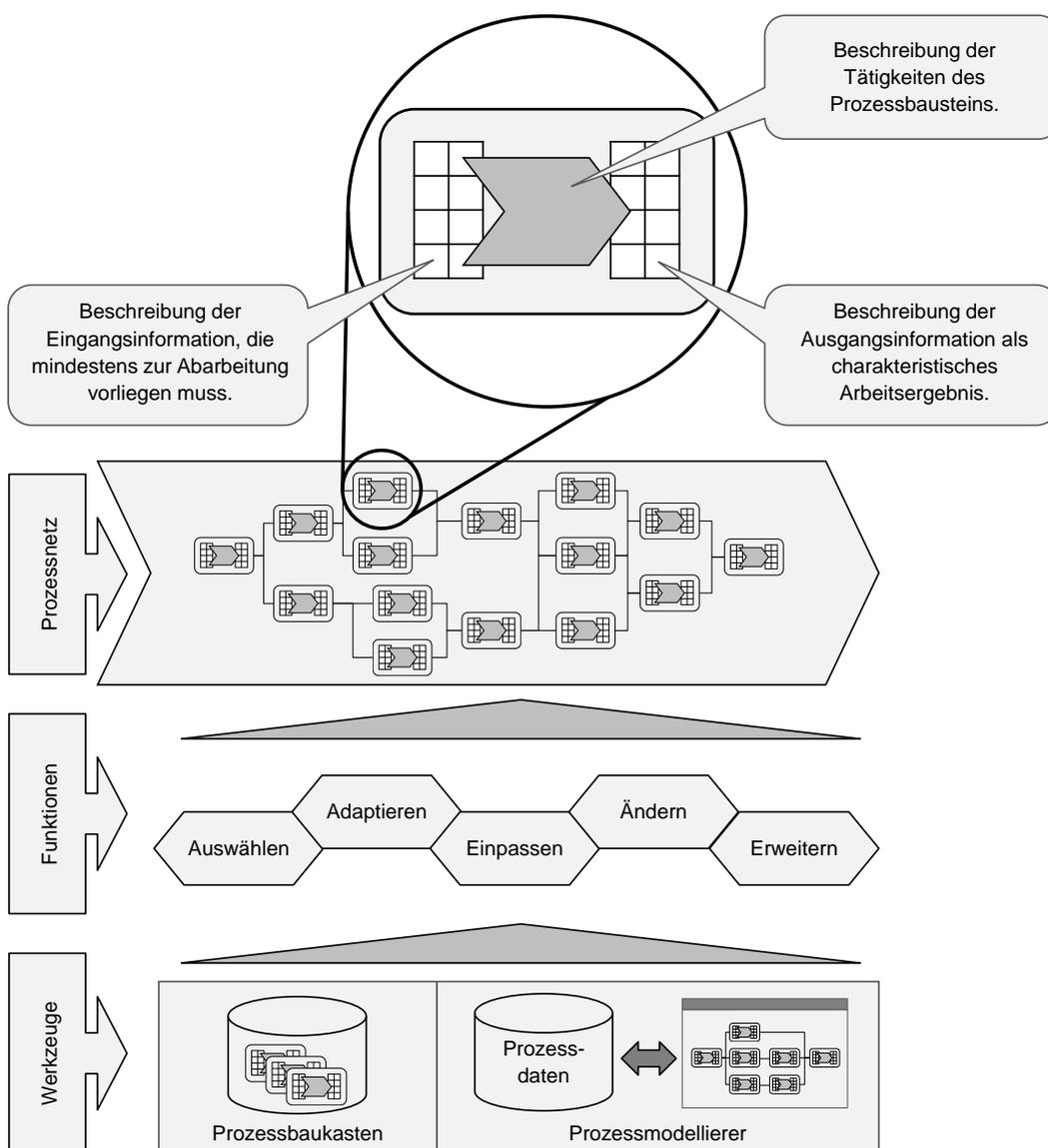


Abbildung 3-24: Grundstruktur und Anwendung der Entwicklungsprozessbausteine (nach BICHLMAIER 2000, S. 84)

<sup>26</sup> Die Entwicklungsprozessbausteine sind in ihrer Notation an die Modellierungsregeln der „Structured Analysis and Design Technique“ nach MARCA & MCGOWAN (1987) angelehnt.

Für die Unterstützung der Prozessplanung stellt BICHLMAIER (2000, S. 93 ff.) den Prozessbaukasten und den Prozessmodellierer bereit. Der Prozessbaukasten enthält generische Entwicklungsprozessbausteine und unterstützt den Prozessplaner bei der Auswahl geeigneter Entwicklungsprozessbausteine. Der Prozessmodellierer unterstützt die situationsgerechte Adaption der ausgewählten Entwicklungsprozessbausteine und passt diese durch Verknüpfung der Ein- und Ausgangsinformationen in das Prozessnetz ein. Die Optimierung des Prozessablaufs erfolgt durch den sukzessiven Abgleich der Eingangsinformationen mit den Ausgangsinformationen der jeweiligen Vorgängerbausteine.

Durch die Minimierung der Abhängigkeiten zwischen den Prozessschritten führt der von BICHLMAIER (2000, S. 78 ff.) verwendete Modellierungsansatz der Entwicklungsprozessbausteine zur Reduzierung des Koordinationsaufwandes zwischen den organisatorischen Einheiten. Damit wird gemäß GÖPFERT (2009, S. 166 ff.) die Grundvoraussetzung für die Gestaltung modularer Entwicklungsprozesse geschaffen. Zur Steigerung der Modularität postuliert GRUNWALD (2002, S. 76), dass stets zusammengehörende Tätigkeiten in einem Prozessbaustein zu bündeln sind, so dass dieser ein gekapseltes Arbeitspaket repräsentiert. Der Umfang eines Arbeitspaketes sollte möglichst so gewählt werden, dass dieser von einer organisatorischen Einheit autonom bearbeitbar ist (GRUNWALD 2002, S. 76).

Die Methode der Entwicklungsprozessbausteine unterstützt die systematische Modellierung von Entwicklungsprozessen mit Hilfe formaler Beschreibungselemente ohne Fokussierung einer bestimmten Branche. Damit wird eine hinreichend genaue und aufwandsarme Prozessmodellierung mit entsprechendem Produktbezug für unterschiedlichste Anwendungsfälle ermöglicht.

### Relationsorientierte Prozesssynthese nach BAUMBERGER (2007)

BAUMBERGER (2007, S. 189) hat den Modellierungsansatz der Entwicklungsprozessbausteine von BICHLMAIER (2000, S. 78 ff.) aufgegriffen und für die Gestaltung kundenindividueller Adaptionprozesse erweitert (siehe Abbildung 3-25).

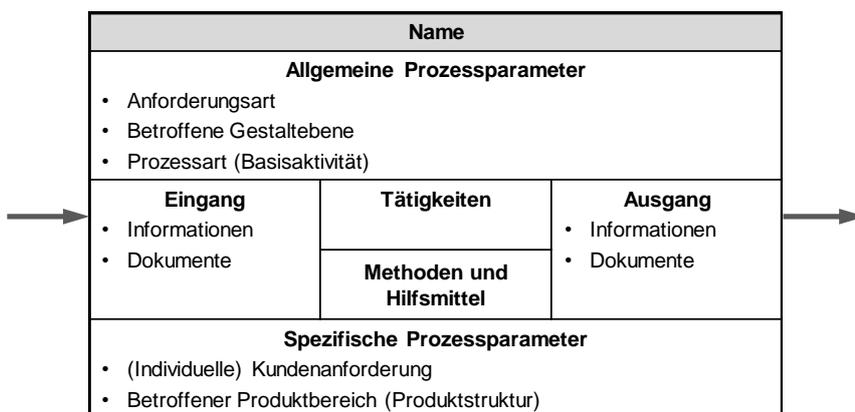


Abbildung 3-25: Prozessbaustein zur Modellierung von kundenindividuellen Adaptionprozessen (BAUMBERGER 2007, S. 189)

Die Tätigkeiten des jeweiligen Prozessbausteins beschreiben bei BAUMBERGER (2007, S. 189) explizite Arbeitsinhalte, die notwendig sind, um die Eingangsgrößen (z. B. Informationen und Dokumente) in die gewünschten Ausgangsgrößen umzuwandeln. Gegenüber den Eingangsgrößen zeichnen sich die Ausgangsgrößen durch einen definierten Gestaltungsfortschritt oder Reifegradzuwachs aus. Darüber hinaus ergänzt BAUMBERGER (2007, S. 190) die Beschreibung allgemeiner und spezifischer Prozessparameter sowie die Auflistung potentiell unterstützender Methoden und Hilfsmittel. Die allgemeinen Prozessparameter dienen der generischen Charakterisierung des Prozessbausteins und umfassen folgende Aspekte (BAUMBERGER 2007, S. 190):

- **Anforderungsart** – Anforderungen hinsichtlich (technischer) Produktfunktionen Produktschnittstellen, der Produktgestaltung sowie der Produktausführung
- **Betroffene Gestaltebene** – Funktions-, Struktur oder Bauteilgestaltebene
- **Prozessart** – ordnet dem Prozessbaustein eine Basisaktivität<sup>27</sup> zu

Die spezifischen Prozessparameter dienen der objektspezifischen Ausprägung des Prozessbausteins und umfassen folgende Aspekte (BAUMBERGER 2007, S. 190):

- **Kundenanforderung** – beschreibt die individuelle Kundenanforderung, die dem Prozessbaustein zugeordnet ist (dabei wird für jeden Prozessbaustein stets nur eine Anforderung betrachtet)
- **Betroffener Produktbereich** – benennt den Produktbereich (entweder Bauteil oder Baugruppe), der von den Tätigkeiten des Prozessbausteins betroffen ist

Für die Zuordnung der Basisaktivitäten im Rahmen der Prozessbausteincharakterisierung verwendet BAUMBERGER (2007, S. 192) folgende generische Basisaktivitäten, deren Schwerpunkt jeweils auf Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und/oder Informationsausgabe liegen kann: Analysieren, Konzipieren, Gestalten, Ändern, Auslegen, Integrieren (Gesamtprodukt), Absichern, Optimieren. Durch die Verwendung der Basisaktivitäten soll die Komplexität bei der Entwicklungsprozessgestaltung erheblich verringert werden.

Für die Planung der kundenindividuellen Adaptionprozesse hat BAUMBERGER (2007, S. 197 ff.) die Methode der relationsorientierten Prozesssynthese entwickelt. Die Methode ist an das Grundprinzip der relationalen, iterativen Anforderungsklä rung von JUNG (2006, S. 89 ff.) angelehnt und basiert damit auf der Annahme, dass Entwicklungsprozesse nur dort notwendig sind, wo kundenindividuelle Anforderungen entsprechende Änderungen hervorrufen. Kern der Methode ist das sogenannte „House of Processes (HoP)“ (siehe Abbildung 3-26), das auf der Methode „Quality Function Deployment (QFD)“ (vgl. Abschnitt 3.1.3) basiert. Die Verschränkung der oben beschriebenen Annahme mit dem Ansatz der QFD, führt zu der von BAUMBERGER (2007, S. 197) formulierten Hypothese, dass kundenindividuelle Adaptionprozesse nur dort notwendig sind, wo eine Relation zwischen Kundenanforderungen und Produktkomponenten besteht. Diese Relationen werden durch entsprechende Matrixeinträge in der Domain Mapping Matrix (DMM) des HoP repräsentiert (siehe Abbildung 3-26). Darüber hinaus ist für jede Relation anzugeben, ob die jeweilige Kundenanforderung eine funktionale (F),

---

<sup>27</sup> „Unter Basisaktivitäten werden prozessbezogene Grundfunktionen verstanden. Sie fassen [...] auf der Ebene elementarer Entwicklungsprozessschritte eine Menge spezifischer Verrichtungen und Entscheidungssituationen zu einem abstrakten Element zusammen und geben den Rahmen vor, innerhalb dessen bei der Prozessdurchführung konkrete Schritte des Entwicklungsprozesses ausgeprägt werden können.“ (BAUMBERGER 2007, S. 191).

strukturelle (S) oder gestalterische (G) Adaption der betroffenen Produktkomponente bedingt. Auf Basis dieser Klassifizierung werden anschließend mit Hilfe der generischen Basisaktivitäten die notwendigen Adaptionprozesse abgeleitet. Dafür stellt BAUMBERGER (2007, S. 199 ff.) dem Prozessplaner für jede der drei Gestaltebenen eine Übersicht anwendbarer Basisaktivitäten zur Verfügung.

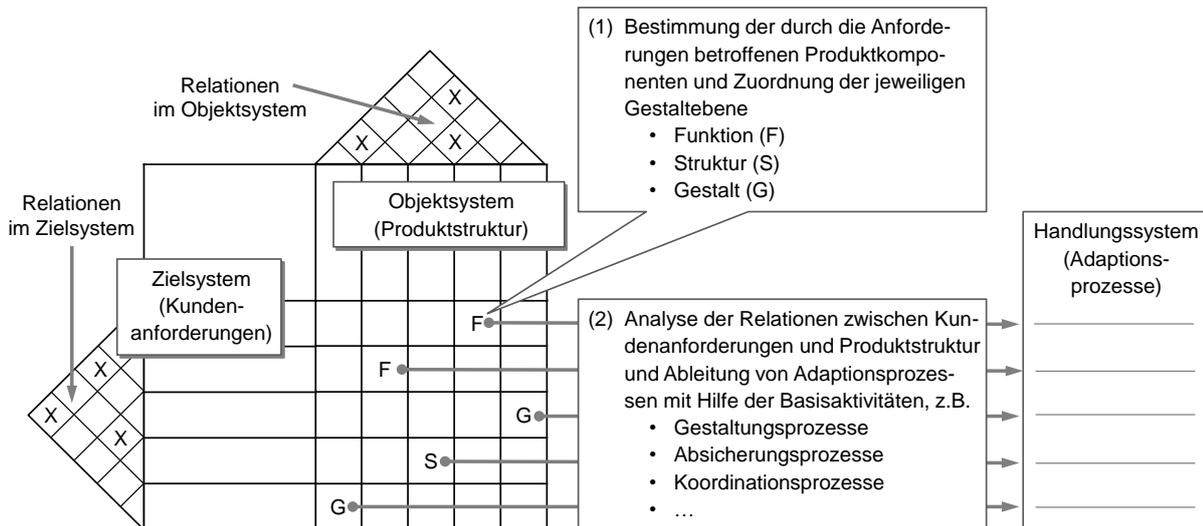


Abbildung 3-26: Grundschemata der relationsorientierten Prozesssynthese – „House of Processes“ (nach BAUMBERGER 2007, S. 198)

Analog zur QFD, dienen die beiden „Dächer“ des HoP der Darstellung von Abhängigkeiten zwischen den Kundenanforderungen (Zielsystem) bzw. den Produktkomponenten (Objektsystem). Eine Abhängigkeit wird auch in diesem Fall durch eine entsprechende Relation in der dachförmigen Matrix des jeweiligen Systems repräsentiert und bedingt einen erhöhten Koordinationsbedarf während der Produktadaption. Eine Relation zwischen zwei Kundenanforderungen gibt dem Prozessplaner dabei einen Anhaltspunkt für einen möglichen Zielkonflikt, der eine Integration der Adaptionprozesse erfordert. Eine Relation zwischen zwei Produktkomponenten, z. B. in Folge gemeinsamer physischer Schnittstellen, ist hingegen ein Indiz für eine mögliche Change Propagation (vgl. Abschnitt 3.3). Durch die Analyse der Relationen des Ziel- und Objektsystems kann jedoch nur ein Teil der notwendigen Koordinationsaktivitäten abgeleitet werden. Insbesondere die Bestimmung der Planungs- und Freigabeaktivitäten erfordert weiterführende Methoden – z. B. aus dem Bereich des Projektmanagements, die BAUMBERGER (2007, S. 200) jedoch nicht explizit benennt.

Das Ergebnis der relationsorientierten Prozesssynthese ist eine Liste unstrukturierter Adaptionprozessschritte, die jeweils auf einer Basisaktivität beruhen und in Form von standardisierten Prozessbausteinen dokumentiert werden. Jeder Prozessschritt kann durch eine Kundenanforderung, eine betroffene Produktkomponente und eine Gestaltebene charakterisiert werden. Diese Form der standardisierten Beschreibung ermöglicht neben der systematischen Definition neuer Prozessschritte gleichermaßen die Suche nach bereits existierenden Prozessbausteinen. Für die abschließende Konfiguration der Adaptionprozesse werden die einzelnen

Prozessbausteine auf Basis ihrer Ein- und Ausgangsgrößen logisch miteinander verkettet und zeitlich strukturiert (vgl. BAUMBERGER 2007, S. 201 ff.).

Die relationsorientierte Prozesssynthese ist eine Methode zum systematischen Entwurf kundenindividueller Adaptionsprozesse. Auf diese Weise werden für alle Produktkomponenten, die von kundenindividuellen Anforderungen betroffen sind, notwendige Adaptionsprozessschritte konsistent und nachvollziehbar abgeleitet. Das HoP als Herzstück der Methode kann aufgrund seines modularen Aufbaus prinzipiell an unterschiedlichste Anwendungsfälle angepasst werden. So wäre es prinzipiell möglich im Zielsystem die Elemente der Domäne „Kundenanforderungen“ durch Elemente einer anderen, beliebigen Domäne zu ersetzen und damit die Prozesssynthese auf einen individuellen Anwendungsfall auszurichten.

### FORFLOW-Prozessmodell nach ROELOFSEN (2011)

Einen weiteren Ansatz zur Gestaltung von Entwicklungsprozessen stellt die von ROELOFSEN (2011, S. 81 ff.) entwickelte situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen dar. Der Ansatz wurde im Rahmen des, von der Bayerischen Forschungstiftung geförderten, Forschungsprojektes FORFLOW entwickelt. Das Herzstück der situationsspezifischen Prozessplanung ist das FORFLOW-Prozessmodell. Dabei handelt es sich um ein Modell für die softwaregestützte Prozessplanung auf drei Detaillierungsebenen, die jeweils unterschiedliche, generische Entwicklungsprozessschritte beinhalten (siehe Abbildung 3-27).

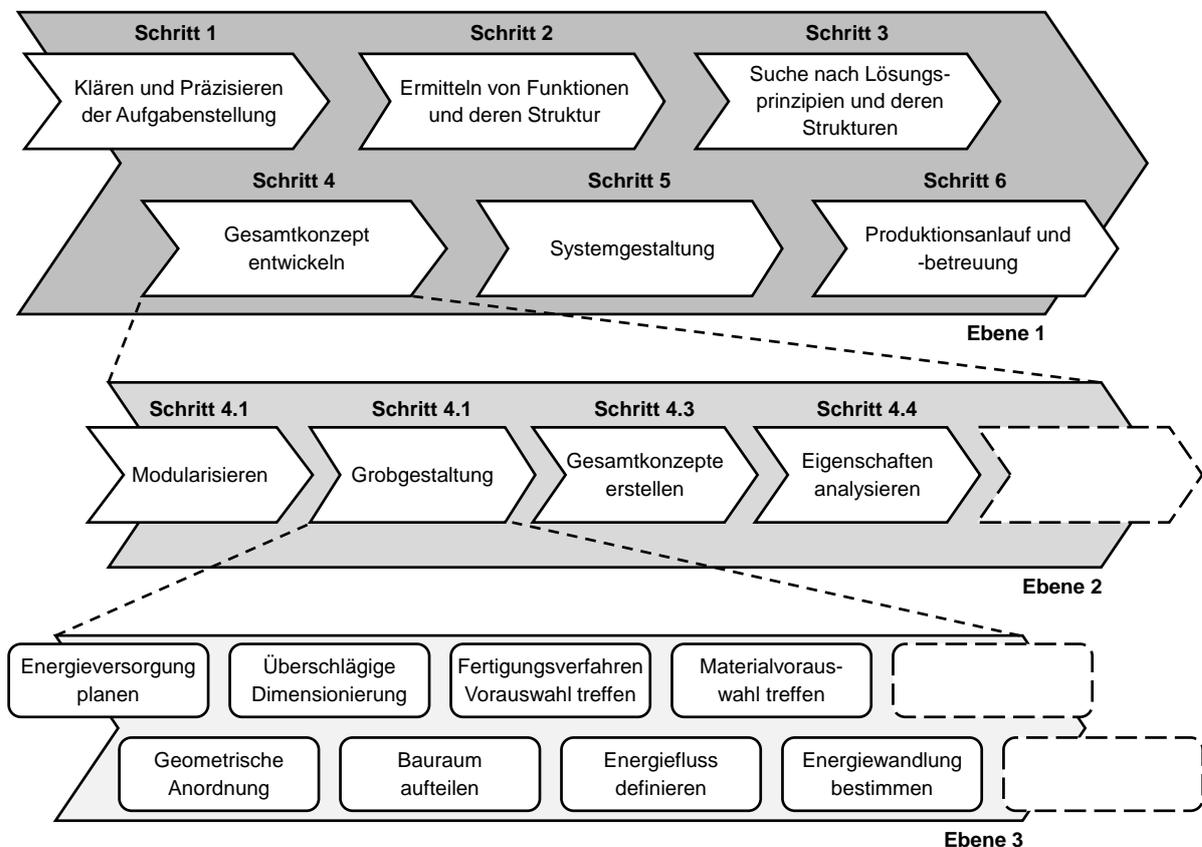


Abbildung 3-27: Schematische Darstellung zum Aufbau des FORFLOW-Prozessmodells (ROELOFSEN 2011, S. 94)

Auf den beiden obersten Ebenen des Prozessmodells werden dem Prozessplaner generische Prozessschritte in einer definierten Reihenfolge vorgeschlagen. Diese sind an bereits bestehende, phasenorientierte Vorgehensmodelle, wie die Methodik zum Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221 (vgl. Abschnitt 3.1.1) angelehnt. Auf der dritten (operativen) Ebene des FORFLOW-Prozessmodells werden dem Prozessplaner insgesamt 92 generische Entwicklungsprozessschritte in undefinierter Reihenfolge vorgeschlagen (ROELOFSEN 2011, S. 94). Die Entscheidung, welche Entwicklungsprozessschritte in der konkreten Situation in welcher Reihenfolge anzuwenden sind, obliegt demnach dem Prozessplaner. Für die Festlegung einer geeigneten Reihenfolge werden dem Prozessplaner Analysemethoden auf Basis der Design Structure Matrix (DSM) zur Verfügung gestellt. Im Kontext der vorliegenden Arbeit sind insbesondere die operativen Prozessschritte der Systemgestaltung (Schritt 5 auf Ebene 1) von Bedeutung, da sich diese auf die gestalterische Umsetzung strukturell und funktional bereits definierter Lösungen beziehen (vgl. Abschnitt 1.3). Die operativen Prozessschritte der Systemgestaltung sind (ROELOFSEN 2011, S. 207):

- Bauteil gestalten
- Bauteil absichern
- Funktionserfüllung absichern
- Wechselwirkung im Bereich Signal, Stoff und Energie berücksichtigen
- Fertigungs- und Liefereigenschaften absichern
- Kosten absichern
- Mechatronische Integrationseigenschaften absichern
- Produktlebenszyklus berücksichtigen
- Prototyp erstellen
- Programmierung
- Teilsystem berechnen
- Teilsystem zusammenbauen
- Teilsystem integrieren

Gefolgt werden die aufgeführten Prozessschritte von operativen Prozessschritten zur Eigenschaftsermittlung und Absicherung auf Teilsystemebene sowie der Teilsystemintegration zum Gesamtprodukt (vgl. ROELOFSEN 2011, S. 209 ff.).

Das FORFLOW-Prozessmodell ist das Herzstück der von ROELOFSEN (2011, S. 92 ff.) entwickelten situationsspezifischen Prozessplanung und kann aufgrund seiner Allgemeingültigkeit für verschiedenste Anwendungsfälle adaptiert werden. Der strukturierte Aufbau des Modells sowie die vorgeschlagenen Prozessschritte der verschiedenen Abstraktionsebenen ermöglichen eine systematische und aufwandsarme Ableitung notwendiger Entwicklungsprozessschritte.

Die Kenntnis auszuführender Entwicklungsprozessschritte entscheidet jedoch nicht allein über die erfolgreiche Gestaltung von Entwicklungsprojekten. So führt SCHUH (2013, S. 14) beispielsweise eine entsprechende Synchronisation und Taktung des Entwicklungsprozesses als relevante Erfolgskriterien an. Die Grundvoraussetzung dafür ist eine geeignete Ablaufstrukturierung der erforderlichen Prozessschritte (SCHUH 2013, S. 178 ff.). Im Folgenden Abschnitt wird dafür ein Ansatz präsentiert.

### 3.4.2 Stage-Gate®-Ansatz nach COOPER (2001)

Der von COOPER (1990, S. 51) entwickelte Ansatz hat sich mittlerweile als Industriestandard für die Strukturierung des Ablaufs von Entwicklungsprozessen etabliert. Dabei werden die einzelnen Schritte des Entwicklungsprozesses in Abschnitte (Stages) aufgeteilt, die durch Tore (Gates) voneinander abgegrenzt sind (siehe Abbildung 3-28).

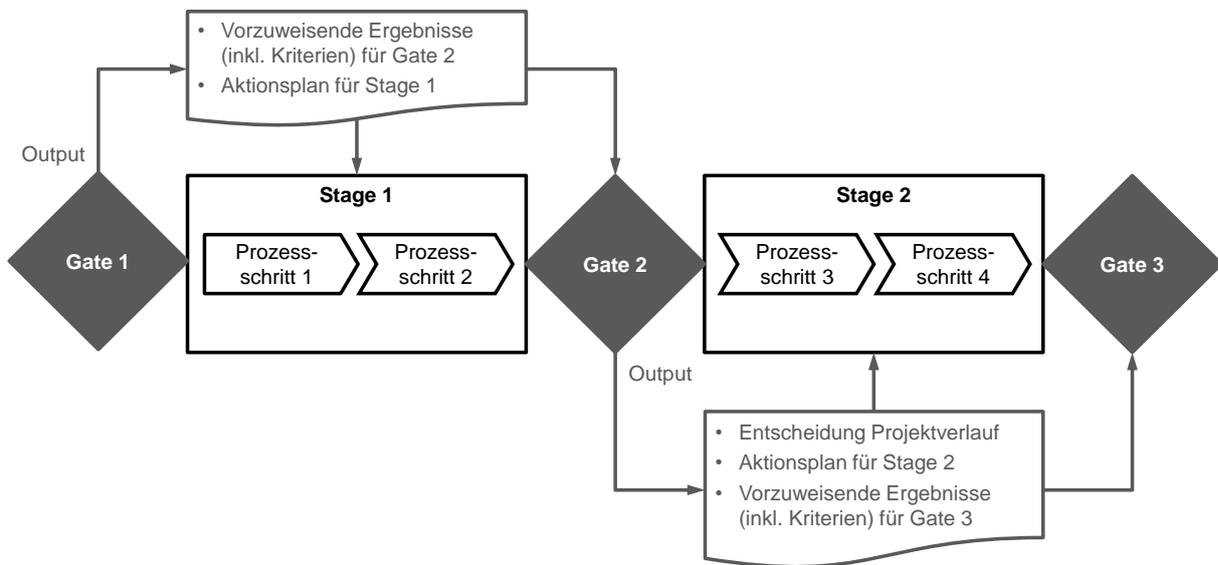


Abbildung 3-28: Grundlegender Aufbau eines Stage-Gate®-Prozesses

An den Gates wird mittels eines entsprechenden Reviews entschieden, ob der nächste Entwicklungsabschnitt durchgeführt wird, Nacharbeiten notwendig sind oder ob das Entwicklungsprojekt ganz und gar abgebrochen wird. Dazu werden Abstimmungstreffen einberufen, an denen das Projektteam und der sogenannte Gatekeeper<sup>28</sup> teilnehmen. Innerhalb der Stages werden alle zugeordneten Prozessschritte funktionsübergreifend durchgeführt und damit die für das anstehende Gate-Review notwendigen Informationen generiert. Das Gate-Review basiert auf vorab definierten Kriterien, die in Form von Checklisten oder Punktwerten bewertet werden (COOPER 1990, S. 52). Die Anzahl der Gates orientiert sich am Umfang des jeweiligen Entwicklungsprozesses und liegt gemäß COOPER (1990, S. 46) typischerweise zwischen vier und sieben. So weist beispielsweise ein Prozess zur Neuentwicklung eines Produktes in der Regel eine höhere Gate-Anzahl auf, als ein Prozess zur Entwicklung einer neuen Produktvariante.

Die Durchführung eines Gate-Reviews basiert auf folgenden Bestandteilen (COOPER 1990, S. 46):

- **Vorzuweisende Resultate** – Arbeitsergebnisse (z. B. Teilergebnisse oder Informationen), die das Projektteam innerhalb der Stage generiert hat.
- **Gate-Kriterien** – Anhand dieser Kriterien werden die vorzuweisenden Resultate der Stage bewertet und über den weiteren Verlauf des Entwicklungsprojektes entschieden.

<sup>28</sup> Dabei handelt es sich um Personen, die vom Unternehmen autorisiert sind, über die Verteilung der Ressourcen an den jeweiligen Gates zu entscheiden. Für die Wahrung der Entscheidungsneutralität sollten weder Mitglieder des Projektteams noch der Projektleiter diese Rolle innehaben (COOPER 2008).

Dabei kann prinzipiell zwischen Muss- und Kann-Kriterien unterschieden werden. Muss-Kriterien werden in der Regel anhand von Checklisten und Kann-Kriterien anhand von Punkteskalen bewertet. Die Kriterien werden bereits im Rahmen des Gate-Reviews der vorhergehenden Stage definiert.

- **Gate-Outputs** – Dazu zählt die Entscheidung, ob der nächste Entwicklungsabschnitt durchgeführt, der aktuelle wiederholt oder das Entwicklungsprojekt abgebrochen wird. Darüber hinaus ist der Aktionsplan für den nächsten Entwicklungsabschnitt ein wesentlicher Gate-Output. Dieser beinhaltet die Beschreibung durchzuführender Prozessschritte, die Ressourcenplanung (z. B. Personal, Budget) und die Terminplanung. Darüber hinaus ist eine Auflistung der am nächsten Gate vorzuweisenden Resultate inklusive der zugehörigen Gate-Kriterien Bestandteil des Gate-Outputs.

Der Stage-Gate<sup>®</sup>-Ansatz ermöglicht die systematische und transparente Strukturierung interdisziplinärer Entwicklungsprozesse. Durch die Vorabdefinition der Gate-Kriterien wird erreicht, dass alle am Entwicklungsprozess beteiligten Personen eine gemeinsame Sicht auf das Projekt haben, was insbesondere die Kommunikation und Abstimmung zwischen den einzelnen Disziplinen erleichtert. Eine Umfrage aus dem Jahr 2009 hat ergeben, dass rund 70% aller Produktentwickler in Nordamerika den Stage-Gate<sup>®</sup>-Ansatz oder einen vergleichbaren Ansatz nutzen (COOPER 2009). Trotz dieser hohen Durchdringung, birgt der Ansatz Risiken, die gemäß SZINOVATZ & MÜLLER (2014, S. 98 ff.) vor allem in zu vielen und ungeeigneten Gates sowie in der Annahme begründet sind, dass sich mit Hilfe exakter Prozesse nicht zwangsweise deterministische, wiederholbare Ergebnisse erzielen lassen.

## 3.5 Management von Produkt- und Prozesskomplexität

### 3.5.1 Definition von Komplexität

Nach Ansicht des Physikers und Nobelpreisträgers GELL-MANN (1994, S. 66) reicht eine Komplexitätsdefinition bei Weitem nicht aus, um unsere intuitive Vorstellung von der Bedeutung dieses Begriffes angemessen wiederzugeben. Demnach ist es nicht verwunderlich, dass bis dato kein einheitliches Verständnis dieses Begriffes existiert (SCHOENEBERG 2014, S. 14). Aus wissenschaftstheoretischer Sicht lassen sich jedoch die folgenden, allgemeingültigen Komplexitätsmerkmale festhalten (vgl. KLABUNDE 2003, S. 6; LUCZAK & FRICKER 1997, S. 316 ff.; REIB 1993):

- **Varietät** – beschreibt die Art und Anzahl der Elemente in einem System
- **Konnektivität** – beschreibt die Art und Anzahl der Relationen zwischen den Elementen eines Systems
- **Dynamik** – beschreibt die Unbestimmbarkeit und Unvorhersehbarkeit des Verhaltens eines Systems

Die Notwendigkeit einer stärkeren Kundenorientierung, die zunehmende Globalisierung und Segmentierung der Märkte sowie der beschleunigte technologische Wandel (vgl. Abschnitt 2.1) sind wesentliche Komplexitätstreiber, die zu einer gesteigerten Ausprägung dieser Merkmale führen (PFEIFFER & WEISS 1990, S. 4 f.). KLABUNDE (2003, S. 7 ff.) hat daraus resultierende

Auswirkungen auf die, im Rahmen dieser Arbeit fokussierte, Produkt- und Prozesskomplexität zusammengetragen. Diese sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

*Tabelle 3-3: Resultierende Auswirkungen der in diesem Abschnitt aufgezeigten, wesentlichen Komplexitätstreiber auf die Produkt- und Prozesskomplexität (nach KLABUNDE 2003, S. 7 ff.)*

Resultierende Auswirkungen wesentlicher Komplexitätstreiber auf die ...		
Komplexitätsmerkmal	Produktkomplexität	Prozesskomplexität
<b>Varietät</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variantenvielfalt in Produktprogramm und -struktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstieg beteiligter Funktionen im Entwicklungsprozess aufgrund stärkerer Spezialisierung der Fachdisziplinen</li> </ul>
<b>Konnektivität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigende Anzahl der Verbindungen durch Technologieintegration und Werkstoffvielfalt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstieg funktionaler Schnittstellen aufgrund technologischer Vielfalt in Produkten sowie des Anstiegs externer Beteiligter</li> </ul>
<b>Dynamik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstieg der Produktvielfalt durch verkürzte Produktlebenszyklen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstieg der Interaktionshäufigkeit zwischen den Funktionen pro Zeiteinheit durch verkürzte, parallelisierte Prozesse</li> <li>• Anstieg der Anpassungshäufigkeit der Geschäftsprozesse aufgrund externer Veränderungen</li> </ul>

Unter der Annahme, dass die oben angeführten Komplexitätstreiber unternehmensseitig nicht beeinflusst werden können, wird deutlich, dass geeignete Maßnahmen zur Komplexitätsbewältigung einen entscheidenden Erfolgsfaktor darstellen (KLABUNDE 2003, S. 11 f.). In der Literatur werden übereinstimmend drei grundlegende Strategien zur Komplexitätsbewältigung beschrieben (vgl. u. a. LINDEMANN ET AL. 2009, S. 2; SCHUH 2005, S. 35 ff.; HOMBURG & DAUM 1997; LUCZAK & FRICKER 1997, S. 313 f.; WARNECKE & HÜSER 1995):

- **Vermeidung von Komplexität** im Sinne eines antizipativen Managements
- **Reduzierung von Komplexität** im Sinne einer reaktiven Beeinflussung des Komplexitätsgrades
- **Beherrschung von Komplexität**, wenn ein gewisser Komplexitätsgrad unvermeidbar ist

Für die wirtschaftliche Umsetzung dieser Strategien im industriellen Umfeld sind geeignete Methoden und Hilfsmittel notwendig. Aufgrund der Vielzahl existierender Methoden, ist eine vollständige Vorstellung im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht leistbar. Daher werden im folgenden Abschnitt lediglich matrixbasierte Ansätze zur Bewältigung der Produkt- und Prozesskomplexität vorgestellt.

### 3.5.2 Matrixbasierte Ansätze zur Komplexitätsbewältigung

Mit der „Design Structure Matrix (DSM)<sup>29</sup>“ beschrieb STEWARD 1981b einen Ansatz zur Modellierung und Analyse komplexer Systeme. Dabei handelt es sich um eine Matrix zur Darstellung intraspezifischer Beziehungen von Systemelementen einer Domäne (siehe Abbildung

<sup>29</sup> In der Literatur werden folgende Begriffe synonym verwendet: Dependency Structure Matrix, Dependency Map, Interaction Matrix, Incidence Matrix, Precedence Matrix, Problem-Solving Matrix im englischsprachigen Raum (BROWNING 2001) oder auch Einflussmatrix im deutschsprachigen Raum (LINDEMANN 2009, S. 259).

3-29). Die Elemente können beispielsweise Produktkomponenten, Anforderungen oder auch Prozessschritte repräsentieren. Eine DSM lässt sich mittels folgender Kriterien charakterisieren (vgl. LINDEMANN ET AL. 2009, S. 50 f.; BROWNING 2001; STEWARD 1981b):

- gleiche Anzahl an Zeilen und Spalten („quadratische“ Matrix)
- die Bezeichnung und Reihenfolge der Zeilen- und Spaltenelemente sind identisch
- die Matrix-Relationen können in binärer oder numerischer Form vorliegen
- die Matrix-Relationen sind in der Form „Zeile beeinflusst Spalte“ zu interpretieren und können gerichtet oder ungerichtet (bi-direktional) sein
- die Felder der Matrix-Diagonale deuten auf selbstreflexive Relationen der entsprechenden Elemente hin und werden normalerweise leer oder geschwärzt dargestellt

Design Structure Matrix (DSM)

		1	2	3	4	5	6	7	8
Element 1			X						
Element 2					X				
Element 3	X			X					X
Element 4					X				
Element 5			X						
Element 6							X		
Element 7				X		X			
Element 8		X							

Binäre, gerichtete Relation  
(Element 4 beeinflusst Element 5)

Binäre, ungerichtete Relation  
(Element 6 und Element 7 beeinflussen sich gegenseitig)

Element der Matrix-Diagonale

Domain Mapping Matrix (DMM)

		Domäne 2			
		Person	Person	Person	Person
		1	2	3	4
Domäne 1	Element 1		X		
	Element 2			X	X
	Element 3	X			
	Element 4		X		
	Element 5	X			X

Abbildung 3-29: Darstellung einer beispielhaften DSM (links) und DMM (rechts)

Der DSM-Ansatz wurde im Laufe der Zeit von verschiedensten Autoren aufgegriffen und als Grundlage für die methodische Unterstützung komplexer Produktentwicklungsaufgaben adaptiert (vgl. ERIXON 1998, S. 72 ff.; LANNER & MALMQVIST 1996; PIMMLER & EPPINGER 1994; AKAO 1990; KUSIAK & PARK 1990). Aufgrund dessen finden sich mittlerweile zahlreiche Beispiele erfolgreicher DSM-Anwendungen in den unterschiedlichsten Bereichen (YASSINE 2004).

BROWNING (2001) liefert eine Übersicht verschiedener DSM-Typen sowie ihrer Anwendungsbereiche und unterscheidet dabei grundlegend zwischen statischen und zeitbasierten DSMs. Statische DSMs repräsentieren zeitgleich existierende Elemente, wie z. B. Produktkomponenten oder organisatorische Einheiten und werden üblicherweise mit Hilfe von Clustering-Algorithmen analysiert. Zeitbasierte DSMs hingegen indizieren durch die Reihenfolge der Zeilen und Spalten einen Zeitablauf und werden typischerweise mit Hilfe von Sequencing<sup>30</sup>-Algorithmen analysiert. Darüber hinaus unterscheidet BROWNING (2001, S. 293) die folgenden vier DSM-Typen und ordnet diesen statische oder zeitliche Eigenschaften zu (siehe Abbildung 3-30):

- **Komponenten-basierte DSM** – wird verwendet zur Modellierung von Systemarchitekturen bestehend aus Komponenten und/oder Teilsystemen und deren Beziehungen

<sup>30</sup> In der Literatur werden folgende Begriffe synonym verwendet: Partitioning, Diagonalization, Triangularization (vgl. LINDEMANN ET AL. 2009; SHARMAN & YASSINE 2004; BROWNING 2001; EPPINGER ET AL. 1994).

- **Personen-basierte DSM** – wird verwendet zur Modellierung organisatorischer Strukturen bestehend aus Personen und/oder Gruppen und deren Interaktionen
- **Aktivitäten-basierte DSM** – wird verwendet zur Modellierung von Prozessen und bestehend aus Aktivitäten sowie ihrer Informationsflüsse und anderer Abhängigkeiten
- **Parameter-basierte DSM** – wird verwendet zur Modellierung von Beziehungen zwischen Entwicklungsentscheidungen und Parametern, Systemgleichungen usw.

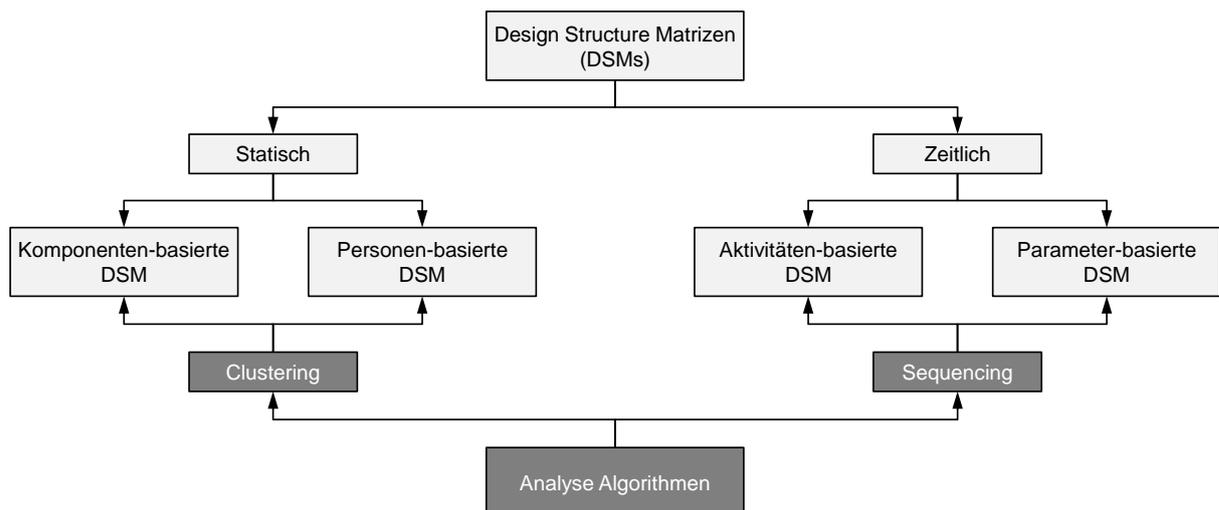


Abbildung 3-30: Klassifizierung von DSMs nach BROWNING (2001, S. 293) und Zuordnung geeigneter Analyse-Algorithmen (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 53)

Sowohl die Analyse-Algorithmen des Clusterings als auch die des Sequencings basieren auf einer systematischen Umsortierung der Matrix-Zeilen und -Spalten mit dem Ziel, strukturelle Systemmerkmale hervorzuheben. YASSINE (2004), BROWNING (2001) und KUSIAK (1999) stellen dafür geeignete Algorithmen zur Verfügung, die zum Teil ohne Software-Unterstützung angewendet werden können. LINDEMANN ET AL. (2009, S. 54) postulieren an dieser Stelle jedoch, dass eine Analyse von Matrizen, die mehr als 30 Elemente aufweisen, ohne Software-Unterstützung nahezu unmöglich ist. Bevor im weiteren Verlauf dieses Abschnittes die prinzipiellen Vorgehensweisen der Analyse-Algorithmen des Clusterings und des Sequencings vorgestellt werden, soll zunächst noch auf die Domain Mapping Matrix<sup>31</sup> (DMM) eingegangen werden.

Während eine DSM der Darstellung intraspezifischer Beziehungen zwischen Systemelementen einer Domäne dient, stellt eine DMM interspezifische Beziehungen zwischen Systemelementen zwei unterschiedlicher Domänen dar (siehe Abbildung 3-29). DMMs repräsentieren demzufolge das Gegenstück zu den DSMs und sind insbesondere im Bereich von Entwicklungsmethodiken weit verbreitet (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 54). DANILOVIC & SIGEMYR (2003) haben in ihrer Veröffentlichung verschiedene Methoden zur systematischen Analyse von DMMs identifiziert, die jedoch an dieser Stelle nicht näher betrachtet werden.

<sup>31</sup> In der Literatur werden folgende Begriffe synonym verwendet: Cause and Effect Matrix, Interface Structure Matrix (vgl. ALLEN 2006; KUSIAK ET AL. 2006).

## Clustering-Algorithmen

Das Ziel der Clustering-Algorithmen besteht allgemein darin, Subsysteme zu identifizieren, die eine hohe Anzahl interner Beziehungen zwischen den enthaltenen Komponenten aufweisen und im Vergleich dazu, nur eine geringe Anzahl externer Beziehungen (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 227; YU ET AL. 2007). Derartige Subsysteme werden als „Cluster“<sup>32</sup> bezeichnet (siehe die beispielhafte Identifikation von drei Clustern in Abbildung 3-31). Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Clustering-Algorithmen (vgl. YU ET AL. 2007; SHARMAN & YASSINE 2004; WHITFIELD ET AL. 2002; KUSIAK 2000; PIMMLER & EPPINGER 1994; ALEXANDER 1964, S. 116 ff.). Die Identifikation der Cluster erfolgt jedoch bei allen Algorithmen analog, durch die systematische Umsortierung der Matrix-Zeilen und -Spalten, so dass die Matrix-Relationen in Richtung der Diagonale verschoben und dort entsprechend in Clustern gruppiert werden.

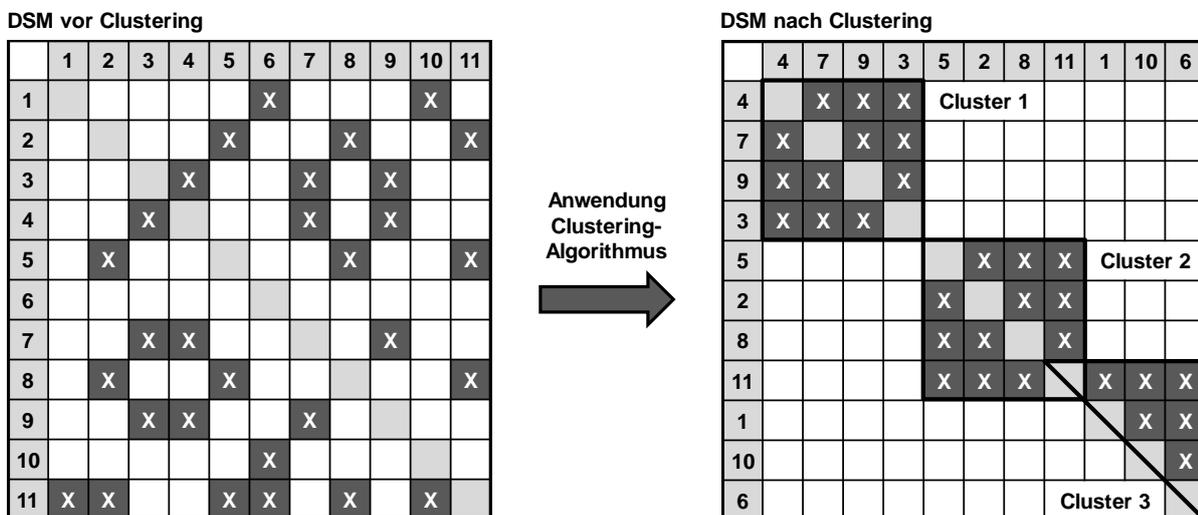


Abbildung 3-31: Identifikation von DSM-Clustern mittels Clustering (nach LINDEMANN ET AL. 2009, S. 90)

Das Clustering von (statischen) Komponenten-basierten DSMs bildet die Basis für die Entwicklung modularer Produktarchitekturen (vgl. Abschnitt 3.2.2). Denn jedes Cluster innerhalb einer Komponenten-basierten DSM hat die Eigenschaft, dass die Änderung einer zugehörigen Komponente mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Folgeänderungen an einer anderen Komponente des Clusters führt. Die Wahrscheinlichkeit einer Folgeänderung an einer Komponente außerhalb des Clusters ist dagegen deutlich geringer, da die Anzahl der externen Relationen gegenüber den internen deutlich geringer ist (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 227; BROWNING 2001). In ähnlicher Weise lassen sich Rückschlüsse für das Clustering von (zeitlichen) Aktivitäten-basierten DSMs ziehen, die beispielsweise Informationsflussbeziehungen zwischen den Elementen abbilden. So werden in einem solchen Fall Cluster innerhalb der Aktivitäten-basierten DSM identifiziert, die untereinander ein hohes Maß an Informationsaustausch erfordern. Damit können effiziente, ablaufoptimierte Entwicklungsprozesse definiert werden, die einerseits keine

<sup>32</sup> In der Literatur werden folgende Begriffe synonym verwendet: Chunk (PIMMLER & EPPINGER 1994), Modules (YU ET AL. 2007).

unnötigen Iterationen<sup>33</sup> aufweisen und andererseits die Auswirkungen unumgängliche Iterationen in Folge bidirektionaler Relationen minimieren (ROELOFSEN 2011, S. 132).

Clustering-Algorithmen sind weitverbreitete, etablierte und systematische Ansätze zur Analyse komplexer Systeme, die sich sowohl auf statische als auch auf zeitliche DSMs anwenden lassen und damit über ein großes Einsatzspektrum verfügen. Der Großteil existierender Methoden aus dem Bereich der modularen Produktentwicklung baut auf diesen Ansätzen auf. Vor dem Hintergrund, dass eine manuelle Anwendung von Clustering-Algorithmen jedoch nur für eine maximale Anzahl von ca. 30 Elementen möglich ist (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 54), erscheint eine geeignete Software-Unterstützung für reale Anwendungsfälle unumgänglich.

### Sequencing-Algorithmen

Das Ziel der Sequencing-Algorithmen besteht allgemein in der Identifikation eng vernetzter Systemelemente sowie daraus resultierender (möglicher) Iterationen im Entwicklungsprozessablauf (BROWNING 2001; EPPINGER ET AL. 1994). Demzufolge werden Sequencing-Algorithmen insbesondere auf zeitliche DSMs angewendet, deren Elemente gerichtete Relationen aufweisen (siehe Abbildung 3-30). Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Sequencing-Algorithmen (vgl. TANG ET AL. 2000; KUSIAK 1999; KUSIAK & WANG 1993; STEWARD 1981a; WARFIELD 1973; WEIL & KETTLER 1971). Das grundlegende Prinzip ist jedoch bei allen Algorithmen gleich – die Zeilen und Spalten der Matrix werden systematisch so umsortiert, dass die gerichteten Relationen (insofern möglich) über die Matrixdiagonale verschoben werden. Wie auch bei den Clustering-Algorithmen, werden die Relationen des Systems im Zuge der Umsortierung nicht verändert.

Befinden sich nach der Anwendung eines Sequencing-Algorithmus keine Relationen mehr unterhalb der Matrixdiagonale, können die Entwicklungsprozessschritte ohne Iterationen durchgeführt werden. In diesem Fall beeinflusst jeder Prozessschritt nur nachfolgende Prozessschritte. Befinden sich jedoch nach der Algorithmen-Anwendung noch Relationen unterhalb der Matrixdiagonale, handelt es sich dabei um mögliche Iterationen innerhalb des Entwicklungsprozessablaufs. In einem solchen Fall werden die Relationen weitestgehend in Richtung der Matrixdiagonale verschoben (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 231; MEIER ET AL. 2007). In Abbildung 3-32 benötigt beispielsweise das Element 3 einen Informationsfluss von Element 5, der jedoch erst am Ende des Prozessablaufs realisiert werden kann. Die Prozessaktivität des Elements 3 kann demzufolge nur durch eine Annahme der benötigten Informationen durchgeführt werden, die am Ende des Prozessablaufs validiert werden muss und unter Umständen eine Iteration erfordert (BROWNING & RAMASESH 2007). Prinzipiell gilt in einem solchen Fall, je näher die Relationen in Richtung der Matrixdiagonale verschoben werden, desto weniger Prozessschritte müssen im Falle einer Iteration wiederholt werden (MEIER ET AL. 2007).

Für den Fall, dass neben den gerichteten auch ungerichtete (bidirektionale) Relationen innerhalb der DSMs vorliegen, werden diese mit Hilfe der Sequencing-Algorithmen entlang der

---

<sup>33</sup> In einer Aktivitäten-basierten DSM liegt eine Iteration (Kreisschluss) vor, wenn ein Matrix-Element über ein oder mehrere andere Matrix-Elemente mit sich selbst verbunden ist (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 218).

Diagonalen geclustert. Auf diese Weise werden Elemente, die aufgrund ungerichteter Relationen eng miteinander vernetzt sind, in entsprechenden Clustern zusammengefasst.

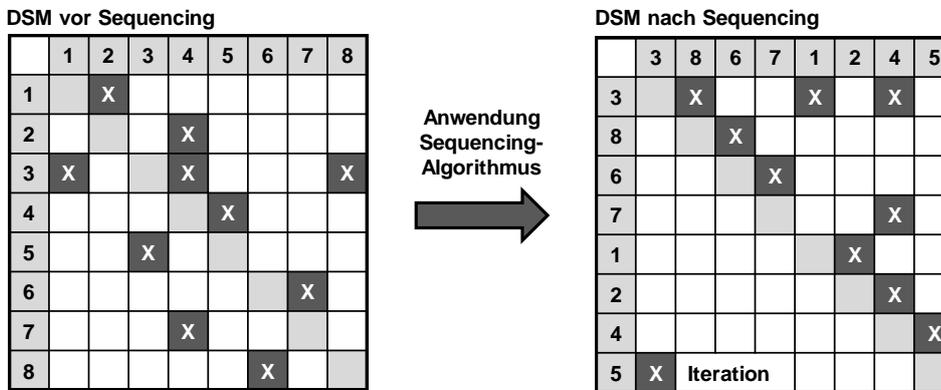


Abbildung 3-32: Identifikation von Iterationen mittels Sequencing (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 93)

Sequencing-Algorithmen sind Ansätze zur systematischen Identifikation eng vernetzter Systemelemente, die Implikationen für mögliche Iterationen innerhalb des Entwicklungsprozessablaufs bereitstellen. Ferner können auf dieser Basis optimierte Entwicklungsprozessabläufe definiert werden. Insbesondere in dynamischen Systemen mit zeitlich veränderlichen Parametern, können Entwicklungsprozessschritte in ablauforientierte Sequenzen untergliedert und damit zeit- und kostenaufwendige Iterationen vermieden werden.

### 3.6 Schlussfolgerung und Ableitung von Handlungsbedarfen

Zum Abschluss dieses Kapitels werden nachfolgend die vorgestellten Methoden und Ansätze hinsichtlich der Zielsetzung dieser Arbeit (vgl. Abschnitt 1.3) abschnittsweise bewertet und darauf aufbauend entsprechende Handlungsbedarfe abgeleitet.

Die Analyse der in Abschnitt 3.1 dargestellten Vorgehensmodelle hat gezeigt, dass der Aufbau sämtlicher Modelle an den grundlegenden Schritten der Ziel- und Lösungssuche sowie der Bewertung, Auswahl und Realisierung von Lösungsalternativen orientiert ist. Der Aufbau des zu entwickelnden Integrierten Vorgehens soll demnach ebenfalls an diesen Schritten orientiert werden. Damit soll eine durchgehende und strukturierte Vorgehensweise sichergestellt werden. Darüber hinaus macht LINDEMANN (2009, S. 35) deutlich, dass im Rahmen von Entwicklungstätigkeiten Entscheidungen von großer Tragweite häufig unbewusst und ohne vorherige, kritische Reflexion getroffen werden. Dies führt nicht selten zum Scheitern eines Entwicklungsprojektes (LINDEMANN 2009, S. 35). Um das zu verhindern, soll das Integrierte Vorgehen den Anwender, in Anlehnung an existierende Vorgehensmodelle, stets dazu anhalten, seine Entscheidung auf Basis einer umfangreichen Problemanalyse zu reflektieren.

Die vorgestellten Methoden zur Entwicklung modularer Produktarchitekturen (vgl. Abschnitt 3.2.2) beschreiben effektive Ansätze zur Identifikation und Definition geeigneter Module, die unterschiedlichsten Anforderungen gerecht werden. Die Methode des Modular Engineering nach KOPPEHAGEN (2004, S. 72 ff.) sticht aufgrund der systematischen Berücksichtigung technisch-funktionaler und produktstrategischer Entwicklungsaspekte hervor und soll deshalb für

die Bewertung der Individualisierungspotentiale adaptiert werden. In Bezug auf die selbstindividualisierungsgerechte Produktstrukturanpassung muss jedoch festgestellt werden, dass die vorgestellten Methoden keine expliziten Ansätze zur Entkopplung und damit zur Vermeidung unerwünschter Wechselwirkungen zwischen den Modulen bereitstellen. Die Prinzipien zur Entwicklung flexibler Produktarchitekturen, welche in Abschnitt 3.2.3 beschrieben werden, adressieren zwar die Entkopplung von Modulen, geben aber keinen genauen Aufschluss über ein entsprechendes Vorgehen. Inwieweit diese Prinzipien für die Handlungsphase der Produktstrukturanpassung adaptiert werden können, wird in Kapitel 4, anhand definierter Kriterien bewertet.

Die in Abschnitt 3.3 vorgestellte „Change Prediction Method“ (CPM) nach CLARKSON ET AL. (2001) repräsentiert eine, in der Praxis etablierte und inzwischen weitverbreitete Methode zur systematischen Identifikation möglicher Change Propagation. Trotz einer zeitaufwendigen Bewertung der Ausbreitungswahrscheinlichkeiten, besitzt die CPM großes Potential für das Integrierte Vorgehen. Sowohl die Verwendung von DSM-Ansätzen als auch die Möglichkeit einer softwarebasierten Anwenderunterstützung sind wesentliche Argumente dafür. Aus diesem Grund soll die CPM für die Abschätzung resultierender Änderungsaufwände in Folge von Produktstrukturanpassungen adaptiert werden.

Die existierenden Methoden zur Gestaltung und Strukturierung von Entwicklungsprozessen (vgl. Abschnitt 3.4) beschreiben allgemeingültige, systematische Vorgehensweisen, die großes Potential für die vorliegende Arbeit aufweisen. Aufgrund des modularen, matrixbasierten Aufbaus verspricht das „House of Processes“ (HoP) nach BAUMBERGER (2007, S. 197 ff.) eine aufwandsarme und transparente Ableitung von Entwicklungsprozessschritten. Eine weitere Unterstützung bieten an dieser Stelle die generischen Prozessschritte des FORFLOW-Prozessmodells auf der Ebene der operativen Systemgestaltung. Für die Dokumentation der abgeleiteten Prozessschritte repräsentiert die Methode der Prozessbausteine wiederum einen formalen und konsistenten Ansatz. Insbesondere aufgrund ihres systematischen und allgemeingültigen Charakters, sollen das HoP, die generischen Prozessschritte sowie die Prozessbausteine für den zu entwickelnden Lösungsansatz adaptiert werden. Neben der Definition und Dokumentation erforderlicher Prozessschritte, soll das Integrierte Vorgehen den Produktentwickler bei der Ermittlung einer effizienten Bearbeitungsreihenfolge unterstützen. Dafür liefert der Stage-Gate®-Ansatz eine etablierte und in der Praxis vielfach bewährte Vorgehensweise.

Unabhängig von den bereits aufgezeigten Potentialen existierender Methoden, können die in Abschnitt 3.5 beschriebenen Clustering- und Sequencing-Algorithmen als unterstützende Vorgehensweisen zur Komplexitätsbewältigung angewendet werden. Aus diesem Grund sollen diese beiden Ansätze im Rahmen des Integrierten Vorgehens, falls notwendig, für den Umgang mit komplexen Modellen und Strukturen herangezogen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass gegenwärtig kein durchgängiges Vorgehen existiert, das den Produktentwickler bei der Durchführung einer selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung unterstützt. Vielmehr existieren einzelne Methoden und Ansätze aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen, die für die Entwicklung des Integrierten Vorgehens in neuartiger Weise adaptiert und kombiniert werden müssen. Sowohl die Bewertung der Individualisierungspotentiale als auch die Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten stellen dabei den größten Handlungsbedarf dar.

## 4. Lösungsansatz

*Gegenstand dieses Kapitels ist die Beschreibung eines integrierten Vorgehens zur methodischen Unterstützung des Produktentwicklers bei der Entwicklung selbstindividualisierbarer Massenprodukte. Das erklärte Ziel ist eine geeignete Anpassung der Produktstruktur als Grundvoraussetzung für die Maximierung kundenseitiger Individualisierungsfreiheitsgrade unter Berücksichtigung relevanter Produktmerkmale. Dazu werden zunächst die Anforderungen an das Integrierte Vorgehen abgeleitet und deren Ausprägung definiert. Anschließend wird der strukturelle Aufbau des Integrierten Vorgehens präsentiert. Im weiteren Verlauf werden die Handlungsphasen inklusive der darin enthaltenen Handlungsschritte erläutert. Überdies werden Methoden und Hilfsmittel beschrieben, die eine aufwandsarme Durchführung der einzelnen Handlungsschritte unterstützen sollen.*

### 4.1 Anforderungen an den Lösungsansatz

Das Bestreben, den Produktentwickler bei der Durchführung von spezifischen Entwicklungstätigkeiten zu unterstützen, haben sowohl die Vorgehensmodelle (vgl. Abschnitt 3.1.1) und DfX-Richtlinien (vgl. Abschnitt 3.1.2) als auch die Methoden zur Entwicklung modularer und flexibler Produktarchitekturen (vgl. Abschnitt 3.2.2 und 3.2.3) mit dem zu entwickelnden Integrierten Vorgehen gemein. Aus diesem Grund sollen im Folgenden zunächst ausgewählte Anforderungen an Vorgehensmodelle und DfX-Richtlinien sowie Methoden zur Produktmodularisierung dargestellt werden. Darauf aufbauend werden anschließend die Anforderungen an die Entwicklung des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung abgeleitet und erläutert.

Vorgehensmodelle sollten gemäß SCHWANKL (2002, S. 96) u. a.:

- eine positive Beeinflussung der Erfolgsfaktoren Zeit, Kosten und Qualität bewirken,
- das Entwicklungsrisiko reduzieren und die Nachvollziehbarkeit des Produktentstehungsprozesses verbessern,
- Methoden und Hilfsmittel zur Unterstützung der Anwendung bereitstellen,
- eine sorgfältige Pflege und Aktualisierung der prozessbegleitenden Dokumente sicherstellen.

Nach LINDEMANN (2007, S. 3) sollten DfX-Richtlinien:

- einen spezifischen Problem- und Situationsbezug aufweisen,
- flexibel an veränderte Situationen anpassbar sein,
- die Wechselwirkungen zwischen spezifischen Domänen berücksichtigen,
- die Abhängigkeiten zwischen Elementen verschiedener Domänen berücksichtigen und
- auch frühe Phasen der Produktentwicklung unterstützen.

In Anlehnung an KOPPENHAGEN (2004, S. 30 f.) sollten Methoden zur Produktmodularisierung u. a.:

- dem Anwender möglichst konkret und übersichtlich aufzeigen, welche Handlungsschritte in welcher Weise und zu welcher Zeit durchgeführt werden sollen,
- nachvollziehbare Handlungsschritte enthalten, die miteinander kompatibel sind, logisch aufeinander aufbauen und zusammen ein geschlossenes Vorgehen bilden,
- auf Basis eines Produktmodells erfolgen, das sowohl kundenseitige Individualisierungsbedarfe als auch die relevanten technischen und strategischen Produktmerkmale berücksichtigt,
- ein algorithmisierbares Konzept aufweisen, um die Anwendung mit geeigneten IT-Lösungen unterstützen zu können sowie
- an unterschiedliche produkt- und unternehmensspezifische Situationen und Randbedingungen anpassbar sein.

Unter Berücksichtigung der aufgelisteten Anforderungen an Vorgehensmodelle, DfX-Richtlinien sowie Methoden zur Produktmodularisierung, lassen sich die Anforderungen an das zu entwickelnde Integrierte Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung ableiten. Die Anforderungen sind in Tabelle 4-1 aufgeführt und erläutert.

*Tabelle 4-1: Übersicht der Anforderungen an die Entwicklung des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung*

Beschreibung und Darstellung einer planmäßigen, durchgehenden Handlungsfolge	
A-1	Das integrierte Vorgehen soll der Produktentwicklung eine planmäßige und nachvollziehbare Folge von beschriebenen Handlungsschritten aufzeigen und damit die Erfolgsfaktoren Zeit, Kosten und Qualität positiv beeinflussen.
A-2	Die Handlungsschritte sollen konkret formulierte Anweisungen für die Produktentwicklung aufweisen. Die Formulierungen sollen dabei den Ansprüchen der Produktentwicklung genügen.
A-3	Die Handlungsschritte sollen aus Gründen der Übersichtlichkeit in übergeordneten Phasen in geeigneter Weise zusammengefasst werden. Damit soll eine aufwandsarme Suche nach Handlungsschritten ermöglicht werden.
A-4	Die Handlungsschritte sollen miteinander kompatibel sein, logisch aufeinander aufbauen und ein geschlossenes Vorgehen bilden.
A-5	Die aufgezeigte Handlungsfolge soll von der Produktentwicklung bedarfsgerecht an den jeweiligen Anwendungskontext angepasst werden können – z. B. Aussparen einzelner Handlungsschritte.
A-6	Das integrierte Vorgehen soll eine sorgfältige Pflege und Aktualisierung der prozessbegleitenden Dokumente sicherstellen.
A-7	Das integrierte Vorgehen soll das Entwicklungsrisiko reduzieren und die Nachvollziehbarkeit des Produktentstehungsprozesses verbessern.
Gewährleistung einer ganzheitlichen Problembetrachtung	
A-8	Das integrierte Vorgehen soll die Anpassung einer bestehenden Produktstruktur ermöglichen.
A-9	Während der Produktstrukturierung sollen die notwendigen technischen und strategischen Produktmerkmale berücksichtigt werden.
Anwendbarkeit und Generalisierbarkeit	
A-10	Das integrierte Vorgehen soll praxistauglich und industriell anwendbar sein.
A-11	Die Anwendbarkeit des integrierten Vorgehens soll nicht auf bestimmte Arten von Massenprodukten oder Branchen beschränkt sein.
A-12	Das integrierte Vorgehen soll der Produktentwicklung geeignete Methoden und Hilfsmittel zur Umsetzung aufgezeigter Handlungsschritte bedarfsgerecht bereitstellen und damit die Anwendbarkeit unterstützen sowie den notwendigen Aufwand reduzieren.

Die definierten Anforderungen bilden den Ausgangspunkt für die Entwicklung des Integrierten Vorgehens, welches im Folgenden vorgestellt wird.

## 4.2 Integriertes Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung

Das Integrierte Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung beschreibt, welche Handlungen der Produktentwickler in welcher Reihenfolge durchführen muss, um die eingangs beschriebene Zielsetzung (vgl. Abschnitt 1.3) zu realisieren.

Die Analyse existierender Vorgehensmodelle in Abschnitt 3.1 hat gezeigt, dass der Aufbau eines Vorgehensmodells typischerweise an den grundlegenden Schritten der Ziel- und Lösungssuche sowie der Bewertung, Auswahl und Realisierung von Lösungsalternativen orientiert ist. Die Handlungsphasen des Integrierten Vorgehens orientieren sich, wie Abbildung 4-1 darstellt, ebenfalls an diesen Schritten.



Abbildung 4-1: Einordnung der Handlungsphasen des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung in die grundlegenden Schritte existierender Vorgehensmodelle

Das Integrierte Vorgehen gliedert sich in fünf Handlungsphasen, wobei jede Handlungsphase aus Handlungsschritten besteht, die sequentiell<sup>34</sup> aufeinander aufbauen (siehe Abbildung 4-2). Das Vorgehen kann jedoch individuell an die jeweilige Entwicklungssituation angepasst werden. Durch eine Darstellung der notwendigen Eingangs- und resultierenden Ausgangsinformationen aufgezeigter Handlungsschritte (vgl. Abschnitt 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 und 4.7), kann der Produktentwickler individuell festlegen, welche Schritte durchgeführt und welche ausgespart

<sup>34</sup> Die Sequenz wird durch die Nummerierung (1 bis 5) der Handlungsphasen vorgegeben.

werden – beispielsweise, weil die Ausgangsinformationen eines Handlungsschrittes bereits vorliegen oder anderweitig akquiriert werden. Zur Unterstützung der Anwendung aufgezeigter Handlungsschritte werden dem Produktentwickler Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt.

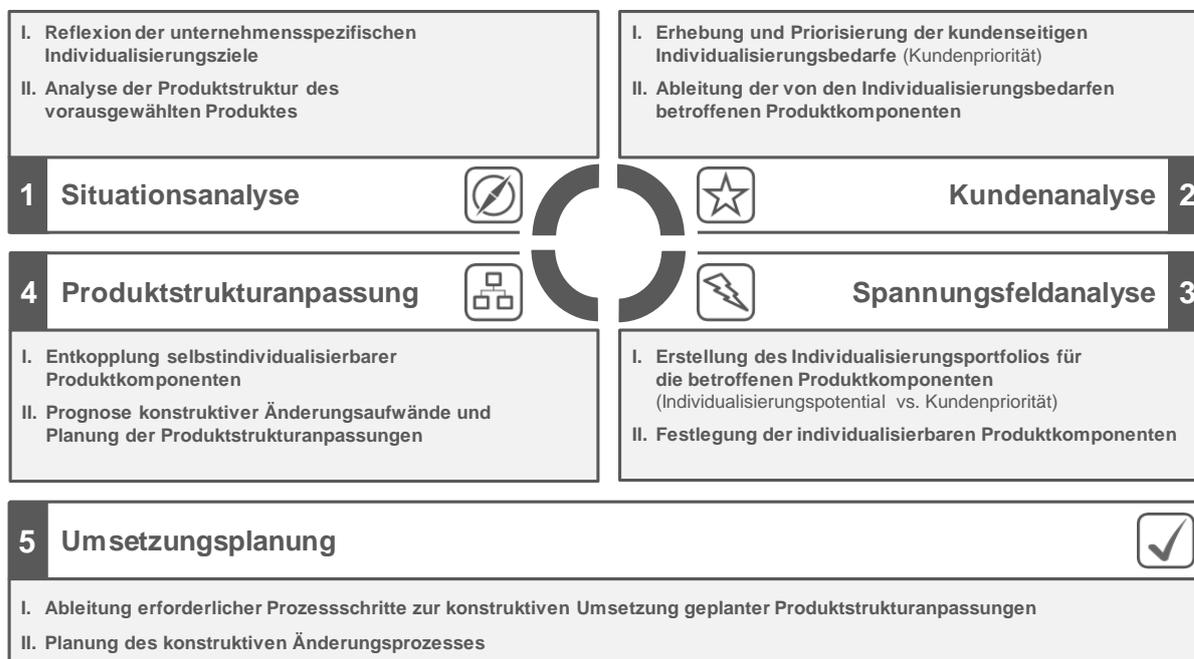


Abbildung 4-2: Übersicht der Handlungsphasen und korrespondierenden Handlungsschritte des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung

Im Rahmen der Handlungsphase der **Situationsanalyse** wird zunächst die unternehmensspezifische Individualisierungszielsetzung reflektiert. Wie bereits in Abschnitt 1.3 dargestellt wurde, existiert insbesondere im industriellen Kontext eine sehr heterogene Auslegung des Begriffes „Produktindividualisierung“. Aus diesem Grund wird der Produktentwickler vor Beginn der selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung dazu angehalten, die angestrebte Individualisierungsform zu reflektieren. Anhand einer Übersicht möglicher Individualisierungsformen (von der kundenindividuellen Produktauswahl bis zur kundenindividuellen Entwicklung) ordnet der Produktentwickler die Unternehmensziele ein und bewertet, ob die Anwendung des Integrierten Vorgehens zielführend ist. Erst dann wird mit der Analyse des für die Selbstindividualisierung ausgewählten Produktes begonnen. An dieser Stelle ist die Analyse der Produktstruktur sowie der horizontalen Beziehungen zwischen den Produktkomponenten von zentraler Bedeutung. Darauf aufbauend sind durch den Produktentwickler die Produktkomponenten oder Baugruppen festzulegen, die aufgrund produktstrategischer oder technischer Merkmale von der Selbstindividualisierung unbeeinflusst bleiben müssen. Das Ergebnis dieser ersten Handlungsphase ist ein strukturelles Modell der Produktkomponenten, die den Kunden aus Unternehmenssicht prinzipiell zur Selbstindividualisierung angeboten werden können. Hochstandardisierte Produktkomponenten können an dieser Stelle bereits von der Selbstindividualisierung ausgeschlossen werden. Dadurch kann der resultierende Aufwand für nachfolgende Handlungsphasen reduziert werden.

Die **Kundenanalyse**, als zweite Handlungsphase des Integrierten Vorgehens, beinhaltet die Erhebung und anschließende Priorisierung der kundenseitigen Individualisierungsbedarfe. Davon ausgehend werden im nächsten Handlungsschritt die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten abgeleitet. Für eine zielgerichtete Durchführung dieses Handlungsschrittes, wird der Produktentwickler dazu angehalten, die Erhebung der Individualisierungsbedarfe auf diesen Handlungsschritt auszurichten. Zentrales Ergebnis der zweiten Handlungsphase ist eine aus Kundensicht priorisierte Auflistung der Produktkomponenten, die zukünftig selbstindividuell gestaltbar sein sollen – im weiteren Verlauf als Kundenpriorität bezeichnet – sowie eine Beschreibung der gewünschten Individualisierungsumfänge.

In der Handlungsphase der **Spannungsfeldanalyse** werden die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten hinsichtlich ihrer potentiellen Eignung für kontinuierliche Selbstindividualisierungen bewertet. Dieses Individualisierungspotential basiert auf der Berücksichtigung technischer und strategischer Produktmerkmale. Das Integrierte Vorgehen zeigt dem Produktentwickler an dieser Stelle mögliche Produktmerkmale auf, die anwendungsfallspezifisch erweitert werden können. Zum Abschluss dieses Handlungsschrittes werden die betroffenen Produktkomponenten in das zweidimensionale Spannungsfeldportfolio eingeordnet. In diesem wird für jede betroffene Produktkomponente die Kundenpriorität (Ergebnis der Kundenanalyse) dem Individualisierungspotential gegenübergestellt. Das Spannungsfeldportfolio ermöglicht dem Produktentwickler im anschließenden Handlungsschritt die Festlegung der Produktkomponenten, die den Kunden zur Selbstindividualisierung angeboten werden sollen.

Die im Rahmen der Spannungsfeldanalyse festgelegten Produktkomponenten bilden den Ausgangspunkt für die Handlungsphase der **Produktstrukturanpassung**. Im ersten Handlungsschritt werden diese Produktkomponenten strukturell entkoppelt, indem deren Schnittstellen entsprechend angepasst werden. Das übergeordnete Ziel ist die Maximierung der kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade ohne eine schädliche Beeinflussung relevanter technischer und/oder strategischer Produktmerkmale. Ist die Planung der Produktstrukturanpassung abgeschlossen, werden im nächsten Handlungsschritt die daraus resultierenden Änderungsauswirkungen und darauf aufbauend die notwendigen Konstruktionsaufwände prognostiziert. Anhand dieser Informationen, kann der Produktentwickler entscheiden, ob die geplanten Produktstrukturanpassungen mit den vorhandenen Entwicklungsressourcen konstruktiv umsetzbar sind oder nicht. Sollten die geplanten Anpassungen nicht umsetzbar sein, ist die Anpassung der Produktstruktur iterativ so lange durchzuführen bis die prognostizierten Aufwände mit den zur Verfügung stehenden Entwicklungsressourcen abgedeckt werden können. Im letzten Handlungsschritt dieser Phase werden die umzusetzenden Produktstrukturanpassungen vom Produktentwickler festgelegt und dokumentiert.

Ausgehend von der Dokumentation durchzuführender Produktstrukturanpassungen, wird in der letzten Handlungsphase deren konstruktive **Umsetzung geplant**. Dazu werden für jede geplante Strukturanpassung notwendige Prozessschritte abgeleitet und spezifiziert. Konzipieren, Konstruieren, Auslegen und Absichern sind typische Beispiele für solche Prozessschritte. Anschließend werden die spezifizierten Prozessschritte in eine aufwandsoptimierte Reihenfolge gebracht und damit der Prozess zur konstruktiven Umsetzung der Produktstrukturanpassungen definiert. Ein wesentliches Optimierungskriterium ist die Vermeidung von zeit- und

kostenaufwendigen Iterationen. Abhängig vom Umfang des konstruktiven Umsetzungsprozesses wird dieser abschließend in geeignete Umsetzungsphasen (sogenannte Stages) aufgeteilt. Auf diese Weise kann der Produktentwickler bereits frühzeitig mögliche Planungsabweichungen erkennen und falls notwendig, korrigierend eingreifen.

In den folgenden Abschnitten werden die Handlungsschritte innerhalb der fünf Handlungsphasen beschrieben sowie entsprechende Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt, die deren Durchführung unterstützen sollen.

### 4.3 Handlungsphase 1 – Situationsanalyse

Das Ziel der **ersten Handlungsphase** ist die Entscheidung über die Anwendung des Integrierten Vorgehens sowie die Erstellung des Produktstrukturmodells für das festgelegte Ausgangsprodukt. Die Handlungsphase gliedert sich in zwei Handlungsschritte. In Abbildung 4-3 sind neben dem notwendigen Input und resultierenden Output (Ziele) der Handlungsphase, die Methoden und Hilfsmittel zur Durchführung dieser beiden Handlungsschritte dargestellt.

Im **ersten Handlungsschritt** werden die unternehmensspezifischen Individualisierungsziele reflektiert und mit Hilfe des Individualisierungskompasses eine geeignete Produktindividualisierungsform abgeleitet. Damit wird sichergestellt, dass die Unternehmensziele mit den adressierten Zielen des Integrierten Vorgehens übereinstimmen und dessen Anwendung für das jeweilige Unternehmen zielführend ist. Der notwendige Input für die Durchführung dieses Handlungsschrittes sind die unternehmensspezifischen Individualisierungsziele.

<b>Input</b>	<b>1 Situationsanalyse</b> 		<b>Output (Ziele)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unternehmensspezifische Individualisierungsziele</li> <li>• Festgelegtes Ausgangsprodukt, das zur Selbstindividualisierung befähigt werden soll</li> <li>• Produktdaten (z.B. CAD-Modell, Stücklisten)</li> </ul>	<b>Handlungsschritte</b>	<b>Methoden und Hilfsmittel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entscheidung über die Anwendung des Integrierten Vorgehens</li> <li>• Produktstrukturmodell inkl. Markierung der nicht veränderbaren Produktkomponenten</li> </ul>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Reflexion der unternehmensspezifischen Individualisierungsziele</li> <li>2) Analyse der Produktstruktur des vorausgewählten Produktes</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Individualisierungskompass</li> <li>• Produktstrukturmodell</li> </ul>	

Abbildung 4-3: Übersicht des Inputs, der Handlungsschritte, der Methoden und Hilfsmittel sowie des Outputs (Ziele) der Situationsanalyse

Im **zweiten Handlungsschritt** wird die Struktur des Ausgangsproduktes, das zur Selbstindividualisierung befähigt werden soll, analysiert und mit Hilfe der Strukturmodellierung repräsentiert. Diese Produktanalyse bildet die Grundlage für alle folgenden Handlungsphasen. Vor dem Hintergrund einer aufwandsoptimierten Durchführung, wird dem Produktentwickler aufgezeigt, welche Produktdaten in welchem Detailgrad zu erheben sind. Der notwendige Input für die Durchführung dieses Handlungsschrittes sind konsistente Produktdaten, beispielsweise in Form von CAD-Modellen oder Stücklisten.

Im Folgenden werden die beiden Handlungsschritte der Situationsanalyse beschrieben sowie Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt, die deren Durchführung unterstützen sollen.

### 4.3.1 Reflexion der unternehmensspezifischen Individualisierungsziele

Für die Reflexion der unternehmensspezifischen Individualisierungsziele wird dem Produktentwickler der in Tabelle 4-2 dargestellte Individualisierungskompass zur Verfügung gestellt. Dieser stellt ausgewählte Formen der Produktindividualisierung hinsichtlich des Grades der Individualisierung und der Kundenintegration gegenüber. Die Auswahl beschränkt sich auf Individualisierungsformen, die sowohl Massenprodukte als auch eine aktive Kundenintegration adressieren. Unter aktiver Kundenintegration wird das Mitwirken der Kunden innerhalb des Wertschöpfungsprozesses, mit Hilfe einer Interaktionsplattform verstanden.

Tabelle 4-2: Individualisierungskompass zur Einordnung unternehmensspezifischer Individualisierungsziele und Ableitung einer geeigneten Individualisierungsform (in Anlehnung an PILLER 2006, S. 218 ff. und ALICKE 2003, S. 49 f.)

Betroffene Wertschöpfungsphase	Ausgewählte Formen der Produktindividualisierung	Beschreibung der Produktindividualisierungsform
Entwicklung und Konstruktion	<p>hoch ↑</p> <p style="text-align: center;"><b>Selbstindividualisierung</b></p> <p>Bsp.: Individuelle Gestaltung von Sportschuhen mit Hilfe von Toolkits</p> <p style="text-align: center;"><b>(Fokus des Integrierten Vorgehens)</b></p>	Der Kunde gestaltet selbstständig vorausgewählte Produktkomponenten innerhalb eines definierten Lösungsraumes. Anschließend fertigt das Unternehmen die individuellen Produktkomponenten auftragspezifisch.
Fertigung	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Individualisierungsgrad</p> <p style="text-align: center;"><b>Make-to-order</b></p> <p>Bsp.: Individuelle Anpassung von Kleidung mit Hilfe von 3D-Scannern</p>	Der Kunde spezifiziert selbstständig bestimmte Produkteigenschaften innerhalb eines bestimmten Wertebereichs. Anschließend fertigt das Unternehmen das individuelle Produkt auftragspezifisch.
Montage	<p style="text-align: center;"><b>Assemble-to-order</b></p> <p>Bsp.: Individuelle Konfiguration von Fahrzeugen mit Hilfe einer Interaktionssoftware</p>	Der Kunde konfiguriert selbstständig das individuelle Produkt auf Basis vorgefertigter Standardkomponenten. Anschließend montiert das Unternehmen das Produkt auftragspezifisch.
Vertrieb	<p style="text-align: center;"><b>Match-to-order</b></p> <p>Bsp.: Individuelle Suche nach Fahrzeugangeboten mit Hilfe einer Interaktionssoftware</p> <p>niedrig →</p> <p style="text-align: center;"><b>Grad der Kundenintegration</b></p> <p style="text-align: right;">hoch</p>	Der Kunde spezifiziert selbstständig das Anforderungsprofil des individuellen Produktes anhand vordefinierter Merkmale. Anschließend wählt das Unternehmen ein passendes Produkt aus dem Produktangebot aus.

Die Konfiguration eines Produktes auf Basis vorgefertigter Produktkomponenten, wie es beispielsweise in der Automobilindustrie üblich ist, oder auch die Festlegung bestimmter Produktmerkmale (z. B. Maße in der Bekleidungsindustrie) sind mögliche Ausprägungen einer Kundenintegration.

Ist die Selbstindividualisierung das Ergebnis der Reflexion der unternehmensspezifischen Individualisierungsziele und demnach die Anwendung des Integrierten Vorgehens zielführend, wird im Folgenden, zweiten Handlungsschritt die Struktur des vorausgewählten Produktes analysiert und in einem entsprechenden Modell repräsentiert.

### **Aufbau und Funktionsweise des Individualisierungskompasses**

Nachfolgend werden die im Individualisierungskompass (siehe Tabelle 4-2) gegenübergestellten Produktindividualisierungsformen kurz beschrieben und jeweils ein Beispiel in einem typischen Anwendungsfeld aufgezeigt.

- **Match-to-order** (REICHWALD & PILLER 2009, S. 235 f.) – Die Kundenintegration findet im Anschluss an die Fertigung, in der Wertschöpfungsphase des Vertriebs statt. Mit Hilfe einer dezentralen Interaktionssoftware spezifiziert der Kunde eigenständig sein individuelles Anforderungsprofil anhand vordefinierter Merkmale (z. B. Einsatzbedingungen, Abmessungen oder Preis). Anschließend wird unternehmensintern ein passendes Produkt auf Basis des verfügbaren Angebotes ausgewählt und dem Kunden angeboten. Beispiele für diese Individualisierungsform finden sich u. a. im Bereich des Online-Autohandels, wo gemäß der Wunschspezifikation eines Kunden nach einem passenden Fahrzeug innerhalb eines bestimmten Händlernetzwerks gesucht wird.
- **Assemble-to-order** (in Anlehnung an REICHWALD & PILLER 2009, S. 236 f.; PILLER 2006, S. 218; ALICKE 2003, S. 49) – Die Kundenintegration findet in der Wertschöpfungsphase der Montage statt. Mit Hilfe einer dezentralen Interaktionssoftware konfiguriert der Kunde eigenständig das gewünschte Produkt auf Basis von bereits gefertigten Standardkomponenten. Nach erfolgtem Kundenauftrag montiert das Unternehmen auftragsspezifisch das gewünschte Produkt und liefert es an den Kunden. Ein weitverbreitetes Beispiel dieser Produktindividualisierungsform findet sich im Bereich der Automobilindustrie, wo der Kunde sein Wunschfahrzeug eigenständig auf einer internetbasierten Plattform konfigurieren und bestellen kann. Typischerweise kann er dabei aus einer endlichen Bandbreite verschiedener Motoren, Assistenzsysteme, Innenraumkomponenten sowie anderer Sonderausstattungen auswählen.
- **Make-to-order** (in Anlehnung an REICHWALD & PILLER 2009, S. 236 f.; PILLER 2006, S. 218; ALICKE 2003, S. 49) – Diese Produktindividualisierungsform orientiert sich am Prinzip der Einzelfertigung. Die Kundenintegration erfolgt in der Wertschöpfungsphase der Fertigung. Dabei spezifiziert der Kunde bestimmte Produkteigenschaften (z. B. Abmessungen, Gewicht, Leistung) innerhalb eines vordefinierten Wertebereichs. Nach erfolgtem Kundenauftrag fertigt das Unternehmen auftragsspezifisch die individuellen Produktkomponenten, montiert das Produkt und liefert es an den Kunden. Beispiele dieser Individualisierungsform finden sich im Bereich der Bekleidungsindustrie. Mit Hilfe von 3D-Scannern wird der Körper des Kunden erfasst und die gewünschte Kleidung individuell an die Passform des Kunden angepasst.
- **Selbstindividualisierung** – Die Kundenintegration erfolgt bereits innerhalb der Wertschöpfungsphase der Entwicklung und Konstruktion. Der Kunde kann ausgewählte Produktkomponenten mit Hilfe eines Toolkits eigenständig gestalten. Innerhalb eines unternehmensseitig definierten Lösungsraumes kann der Kunde sich dabei frei bewegen und individuelle Gestaltlösungen erstellen (vgl. Abschnitt 2.3.2). Neben der Geometrie

kann der Kunde typischerweise das Material und die Farbgebung entsprechender Produktkomponenten individualisieren. Nach erfolgter Selbstindividualisierung der Produktgestalt fertigt das Unternehmen auftragsspezifisch die individuellen Produktkomponenten, montiert das Produkt und liefert es an den Kunden. Beispiele dieser Individualisierungsform finden sich im Bereich der Sportartikelindustrie, wo der Kunde heute bereits Sportschuhe individuell gestalten kann.

Die Produktindividualisierungsformen lassen sich hinsichtlich des Grades der Individualisierung und der Kundenintegration qualitativ differenzieren. Der **Individualisierungsgrad** ist Ausdruck dafür, inwieweit das Produkt kundenseitig individualisiert werden kann. Dem gegenüber steht der **Grad der Kundenintegration**, der ausdrückt, wie umfangreich die dafür notwendige Kundeninteraktion ist.

Die **Selbstindividualisierung** weist unter den ausgewählten Individualisierungsformen den höchsten Grad an Individualisierung und Kundenintegration auf und ist Betrachtungsgegenstand des Integrierten Vorgehens. Aus diesem Grund ist die Anwendung des Integrierten Vorgehens nur dann zielführend, wenn die vom jeweiligen Unternehmen angestrebte Produktindividualisierungsform der Selbstindividualisierung entspricht. Sollte das Unternehmen jedoch eine der übrigen Individualisierungsformen verfolgen, wird dem Produktentwickler ausdrücklich empfohlen, einen Produktstrukturierungsansatz aus dem Bereich der kundenindividuellen Massenproduktion anzuwenden. An dieser Stelle wird nicht näher auf diese Produktstrukturierungsansätze eingegangen, sondern auf die einschlägige Literatur verwiesen – vgl. u. a. PILLER (2006, S. 218), AGRAWAL ET AL. (2001), DURAY ET AL. (2000), WALLER ET AL. (2000), GILMORE & PINE (1997), ZÄPFEL (1996).

### 4.3.2 Analyse der Produktstruktur des vorausgewählten Produktes

Für die Durchführung der Analyse der Produktstruktur des vorausgewählten Produktes werden existierende Eingangsdaten (z. B. CAD-Modell, Stücklisten) vom Produktentwickler aufbereitet und anschließend in ein geeignetes **Produktstrukturmodell** überführt.

#### Erstellung des Produktstrukturmodells

Bei der Erstellung des Produktstrukturmodells kann der Produktentwickler, abhängig von deren Verfügbarkeit, in der Regel auf verschiedene, bereits dokumentierte Produktinformationen zurückgreifen – Stücklisten, CAD- und Simulationsmodelle oder auch Fertigungszeichnungen, um an dieser Stelle einige Beispiele zu nennen. Ausgehend von diesen Informationen, werden die notwendigen Daten für die Erstellung des Produktstrukturmodells erhoben.

Abbildung 4-4 zeigt beispielhaft die Repräsentation eines solchen Produktstrukturmodells. Damit wird der physische Produktaufbau durch Verwendung der vordefinierten Elemente „Modul“, „Baugruppe“ und „Komponente“ hierarchisch abgebildet. Die Elemente beschreiben unterschiedliche Hierarchiestufen und können vom Produktentwickler beliebig angepasst und erweitert werden. Das fiktive Produkt in Abbildung 4-4 setzt sich beispielsweise aus zwei Modulen zusammen. Das Modul 1 setzt sich wiederum aus den beiden Baugruppen 1 und 2 zusammen, wobei sich diese beiden Baugruppen wiederum aus drei beziehungsweise vier Produktkomponenten zusammensetzen.

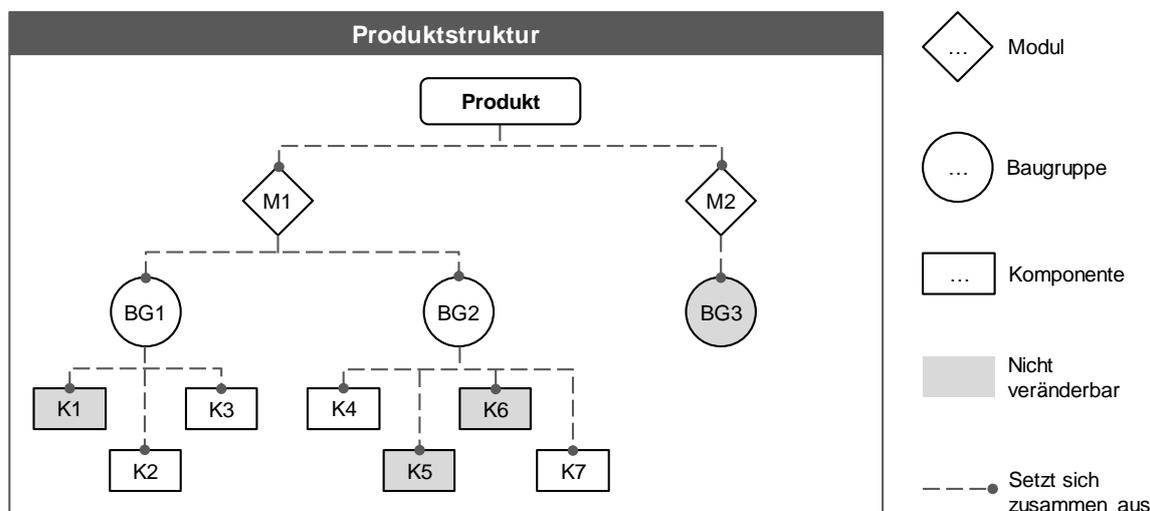


Abbildung 4-4: Modell einer fiktiven Produktstruktur mit Markierung der nicht veränderbaren Produktkomponenten/Baugruppen

Nach erfolgter Modellierung der Produktstruktur, wird der Produktentwickler dazu angehalten die Module, Baugruppen und Komponenten zu markieren, die den Kunden aus technischer und/oder strategischer Sicht nicht zur Selbstindividualisierung angeboten werden können. In Abbildung 4-4 sind die Elemente mit dem Attribut „nicht veränderbar“ grau eingefärbt. Sollte der Produktentwickler eine ganze Baugruppe als nicht veränderbar einstufen, ist es, aus Gründen der Aufwands- und Komplexitätsreduzierung, nicht notwendig die Komponenten, aus denen sich die betreffende Baugruppe zusammensetzt, zu modellieren (siehe „BG3“ in Abbildung 4-4). Darüber hinaus steigt durch die Fokussierung auf die veränderbaren Elemente die Übersichtlichkeit der Produktstrukturepräsentation.

## 4.4 Handlungsphase 2 – Kundenanalyse

Das Ziel der **zweiten Handlungsphase** ist die Erhebung und Priorisierung der kundenseitigen Individualisierungsbedarfe sowie die Ableitung der davon betroffenen Produktkomponenten. Die Handlungsphase gliedert sich in zwei Handlungsschritte. In Abbildung 4-5 sind neben dem notwendigen Input und resultierenden Output (Ziele) der Handlungsphase, die Methoden und Hilfsmittel zur Durchführung dieser beiden Handlungsschritte dargestellt.

Im **ersten Handlungsschritt** werden die kundenseitigen Individualisierungsbedarfe – vorausgesetzt diese liegen im Unternehmen noch nicht vor – mit Hilfe einer Interaktionsplattform erhoben und anschließend priorisiert. Der notwendige Input für die Durchführung dieses Handlungsschrittes sind die zu adressierenden Zielkunden sowie das Produktstrukturmodell aus der ersten Handlungsphase. Die Zielkunden sind beispielsweise vom Marketing oder Vertrieb bereitzustellen und bilden den Anwenderkreis für die Interaktionsplattform.

Im **zweiten Handlungsschritt** werden die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten abgeleitet. Dazu wird dem Produktentwickler eine Methode zur Verknüpfung von Individualisierungsbedarfen und Produktkomponenten zur Verfügung gestellt.

Der notwendige Input zur Durchführung dieser Methode ist das Produktstrukturmodell aus der ersten Handlungsphase. Das Modell liefert einerseits einen Überblick des physischen Produktaufbaus und andererseits eine Möglichkeit zur Repräsentation der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten.

<b>Input</b>	<b>2 Kundenanalyse</b> 		<b>Output (Ziele)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zielkunden (kein Output der Situationsanalyse)</li> <li>• Reflektierte Individualisierungsziele</li> <li>• Produktstrukturmodell inkl. Markierung nicht veränderbarer Komponenten</li> </ul>	<b>Handlungsschritte</b>	<b>Methoden und Hilfsmittel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Priorisierte, kundenseitige Individualisierungsbedarfe (Kundenpriorität)</li> <li>• Produktkomponenten, die von kundenseitigen Individualisierungsbedarfen betroffen sind</li> </ul>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Erhebung und Priorisierung kundenseitiger Individualisierungsbedarfe</li> <li>2) Ableitung betroffener Produktkomponenten</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interaktionsplattform zur Erhebung kundenseitiger Individualisierungsbedarfe</li> <li>• Methode zur Verknüpfung von Individualisierungsbedarfen und Produktkomponenten</li> </ul>	

Abbildung 4-5: Übersicht des Inputs, der Handlungsschritte, der Methoden und Hilfsmittel sowie des Outputs (Ziele) der Kundenanalyse

Im Folgenden werden die beiden Handlungsschritte der Kundenanalyse beschrieben sowie Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt, die deren Durchführung unterstützen sollen.

### 4.4.1 Erhebung und Priorisierung der Individualisierungsbedarfe

Die Individualisierungsbedarfe sind häufig implizite Informationen, die von den Kunden in den meisten Fällen nicht ohne Weiteres artikuliert werden können (vgl. Abschnitt 1.2). Demnach ist die Erhebung solcher Informationen für den Produktentwickler in der Regel sehr zeit- und kostenintensiv.

Aus diesem Grund sieht das Integrierte Vorgehen für diesen Handlungsschritt eine aktive Kundenintegration vor. Dabei werden Kunden mittels einer Interaktionsplattform gezielt dazu angeregt, sich ihrer Individualisierungsbedarfe selbstständig bewusst zu werden und diese in geeigneter Weise zu dokumentieren ohne in direktem Kontakt mit dem jeweiligen Unternehmen treten zu müssen. Aus Gründen einer kontinuierlichen Erreichbarkeit und einer dezentralen Integration – es wird davon ausgegangen, dass sich die Kunden nicht zur gleichen Zeit am gleichen Ort aufhalten – basiert das Konzept der Interaktionsplattform auf Internetanwendungen. Ein weiterer Vorteil einer solchen internetbasierten Kundenintegration ist die Möglichkeit eines bilateralen Austausches zwischen den Kunden. Damit können sich Kunden mit ihren Ideen gegenseitig inspirieren und bei der Externalisierung ihrer Individualisierungsbedarfe unterstützen. Zudem werden Kunden dazu angehalten, die Beiträge anderer Kunden zu bewerten. Eine solche Bewertung dient dem Produktentwickler zur Priorisierung der erhobenen Individualisierungsbedarfe und damit zur Beantwortung der Frage, welche Individualisierungsbedarfe den Kunden am wichtigsten sind (Kundenpriorität).

Durch eine geeignete Gestaltung der Interaktionsplattform kann unternehmensseitig schlussendlich eine aufwandsarme und interpretationsfreie Ableitung betroffener Produktkomponenten gewährleistet werden.

### Konzeption der Interaktionsplattform

Wie in Abbildung 4-6 dargestellt, unterteilt sich die Interaktionsplattform in die zwei Bereiche „Beitrag erstellen“ und „Community“. Im Bereich „Beitrag erstellen“ werden die Kunden dazu angehalten ihre Individualisierungsbedarfe innerhalb eines definierten Rahmens selbstständig zu erheben und anschließend zu dokumentieren. Der Bereich „Community“ dient den Kunden hingegen als Kommunikationsplattform, um sich gegenseitig zu inspirieren und zu unterstützen. Zudem werden die Kunden in diesem Bereich dazu angehalten die Beiträge anderer Kunden anhand eines vordefinierten Schemas zu bewerten.

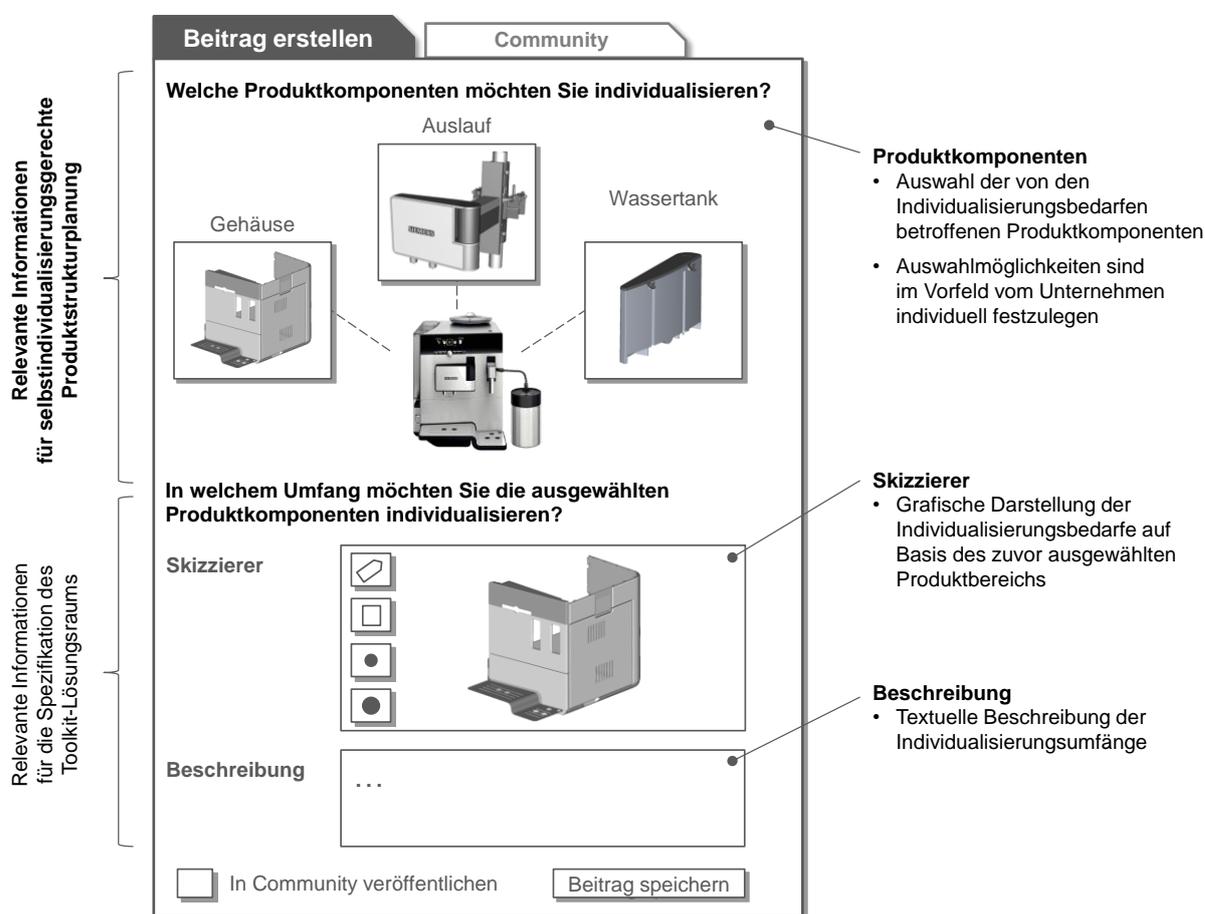


Abbildung 4-6: Konzeptioneller Aufbau der Interaktionsplattform für den Bereich „Beitrag erstellen“ am Beispiel eines Kaffeevollautomaten der BSH Hausgeräte GmbH

Das Konzept der Interaktionsplattform bildet den Ausgangspunkt für die softwarebasierte Umsetzung, auf die jedoch an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird, da sich dieses Thema außerhalb des Fokus der vorliegenden Arbeit befindet. Im Folgenden wird das Konzept der beiden Bereiche beschrieben.

**Plattformbereich „Beitrag erstellen“**

Die Entwicklung des Konzeptes der Interaktionsplattform für den Bereich „Beitrag erstellen“ wird einerseits durch die Klärung der Frage bestimmt, was die Kunden in Bezug auf das vorausgewählte Produkt zukünftig und in welchem Umfang individualisieren möchten. Andererseits muss berücksichtigt werden, dass für den weiteren Verlauf der Produktstrukturplanung, die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten vom Produktentwickler aufwandsarm und interpretationsfrei abgeleitet werden müssen. An dieser Stelle wird deutlich, dass es nicht zielführend wäre, die Kunden lediglich mit einer offenen Frage zu konfrontieren. Vielmehr wird der Produktentwickler dazu angehalten, vorausgewählte Module, Baugruppen oder Produktkomponenten aufzuzeigen, für die sich die Kunden im ersten Schritt entscheiden müssen (siehe Beschreibung zu „Produktkomponenten“ in Abbildung 4-6). Damit wird die Frage geklärt, welche Produktkomponenten die Kunden individualisieren möchten sowie einer aufwandsarmen und interpretationsfreien Weiterverarbeitung dieser Informationen Rechnung getragen.

Der Produktentwickler ist in der Pflicht, auf Basis des Produktstrukturmodells der ersten Handlungsphase festzulegen, auf welcher Hierarchieebene die kundenseitigen Individualisierungsbedarfe erhoben werden sollen. Dabei muss er entscheiden, ob im weiteren Verlauf dieser Handlungsphase die Individualisierungsbedarfe auf betroffene Produktkomponenten, Baugruppen oder Module heruntergebrochen werden sollen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass eine nachträgliche Spiegelung der Individualisierungsbedarfe von Modul- auf Baugruppenebene oder von Baugruppen- auf Komponentenebene unter Umständen mit einem Interpretationsspielraum verbunden ist. Im schlimmsten Fall könnte es zu einer Fehlinterpretation seitens des Produktentwicklers kommen, was dazu führen würde, dass die angebotenen Selbstindividualisierungen schlussendlich nicht den Vorstellungen der Kunden entsprechen.

Nach Klärung der Frage, welche Produktkomponenten die Kunden individualisieren möchten, stellt sich die Frage nach dem Individualisierungsumfang. Dieser ist, wie in Abbildung 4-7 dargestellt, ein relevanter Input für die Spezifikation des Toolkit-Lösungsraumes, die sich direkt an die konstruktive Umsetzung geplanter Produktstrukturadaptierungen anschließt und damit außerhalb des Fokus der vorliegenden Arbeit liegt.

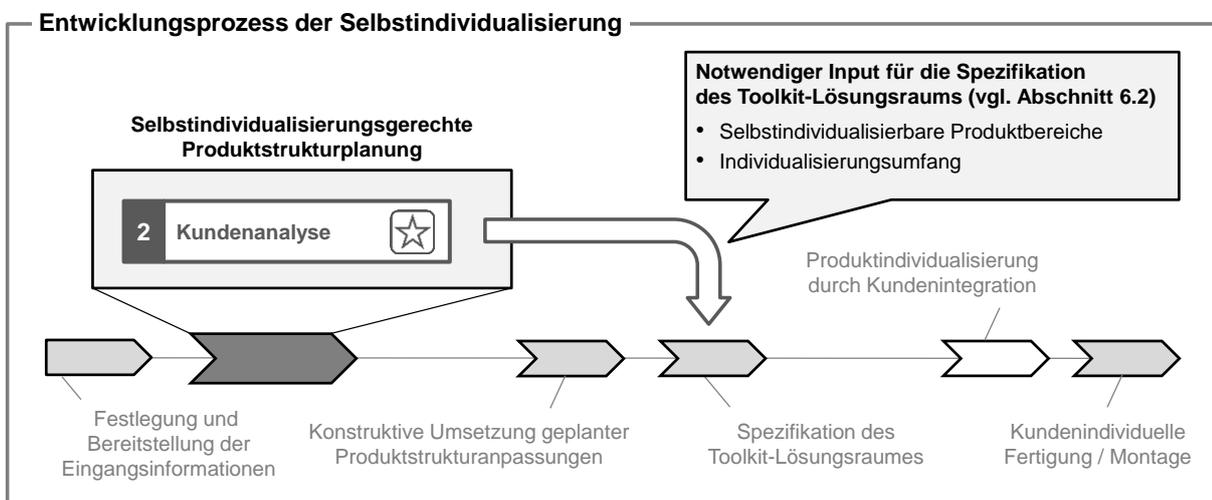


Abbildung 4-7: Übersicht des notwendigen Inputs für die Spezifikation des Toolkit-Lösungsraums

Auch wenn der Individualisierungsumfang für die Produktstrukturplanung nicht relevant ist, muss dennoch an dieser Stelle der Kundenzugang genutzt werden, um später alle Phasen des Entwicklungsprozesses der Selbstindividualisierung erfolgreich durchzuführen. Das Interaktionskonzept sieht dafür den „Skizzierer“ vor, der es den Kunden ermöglicht, ihre Individualisierungsumfänge grafisch auszudrücken, wenn diese nicht ohne Weiteres textuell beschrieben werden können. Mit Hilfe dieser aktiven Einbindung der Kunden in den Wertschöpfungsprozess soll insbesondere die Erhebung impliziter Individualisierungsbedarfe gefördert und aufwendige Transferverfahren vermieden werden (vgl. REICHWALD & PILLER 2009, S. 64 ff.). Dazu wird eine Abbildung der zuvor ausgewählten Produktkomponente als Ausgangsdarstellung in den Skizzierer geladen. Für die anschließende Anfertigung der Skizze stehen den Kunden verschiedene Funktionen (z. B. Stift mit unterschiedlicher Linienstärke) zur Verfügung.

Neben dem Skizzierer, haben Kunden die Möglichkeit, die Individualisierungsumfänge textuell zu beschreiben und damit ihre grafischen Darstellungen zu erläutern. Nach Erstellung der Beiträge können die Kunden diese speichern und zu einem späteren Zeitpunkt weiterbearbeiten. Ist die Beitragserstellung abgeschlossen, können sich die Kunden entscheiden, ihre gespeicherten Beiträge durch Auswahl der Funktion „In Community veröffentlichen“ für andere Kunden sichtbar zu machen und damit ihre Beiträge zur Diskussion zu stellen. Auf diese Weise können sich die Kunden bei der Beitragserstellung gegenseitig unterstützen und inspirieren.

Grundvoraussetzung für die Speicherung und Veröffentlichung von Kundenbeiträgen ist die Klärung von Urheber- und Nutzungsrechten, Haftungsausschlüssen, Registrierungsbedingungen oder auch Datenschutzerklärungen, um nur einige typische Beispiele zu nennen. Da diese Themen sich außerhalb des Fokus der vorliegenden Arbeit befinden, soll nicht weiter darauf eingegangen werden. Weiterführende Literatur findet sich in INNOCYFER (2016).

### **Plattformbereich „Community“**

Das Konzept der Interaktionsplattform für den Bereich „Community“ berücksichtigt zum einen die Bereitstellung geeigneter Kommunikationsfunktionen zwischen den Kunden und zum anderen eine Möglichkeit zur gegenseitigen Bewertung veröffentlichter Beiträge. Die Kommunikation erfolgt über eine Schaltfläche, die das Verfassen und Senden von Kommentaren ermöglicht (siehe Abbildung 4-8). Kunden haben dabei zunächst die Möglichkeit den veröffentlichten Beitrag des hinter dem Profil stehenden Kunden über den „Beitrag“-Button einzusehen, einen Kommentar zu verfassen und diesen anschließend über den „Kommentar senden“-Button an den betreffenden Kunden zu senden. Die Kommentare können von Verständnisfragen bis hin zu Verbesserungsvorschlägen generell unterschiedlichste Ausprägungen annehmen.

Durch Betätigung des „Bewertung“-Buttons haben die Kunden zudem die Möglichkeit den Beitrag des betreffenden Kunden zu bewerten. Die Betätigung des Buttons ist dabei gleichbedeutend mit der Aussage „Dein Beitrag gefällt mir!“. Im Hintergrund der Interaktionsplattform wird die Anzahl dieser positiven Kundenbewertungen für jeden Beitrag aufsummiert und gespeichert. Der Produktentwickler kann auf Basis dieser Kundenbewertungen die Individualisierungsbedarfe objektiv priorisieren. Diese Priorisierung ist schlussendlich ein Maß für die Kundenpriorität hinsichtlich Art und Umfang gewünschter Selbstindividualisierungen bezüglich des vorausgewählten Produktes. Nach Auswertung der Kundenbeiträge und zugehöriger

Kundenbewertungen hat der Produktentwickler dezidierte Informationen darüber, welche Produktkomponenten die Kunden in welchem Ausmaß selbstindividualisieren wollen.

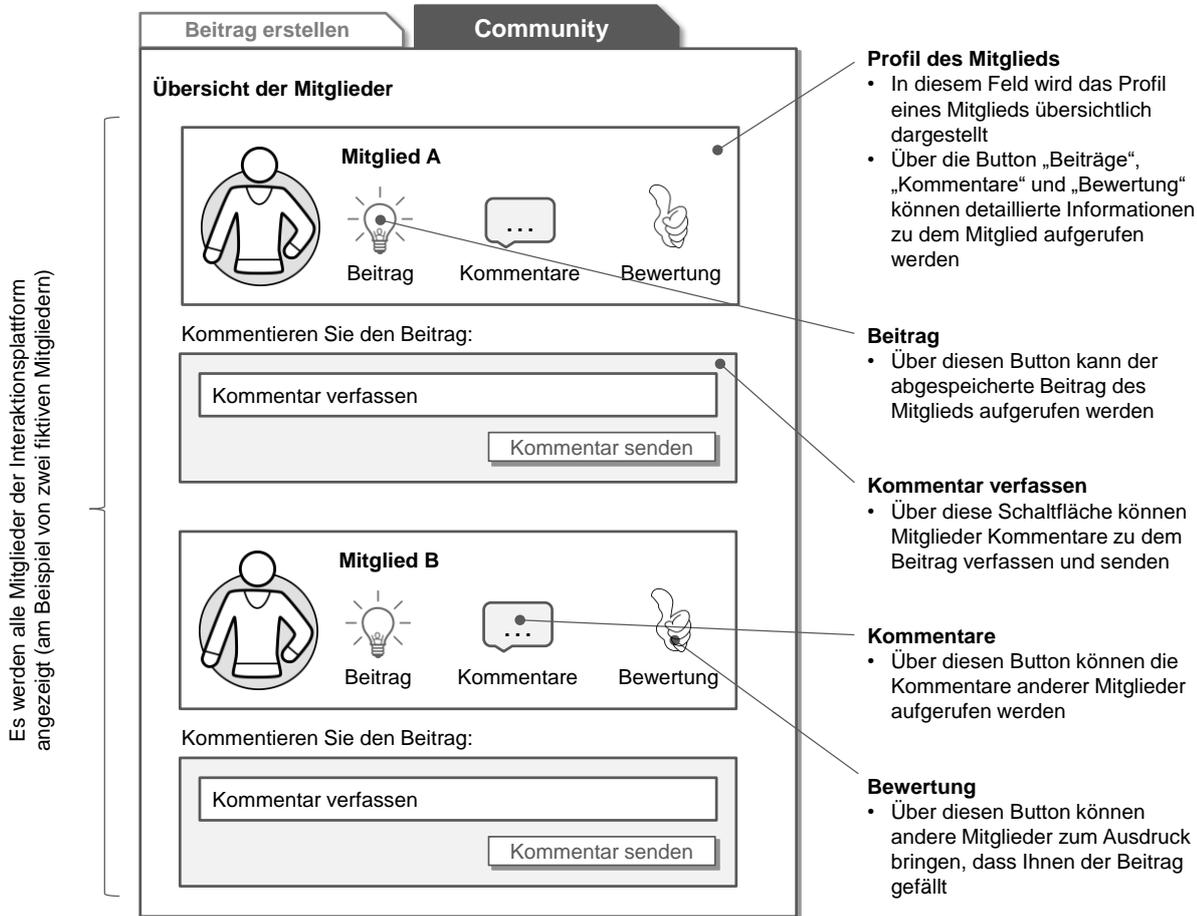


Abbildung 4-8: Konzeptioneller Aufbau der Interaktionsplattform für den Bereich „Community“

## Motivation der Kunden zur Partizipation

Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt bei der erfolgreichen Erhebung kundenseitiger Individualisierungsbedarfe mit Hilfe einer Interaktionsplattform, ist die Motivation der Kunden zur Partizipation. Sind die vom Unternehmen aufgerufenen Kunden nicht ausreichend motiviert einen Beitrag zu erstellen sowie die Beiträge anderer Kunden zu kommentieren und zu bewerten, werden die erhobenen Bedarfe aufgrund mangelnder Informationsbreite und -tiefe kaum belastbar sein.

Die menschliche Motivation ist entsprechend des Basismodells der Motivationspsychologie (siehe Abbildung 4-9) verantwortlich für das Handeln und resultiert aus den individuellen Motiven eines Menschen in Kombination mit gezielten äußeren Anreizen in einer bestimmten Situation (LEWIN 1946). Die individuellen Motive eines Menschen prägen sich maßgeblich während der kindlichen Entwicklung aus, sind von Mensch zu Mensch unterschiedlich und können äußerlich nicht beeinflusst werden. Die Anreize in einer bestimmten Situation dagegen, können sehr wohl von außen beeinflusst werden. Das bedeutet, soll ein Mensch zu gewissen

Handlungen motiviert werden, ist es wichtig seine Motive zu verstehen und dementsprechende Anreize zu setzen. Die Identifikation der kundenspezifischen Motive sowie die anschließende Ableitung geeigneter Anreize für die spezifische Situation einer Beteiligung auf der Interaktionsplattform soll hier nicht weiter ausgeführt werden. Es handelt sich dabei um ein sehr umfangreiches Themengebiet, das sich außerhalb des Fokus der vorliegenden befindet. Weiterführende Literatur zu den menschlichen Motiven findet sich u. a. in MCCLELLAND ET AL. (1989) sowie zu den kundenspezifischen Anreizen in BRETSCHNEIDER (2009), REICHWALD & PILLER (2009, S. 157 ff.), STÖCKL ET AL. (2008), WALCHER (2007), LAKHANI & WOLF (2005), HERTEL ET AL. (2003), LAKHANI & HIPPEL (2003), HARS & OU (2002).

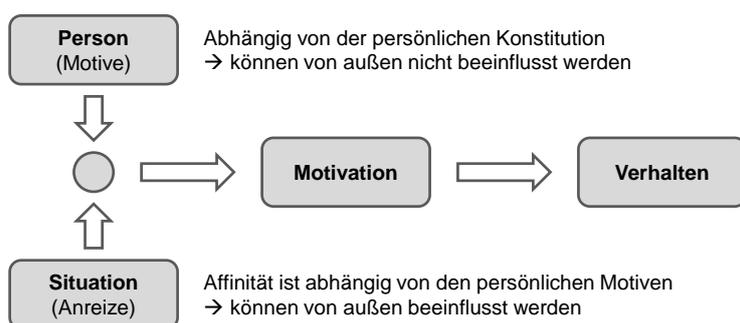


Abbildung 4-9: Basismodell der Motivationspsychologie nach LEWIN (1946)

## Mögliche Risiken der Kundenintegration

Neben den geschilderten Vorteilen einer aktiven Kundenintegration zur Erhebung der Individualisierungsbedarfe, existieren mögliche Risiken, die vom jeweiligen Unternehmen unbedingt reflektiert werden sollten.

Wendet man sich als Unternehmen über eine Interaktionsplattform an eine unspezifische Menge von Kunden, muss davon ausgegangen werden, dass auch Konkurrenten von den Individualisierungsaktivitäten Kenntnis bekommen. Insbesondere vor dem Hintergrund einer zukünftigen, strategischen Unternehmensausrichtung, muss entschieden werden, wann und in welcher Form derart strategische Informationen das Unternehmen verlassen dürfen.

Unterliegt die Strategie der Produktindividualisierung unternehmensseitig strenger Geheimhaltung, sollten die Individualisierungsbedarfe keinesfalls über eine vom Unternehmen betriebene Interaktionsplattform erhoben werden. In einem solchen Fall wären klassische Methoden ohne aktive Kundenbeteiligung zielführender (vgl. z. B. EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 391 ff.; FELDHUSEN ET AL. 2013d, S. 319 ff.; AKAO 1990).

Darüber hinaus sollte sich das jeweilige Unternehmen der Tatsache bewusst sein, dass allein durch die Erhebung der Individualisierungsbedarfe eine gewisse Erwartungshaltung bei den Kunden erzeugt wird. Sind die Erwartungen auf Kundenseite einmal geweckt, besteht für das Unternehmen automatisch die „Pflicht“ diese schlussendlich auch zu befriedigen. Anderenfalls würde sich auf Kundenseite mit großer Wahrscheinlichkeit eine gewisse Unzufriedenheit einstellen, die sich wiederum sehr negativ auf die Unternehmensreputation auswirken kann. Bei der Auflistung möglicher Risiken erhebt die vorliegende Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

## 4.4.2 Ableitung betroffener Produktkomponenten

Zur Ableitung der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten existieren prinzipiell zwei verschiedene Ausgangssituationen.

In der ersten Situation wird die Erhebung der Individualisierungsbedarfe vom Produktentwickler konzipiert und durchgeführt. In diesem Fall wird dem Produktentwickler empfohlen das oben beschriebene Konzept der Interaktionsplattform zu verfolgen und damit die aufwandsarme Ableitung betroffener Produktkomponenten zu gewährleisten. Im Idealfall können die betroffenen Produktkomponenten direkt aus der Plattformdatenbank exportiert werden.

Die zweite Ausgangssituation ist dadurch gekennzeichnet, dass der Produktentwickler keinen Einfluss auf die Konzeption und Durchführung der Erhebung hat und die Individualisierungsbedarfe beispielsweise von einer anderen Unternehmensabteilung (z. B. Marketing, Vertrieb) zugearbeitet werden. In einem solchen Fall ist nicht davon auszugehen, dass diese Unternehmensabteilung das Konzept der Bedarfserhebung speziell auf die Ableitung der von den Bedarfen betroffenen Produktkomponenten ausgerichtet hat. Nachfolgend wird daher eine Methode beschrieben, die auf dem von AKAO (1990) entwickelten Ansatz des Quality Function Deployment (QFD) beruht und eine systematische Verknüpfung der Individualisierungsbedarfe und entsprechenden Produktkomponenten ermöglicht. Die Methode QFD wurde gewählt, weil es sich dabei um einen weit verbreiteten und etablierten Ansatz zur durchgängigen Übersetzung von „unscharfen“ Kundenanforderungen in konkrete Produktmerkmale handelt (vgl. Abschnitt 3.1.3).

### **Methode zur Verknüpfung von Individualisierungsbedarfen und betroffenen Produktkomponenten**

Die Methode schlägt dem Produktentwickler, abhängig von der Qualität und Aussagekraft der zugearbeiteten Individualisierungsbedarfe zwei alternative Lösungswege vor. In Abbildung 4-10 sind die beiden Lösungswege anhand eines fiktiven Beispiels dargestellt.

Das Prinzip der unterschiedlichen Lösungswege besteht darin, dass unzureichend und unvollständig formulierte Individualisierungsbedarfe auf einem anderen Weg verarbeitet werden müssen, als ausreichend und vollständig formulierte Individualisierungsbedarfe. Ist es bei Letzteren in der Regel möglich, die betroffenen Produktkomponenten unmittelbar abzuleiten, erfordern unzureichend und lückenhaft formulierte Individualisierungsbedarfe, nach Ansicht des Autors, eine mittelbare Ableitung durch Einbeziehung der Produktfunktionen. Im Folgenden werden beide Lösungswege beschrieben.

#### **Lösungsweg 1 – unmittelbare Ableitung betroffener Produktkomponenten**

Der erste Lösungsweg (siehe „1.1“ bis „1.2“ in Abbildung 4-10) beschreibt die systematische Ableitung der betroffenen Produktkomponenten mittels einer Übersetzungsmatrix. In diesem Fall wird ausgehend von den einzelnen Individualisierungsbedarfen, vom Produktentwickler eruiert, welche Module, Baugruppen oder Produktkomponenten von diesen betroffen sind. Grundlage für die Erstellung der Übersetzungsmatrix ist das Produktstrukturmodell aus der ersten Handlungsphase (vgl. Abschnitt 4.3.2). Bezogen auf das in Abbildung 4-10 dargestellte

Beispiel, betrifft der „Bedarf 1“ die „Produktkomponente 3“ und damit auch die übergeordnete Hierarchieebenen „Baugruppe 1“ und „Modul 1“.

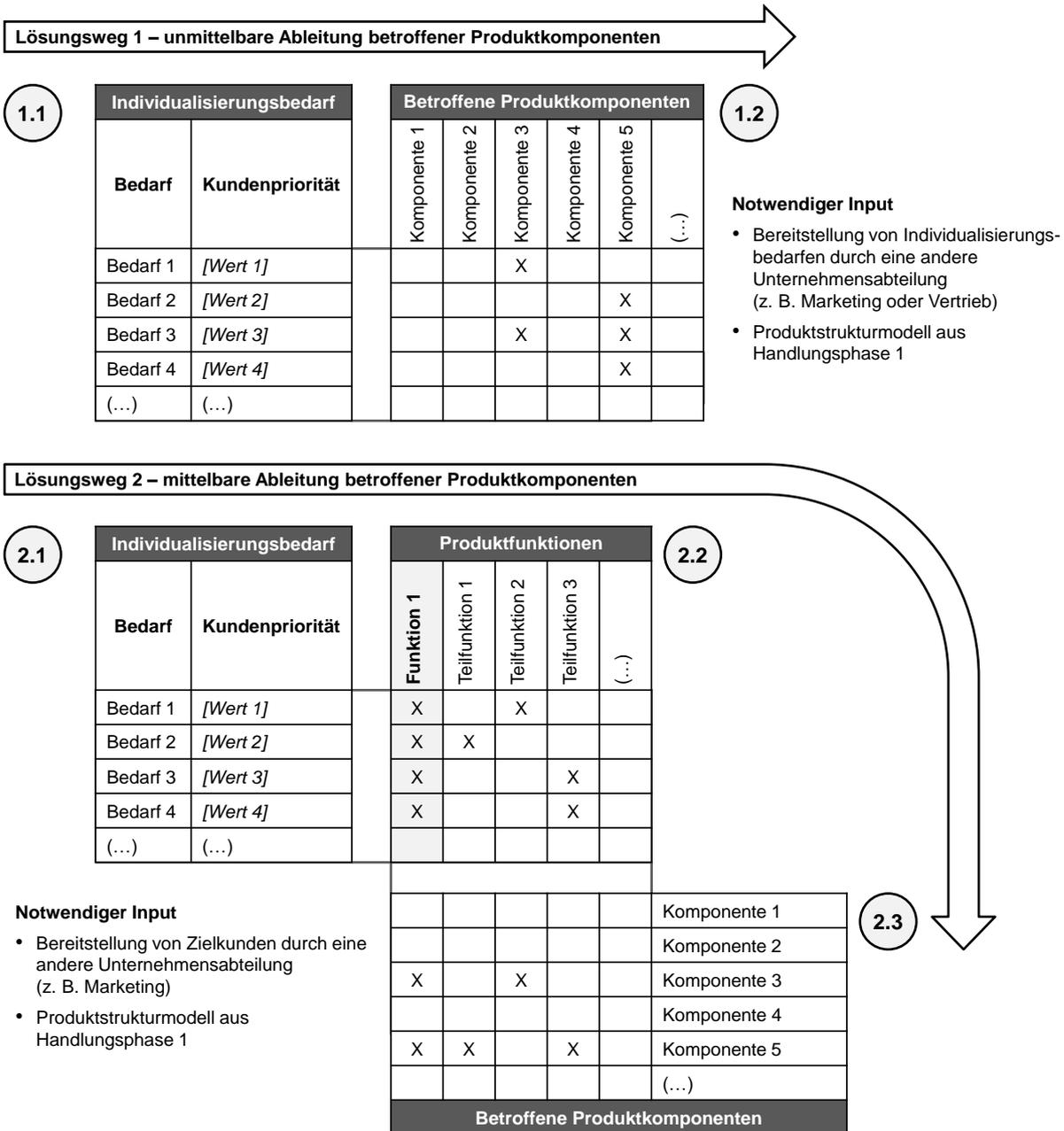


Abbildung 4-10: Aufbau der Methode zur systematischen Verknüpfung von Individualisierungsbedarfen und betroffenen Produktkomponenten

Die Frage, auf welche Hierarchieebene die Individualisierungsbedarfe übersetzt werden sollen, richtet sich nach dem Umfang der anvisierten Selbstindividualisierungen. Verfolgt der Produktentwickler beispielsweise die Vision, dass Kunden zukünftig ganze Baugruppen selbstindividualisieren können, müssen die Individualisierungsbedarfe auch auf diese Ebenen übersetzt werden.

## Lösungsweg 2 – mittelbare Ableitung betroffener Produktkomponenten

Ist die Übersetzung der Individualisierungsbedarfe auf die entsprechenden Module, Baugruppen oder Produktkomponenten aufgrund unzureichender oder unvollständiger Beschreibungen der kundenseitigen Bedarfe nicht möglich, empfiehlt die Methode dem Produktentwickler den zweiten Lösungsweg. Dieser sieht vor, die Individualisierungsbedarfe zunächst auf die Produktfunktionen und anschließend auf die Produktkomponenten zu übersetzen. Auf diese Weise wird der Übersetzungskorridor um die Funktionsdimension erweitert und mögliche Übersetzungsschwierigkeiten oder Interpretationsspielräume nach Ansicht des Autors minimiert. Grundlage für den zweiten Übersetzungsschritt und damit die Ableitung der betroffenen Produktkomponenten, ist das Produktstrukturmodell aus der ersten Handlungsphase.

Unabhängig von der Ausgangssituation oder vom gewählten Lösungsweg müssen die in diesem Handlungsschritt generierten Informationen entsprechend dokumentiert werden. Dazu sind die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten im Produktstrukturmodell aus der ersten Handlungsphase zu markieren (siehe schraffiert dargestellte Produktkomponenten in Abbildung 4-11).

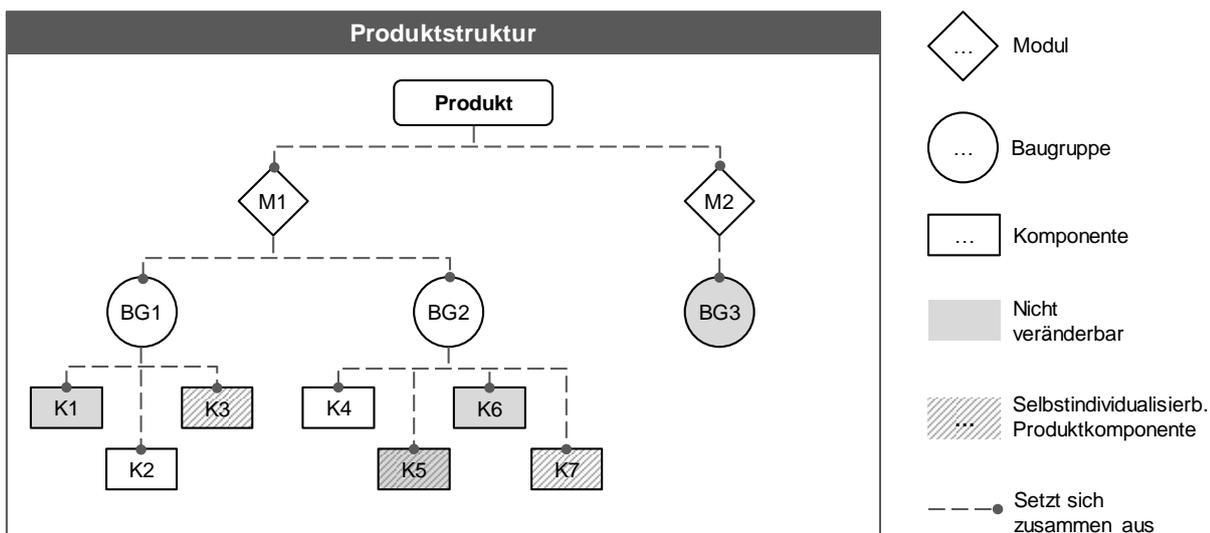


Abbildung 4-11: Generisches Modell einer Produktstruktur mit Markierung der nicht veränderbaren sowie der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten/Baugruppen

## 4.5 Handlungsphase 3 – Spannungsfeldanalyse

Das Ziel der **dritten Handlungsphase** ist die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten. Die Handlungsphase gliedert sich in zwei Handlungsschritte. In Abbildung 4-12 sind neben dem notwendigen Input und resultierenden Output (Ziele) der Handlungsphase, die Methoden und Hilfsmittel zur Durchführung der beiden Handlungsschritte dargestellt.

Im **ersten Handlungsschritt** werden die Individualisierungspotentiale der betroffenen Produktkomponenten auf Basis technischer und strategischer Produktmerkmale mit Hilfe der Methode zur Ermittlung der Individualisierungspotentiale ermittelt. Der notwendige Input für die

Durchführung dieses Handlungsschrittes ist das Produktstrukturmodell aus der ersten Handlungsphase inklusive Markierung der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten.

Im **zweiten Handlungsschritt** werden die betroffenen Produktkomponenten mit Hilfe des Spannungsfeldportfolios in die Dimensionen Individualisierungspotential und Kundenpriorität eingeordnet. Entsprechend ihrer Lage im Spannungsfeldportfolio werden anschließend die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten ausgewählt. Der notwendige Input für die Durchführung dieses Handlungsschrittes sind die priorisierten, kundenseitigen Individualisierungsbedarfe aus der zweiten Handlungsphase sowie die Individualisierungspotentiale.

<b>Input</b>	<b>3 Spannungsfeldanalyse</b> 		<b>Output (Ziele)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Priorisierte, kundenseitige Individualisierungsbedarfe (Kundenpriorität)</li> <li>• Produktkomponenten, die von kundenseitigen Individualisierungsbedarfen betroffen sind</li> </ul>	<b>Handlungsschritte</b>	<b>Methoden und Hilfsmittel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbstindividualisierbare Produktkomponenten</li> </ul>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Ermittlung der Individualisierungspotentiale</li> <li>2) Festlegung selbst-individualisierbarer Produktkomponenten</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methode zur Ermittlung der Individualisierungspotentiale</li> <li>• Spannungsfeldportfolio</li> </ul>	

Abbildung 4-12: Übersicht des Inputs, der Handlungsschritte, der Methoden und Hilfsmittel sowie des Outputs (Ziele) der Spannungsfeldanalyse

Im Folgenden werden die beiden Handlungsschritte der Spannungsfeldanalyse beschrieben sowie Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt, die deren Durchführung unterstützen sollen.

### 4.5.1 Ermittlung der Individualisierungspotentiale

Für die Ermittlung der Individualisierungspotentiale betroffener Produktkomponenten wird dem Produktentwickler die nachfolgend beschriebene Methode zur Verfügung gestellt.

Die Methode hat die systematische Generierung einer objektiven und transparenten Entscheidungsgrundlage zur Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten zum Ziel. Die Entscheidung erfolgt auf Basis quantifizierbarer strategischer und/oder technischer Produktmerkmale und soll damit die subjektiven Einflüsse des Entscheiders weitestgehend minimieren.

#### Methode zur Ermittlung der Individualisierungspotentiale

Der Aufbau der Methode zur Ermittlung der Individualisierungspotentiale, für die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten, ist in Abbildung 4-13 dargestellt. Die Methode gliedert sich in zwei Schritte.

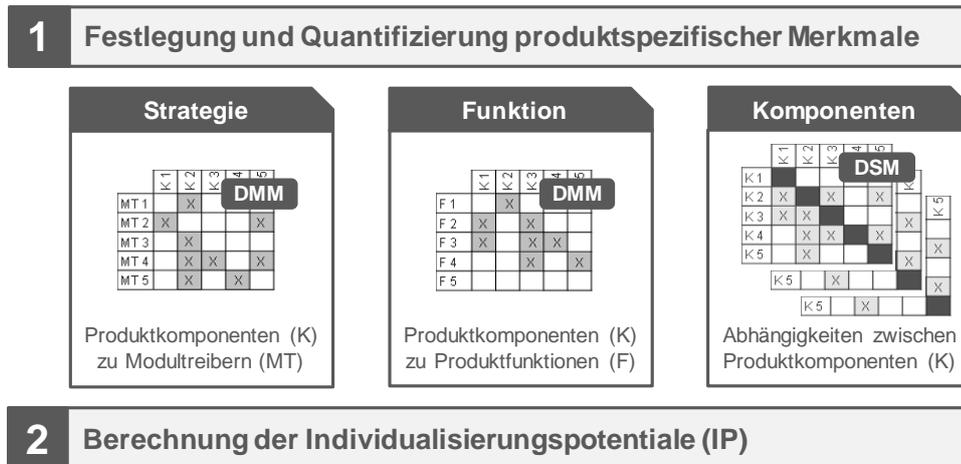


Abbildung 4-13: Aufbau der Methode zur Ermittlung der Individualisierungspotentiale für die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten

Der **erste Schritt** beinhaltet die Identifikation und anschließende Quantifizierung produktspezifischer Merkmale, die in eine strategische Domäne („Strategie“) sowie zwei technische Domänen („Funktion“ und „Komponenten“) unterteilt sind. Dazu wird für jede Produktkomponente ein domänenspezifischer Einzelwert berechnet.

Im **zweiten Schritt** wird aus diesen domänenspezifischen Einzelwerten, für jede Produktkomponente ein separater Gesamtwert (im weiteren Verlauf als „Individualisierungspotential“ bezeichnet) berechnet. Je höher die domänenspezifischen Einzelwerte einer Produktkomponente, desto weniger gut ist die Komponente für Selbstindividualisierungen geeignet und desto geringer ist folglich dessen Individualisierungspotential. Im Folgenden werden die zwei Schritte der Methode beschrieben.

### Schritt 1 – Festlegung und Quantifizierung produktspezifischer Merkmale

Bei der Realisierung von Selbstindividualisierungen und den damit einhergehenden zahlreichen Geometrievariationen betroffener Produktkomponenten, muss seitens des Produktentwicklers sichergestellt werden, dass weder strategische noch technische Produktmerkmale negativ beeinflusst werden (vgl. Abschnitt 1.2). Anderenfalls wären die Produktentwicklungsstrategien und/oder Produktfunktionen und damit der wirtschaftliche Erfolg des Produktes massiv gefährdet. Aus diesem Grund werden im ersten Schritt der Methode, die für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten Produktmerkmale zunächst identifiziert und anschließend quantifiziert.

Wie bereits dargestellt, lassen sich die Produktmerkmale in die strategische Domäne oder die technischen Domänen einordnen. Die strategische Domäne beinhaltet sämtliche Merkmale der strategischen Produktentwicklung – wie z. B. die Zuordnung der Produktkomponenten zu entsprechenden Produktmodulen. Die technischen Domänen umfassen ihrerseits sämtliche Produktmerkmale zur Beschreibung der Beziehungen zwischen den Produktkomponenten, die notwendig sind, um die geforderten Produkteigenschaften und -funktionen zu realisieren. Den horizontalen Beziehungen „Funktion zu Produktkomponente“ sowie „Produktkomponente zu

Produktkomponente“ (vgl. Abschnitt 3.2) wird im Hinblick auf Produktindividualisierungen pauschal eine hohe Relevanz unterstellt (LINDEMANN ET AL. 2006, S. 41 ff.). Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden daher bei den technischen Domänen „Funktionen“ und „Komponenten“ unterschieden. Zusammengefasst ergeben sich die drei folgenden Domänen zur Unterteilung relevanter Produktmerkmale bei der Ermittlung der Individualisierungspotentiale.

- Die Domäne „**Strategie**“ beinhaltet sämtliche Merkmale der strategischen Produktentwicklung – z. B. die Zuordnung der Produktkomponenten zu Produktmodulen.
- Die Domäne „**Funktion**“ beinhaltet sämtliche Merkmale der Produktfunktion – z. B. die funktionale Relevanz der Produktkomponenten.
- Die Domäne „**Komponenten**“ beinhaltet sämtliche Merkmale bezüglich der Beziehungen zwischen den Produktkomponenten – z. B. der Vernetzungsgrad der Produktkomponenten.

Sowohl die Domänen als auch die darin enthaltenen Produktmerkmale sind vom Produktentwickler gemäß dem jeweiligen Anwendungsfall individuell festzulegen. Bei der Berechnung der Individualisierungspotentiale ist zudem eine unterschiedliche Gewichtung der Domänen möglich, um (falls erforderlich) bestimmte Produktmerkmale zu priorisieren. Die relevanten Produktmerkmale können an dieser Stelle nicht losgelöst vom eigentlichen Anwendungsfall vollständig benannt werden. Daher werden im weiteren Verlauf Merkmale für die einzelnen Domänen vorgeschlagen, die jedoch vom Produktentwickler im Sinne des jeweiligen Anwendungsfalls reflektiert und gegebenenfalls individuell angepasst oder erweitert werden müssen.

Für die Ermittlung der Merkmalsausprägungen in Form von quantifizierten Werten (z. B. Vernetzungsgrad einer Produktkomponente) müssen die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten, über die bereits erfolgte Situationsanalyse (vgl. Abschnitt 4.3.2) hinaus, detailliert analysiert werden. Geeignete Methoden zur Durchführung einer solchen Detailanalyse sowie darauf aufbauende Maßnahmen zur Ermittlung der Merkmalsausprägungen, werden im Folgenden für die drei Domänen beschrieben.

### Domäne „Strategie“

In der Domäne „Strategie“ wird vom Produktentwickler bewertet, inwieweit die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten von Produktentwicklungsstrategien beeinflusst sind.

Dafür wird die von ERIXON (1998, S. 72 ff.) entwickelte „Module Indication Matrix (MIM)“ übernommen. Das Ziel der MIM ist die Zusammenfassung von Produktkomponenten zu geeigneten Modulen auf Basis der Bewertung produktstrategischer Kriterien, die durch Modultreiber repräsentiert werden (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die folgenden zwölf Modultreiber werden übernommen und dem Produktentwickler zur Auswahl angeboten (ERIXON 1998, S. 72):

- **Übertragelement** – Produktkomponenten, die über mehrere Produktgenerationen hinweg verwendet werden.
- **Technologiewechsel** – Produktkomponenten, die von Technologiewechseln in Folge veränderter Kundenanforderungen betroffen sind.
- **Geplante Designänderung** – Produktkomponenten, deren Design über den Produktlebenszyklus hinweg verändert wird.

- **Technische Varianz** – Produktkomponenten, die technisch unterschiedlich spezifiziert, in verschiedenen Produktvarianten verwendet werden.
- **Designvarianz** – Produktkomponenten, die Änderungen des Produktdesigns unterliegen.
- **Standardelement** – Produktkomponenten, die innerhalb einer Produktfamilie mehrfach verwendet werden.
- **Spezielle Prozesse** – Produktkomponenten, die gleiche oder ähnliche Prozessschritte in der Produktion durchlaufen.
- **Separates Testen** – Produktkomponenten, deren Funktionen im Produktionsprozess getestet werden, bevor diese in der Montage verbaut werden.
- **Fremdbezug** – Produktkomponenten, die von einem Lieferanten zugekauft werden.
- **Wartung/Instandhaltung** – Produktkomponenten, die während einer Wartung/Instandhaltung gemeinsam ausgetauscht werden müssen.
- **Konfigurationsflexibilität** – Produktkomponenten, die während der Nutzungsphase angepasst oder erweitert werden können.
- **Recycling** – Produktkomponenten, die aus gleichen oder ähnlichen Materialien bestehen und gemeinsam recycelt werden können.

Die Zuordnung der Produktkomponenten zu entsprechenden Modultreibern mit Hilfe einer progressiven Skala (mögliche Werte: „1“, „3“ oder „9“) gemäß ERIXON (1998, S. 77), wird für die Methode übernommen. Die zur Verfügung stehenden Werte der Skala repräsentieren die Stärke der Zuordnung – von „1“ für schwach über „3“ für mittel bis hin zu „9“ für stark. Die Zuordnung von Modultreibern zu Produktkomponenten verfolgt im Gegensatz zur MIM nicht die Identifikation einer geeigneten Produktmodularisierung. Vielmehr ist das Ziel die Bewertung der Auswirkungen relevanter strategischer Produktmerkmale (repräsentiert durch Modultreiber) auf die angestrebte Selbstindividualisierung betroffener Produktkomponenten. Aus diesem Grund wird der Ansatz der MIM um eine gewichtete Bewertung der Modultreiber hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Selbstindividualisierung erweitert. Dafür wird die Einteilung gegensätzlicher Modultreiber nach KOPPENHAGEN (2004, S. 91) und STAKE (2000) zu Grunde gelegt (siehe Abbildung 4-14). Dem folgt, dass für die von den Modultreibern „Technologiewechsel“, „Geplante Designänderung“, „Designvarianz“ und „Technische Varianz“ betroffenen Produktkomponenten, aufgrund zeitlicher Instabilitäten, bereits während der Entwicklung Änderungen eingeplant sind.

Für Produktkomponenten, welche von den Modultreibern „Übertragelement“ und „Standardelement“ betroffen sind, werden im Gegensatz dazu, aufgrund einer gewissen zeitlichen Stabilität, produktstrategisch keine Änderungen vorgesehen (siehe Abbildung 4-14). Daraus lässt sich ableiten, dass Produktkomponenten, die produktstrategisch einer zeitlichen Stabilität unterliegen, weniger gut für kundenseitige Selbstindividualisierungen geeignet sind, als Produktkomponenten, die einer zeitlichen Instabilität unterliegen. Diese Unterschiede zwischen den Produktkomponenten werden durch eine Gewichtung – z. B. „ $GEW_{MD} = 1$ “ für einen positiven Einfluss und „ $GEW_{MD} = 5$ “ für einen negativen Einfluss auf die Selbstindividualisierung – abgebildet (siehe Abbildung 4-14).

Die übrigen Modultreiber lassen sich ohne Berücksichtigung der spezifischen Unternehmenssituation generisch nicht in eine der beiden Gruppen einordnen. Demzufolge müssen diese

Modultreiber vom Produktentwickler, entsprechend des jeweils vorliegenden Anwendungsfalls, eigenständig in eine der beiden Gruppen eingeordnet werden. Der Produktentwickler muss dazu entscheiden, ob der jeweilige Modultreiber einen positiven oder einen negativen Einfluss auf das Individualisierungspotential der betrachteten Produktkomponente hat und diesen in die entsprechende Gruppe einordnen.

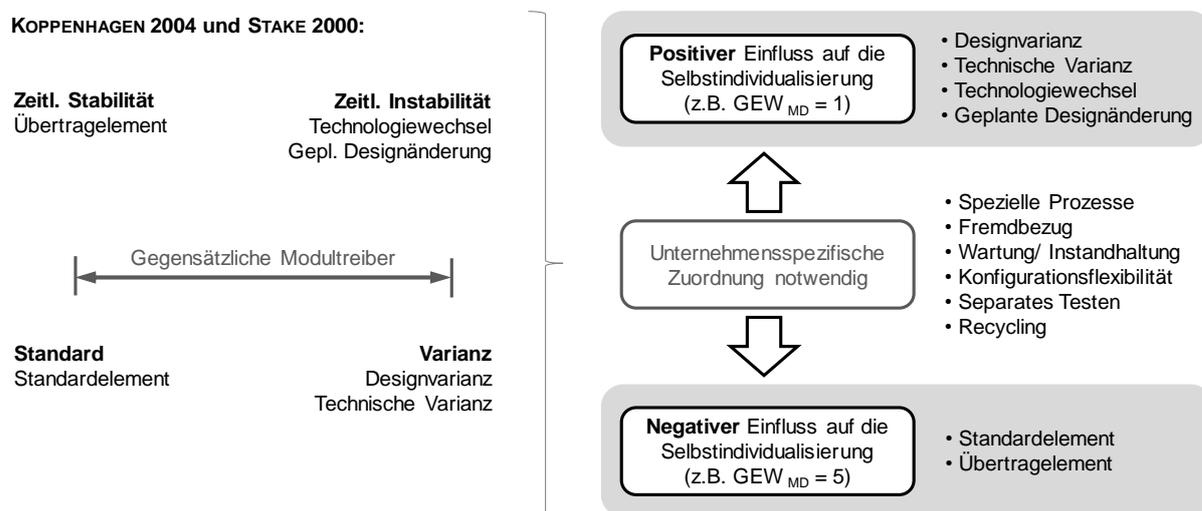


Abbildung 4-14: Bewertung der Modultreiber hinsichtlich der Auswirkungen auf die Selbstindividualisierung (Einteilung gegensätzlicher Modultreiber nach KOPPENHAGEN 2004, S. 91 und STAKE 2000)

Bei den in Abbildung 4-14 dargestellten Werten für die Gewichtung der Modultreibergruppe mit positivem ( $GEW_{MD} = 1$ ) und negativem ( $GEW_{MD} = 5$ ) Einfluss, handelt es sich um Beispielwerte, die vom Produktentwickler beliebig angepasst werden können. Dabei ist es möglich eine stärkere Differenzierung bei der Bewertung vorzunehmen, indem neben den diskreten Ausprägungen eines positiven oder negativen Einflusses weitere Gruppen – z. B. „Schwacher negativer Einfluss auf die Selbstindividualisierung (z. B.  $GEW_{MD} = 3$ )“ – eingeführt werden.

Sind die Modultreiber hinsichtlich ihres Einflusses auf Selbstindividualisierungen gemäß Abbildung 4-14 gewichtet, werden sie den betroffenen Produktkomponenten in gewichteter Weise zugeordnet – von „ $GZ_{K_i(MD_j)} = 1$ “ für „Schwache Zuordnung“ über „ $GZ_{K_i(MD_j)} = 3$ “ für „Mittlere Zuordnung“ bis hin zu „ $GZ_{K_i(MD_j)} = 9$ “ für „Starke Zuordnung“. Damit soll erreicht werden, dass auch Unschärfen in der Zuordnung berücksichtigt werden können. Anschließend werden die Ergebnisse gemäß Abbildung 4-15 in einer DMM<sup>35</sup> dokumentiert.

Für jede berücksichtigte Produktkomponente wird abschließend der quantifizierte Gesamtwert ( $TV_{K_i(Strategie)}$ ) berechnet. Dieser Gesamtwert ist Ausdruck dafür, inwieweit die Selbstindividualisierungsfähigkeit der betreffenden Produktkomponente aufgrund produktstrategischer Einflüsse limitiert ist. Für die Berechnung der Gesamtwerte werden jeweils die Produkte aus den gewichteten Zuordnungen ( $GZ_{K_i(MD_j)}$ ) und den Gewichtungen der zugeordneten Modultreiber zu dem Gesamtwert ( $TV_{K_i(Strategie)}$ ) gemäß folgender Formel aufsummiert:

<sup>35</sup> Domain Mapping Matrix – vgl. Abschnitt 3.5.2.

$$TV_{K_i (Strategie)} = \sum_{j=1}^n (GZ_{K_i (MD_j)} * GEW_{MD_j}) \tag{4-1}$$

Daraus ergibt sich, bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-15, die Berechnung des Gesamtwertes für die Produktkomponente K<sub>3</sub> wie folgt:

$$\begin{aligned} TV_{K_3 (Strategie)} &= (GZ_{K_3 (MD_1)} * GEW_{MD_1}) + (GZ_{K_3 (MD_5)} * GEW_{MD_5}) + (...) \\ &= (3 * 1) + (1 * 5) + (...) = 12 \end{aligned} \tag{4-2}$$

Wie bereits dargestellt, gilt für die resultierenden Auswirkungen auf das Individualisierungspotential, je größer der Gesamtwert in der Domäne „Strategie“ (TV<sub>K<sub>i</sub> (Domäne)</sub>), desto geringer ist schlussendlich das Individualisierungspotential der Produktkomponente.

**1 Festlegung und Quantifizierung produktspezifischer Merkmale**

Strategie
Funktion
Komponenten

- Starke Zuordnung (GZ<sub>K<sub>i</sub> (MD<sub>j</sub>)</sub> = 9)
- ◐ Mittlere Zuordnung (GZ<sub>K<sub>i</sub> (MD<sub>j</sub>)</sub> = 3)
- Schwache Zuordnung (GZ<sub>K<sub>i</sub> (MD<sub>j</sub>)</sub> = 1)

**Gewichtete Zuordnung der Modultreiber (MD) zu den Produktkomponenten (K)**

Modultreiber		Produktkomponente					
		K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	...	K <sub>n</sub>	
<b>Positiver Einfluss</b> (GEW <sub>MD<sub>j</sub></sub> = 1)	MD <sub>1</sub> Designvarianz		○	◐	...	○	
	MD <sub>2</sub> ...	...	...	...	...	...	
	MD <sub>3</sub> Spezielle Prozesse	●	◐		...		
<b>Negativer Einfluss</b> (GEW <sub>MD<sub>j</sub></sub> = 5)	MD <sub>4</sub> ...	...		...	...	...	
	MD <sub>5</sub> Standardelement		◐	○	...		
	MD <sub>j</sub> ...	...	...	...	...	...	
<b>Gesamtwert (TV<sub>K<sub>i</sub> (Strategie)</sub>)</b>		<b>18</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	...	<b>11</b>	

Abbildung 4-15: Adaptierte „Module Indication Matrix“ (nach ERIXON 1998, S. 78) zur Bewertung der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten hinsichtlich strategischer Merkmale

**Domäne „Funktion“**

In der Domäne „Funktion“ wird vom Produktentwickler bewertet, welchen Einfluss die Funktionserfüllung der Produktkomponenten auf die kundenseitigen Selbstindividualisierungen hat.

Die Produktfunktionen werden zunächst entsprechend ihrer Relevanz für Qualität, Funktions- sowie Produktsicherheit usw. – z. B. unterteilt in Haupt- und Nebenfunktion – gewichtet (siehe Abbildung 4-16). Es wird davon ausgegangen, dass die Produktkomponenten, die für die

Erfüllung einer relevanten Produktfunktion (Hauptfunktion) verantwortlich sind, weniger gut für kundenseitige Selbstindividualisierungen geeignet sind, als Produktkomponenten, die für Nebenfunktionen verantwortlich sind. Ähnlich wie in der Domäne „Strategie“, werden diese Unterschiede zwischen den Produktkomponenten durch eine entsprechende Gewichtung – z. B. „ $GEW_{Fj} = 1$ “ für einen positiven Einfluss und „ $GEW_{Fj} = 5$ “ für einen negativen Einfluss auf die Selbstindividualisierung – ausgedrückt (siehe Abbildung 4-16).

Nach der Gewichtung der Produktfunktionen, erfolgt deren gewichtete Zuordnung zu den betroffenen Produktkomponenten. Dabei wird, genau wie bei der Zuordnung der Modultreiber, eine progressive Skala vorgeschlagen – von „ $GZ_{Ki(Fj)} = 1$ “ für „Schwache Zuordnung“ über „ $GZ_{Ki(Fj)} = 3$ “ für „Mittlere Zuordnung“ bis hin zu „ $GZ_{Ki(Fj)} = 9$ “ für „Starke Zuordnung“ – um mögliche Unschärfen abbilden zu können. An dieser Stelle sei bemerkt, dass sowohl die Einteilung und Gewichtung der Produktfunktionen als auch die Gewichtung der Zuordnung vom Produktentwickler beliebig angepasst werden können.

Sind die gewichteten Produktfunktionen den betroffenen Produktkomponenten zugeordnet, werden die Ergebnisse gemäß Abbildung 4-16 in einer DMM dokumentiert.

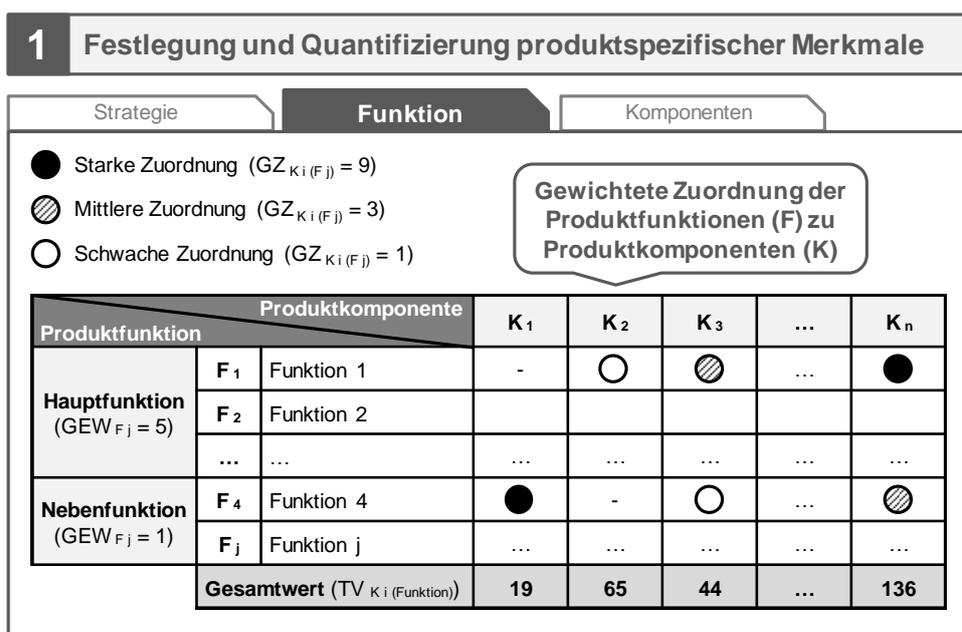


Abbildung 4-16: Domain Mapping Matrix (DMM) zur Bewertung der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten hinsichtlich der Funktionserfüllung

Für jede berücksichtigte Produktkomponente wird abschließend der quantifizierte Gesamtwert ( $TV_{Ki(Funktion)}$ ) berechnet. Dieser Gesamtwert ist Ausdruck dafür, inwieweit die Selbstindividualisierungsfähigkeit der betreffenden Produktkomponente durch die notwendige Funktionserfüllung limitiert ist. Für die Berechnung der Gesamtwerte werden jeweils die Produkte aus den gewichteten Zuordnungen ( $GZ_{Ki(Fj)}$ ) und den Gewichtungen der zugeordneten Funktionen zu dem Gesamtwert ( $TV_{Ki(Funktion)}$ ) gemäß folgender Formel aufsummiert:

$$TV_{K_i(\text{Funktion})} = \sum_{j=1}^n (GZ_{K_i(F_j)} * GEW_{F_j}) \quad (4-3)$$

Daraus ergibt sich, bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-16, die Berechnung des Gesamtwertes für die Produktkomponente  $K_3$  beispielsweise wie folgt:

$$\begin{aligned} TV_{K_3(\text{Funktion})} &= (GZ_{K_3(F_1)} * GEW_{F_1}) + (GZ_{K_3(F_4)} * GEW_{F_4}) + (\dots) \\ &= (3 * 5) + (1 * 1) + (\dots) = 44 \end{aligned} \quad (4-4)$$

Wie bereits dargestellt, gilt für die resultierenden Auswirkungen auf das Individualisierungspotential, je größer der Gesamtwert in der Domäne „Funktion“ ( $TV_{K_i(\text{Funktion})}$ ), desto geringer ist schlussendlich das Individualisierungspotential der Produktkomponente.

### Domäne „Komponenten“

In der Domäne „Komponenten“ wird vom Produktentwickler bewertet, welchen Einfluss die strukturellen (horizontalen) Beziehungen der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten auf die kundenseitigen Selbstindividualisierungen haben.

Nach ARIYO ET AL. (2006) und ECKERT ET AL. (2004) werden diese strukturellen Beziehungen meist durch geometrische Schnittstellen bestimmt. Neben diesem, in der vorliegenden Arbeit als „Geometrie“ bezeichneten Beziehungs-Typ, sind weitere Typen, wie beispielsweise „Energie“ (z. B. Stromversorgung, Wärmeleitung usw.) oder auch „Information“ (z. B. Software-Daten) denkbar. Die möglichen Beziehungs-Typen können an dieser Stelle nicht losgelöst vom eigentlichen Anwendungsfall in Gänze benannt werden. Welche Beziehungs-Typen schlussendlich für den jeweiligen Anwendungsfall zu berücksichtigen sind, muss daher vom Produktentwickler eigenständig festgelegt werden.

Die Beziehungen für die festgelegten Typen werden nach deren Analyse in separaten DSMs<sup>36</sup> gemäß Abbildung 4-17 dokumentiert („X“ bedeutet „Beziehung gemäß Zeile beeinflusst Spalte“ vorhanden). Bei der Analyse der Beziehungen wird dem Produktentwickler aus Gründen der Aufwandsoptimierung empfohlen, jeweils nur die Beziehungen der betroffenen Produktkomponenten zu deren direkt benachbarten Produktkomponenten zu betrachten.

Nach erfolgter Analyse und Dokumentation, werden vom Produktentwickler für jeden Beziehungs-Typ und jede betroffene Produktkomponente, Kennzahlen zur Quantifizierung und Bewertung des daraus resultierenden Einflusses auf die Selbstindividualisierung berechnet.

---

<sup>36</sup> Design Structure Matrix – vgl. Abschnitt 3.5.2.

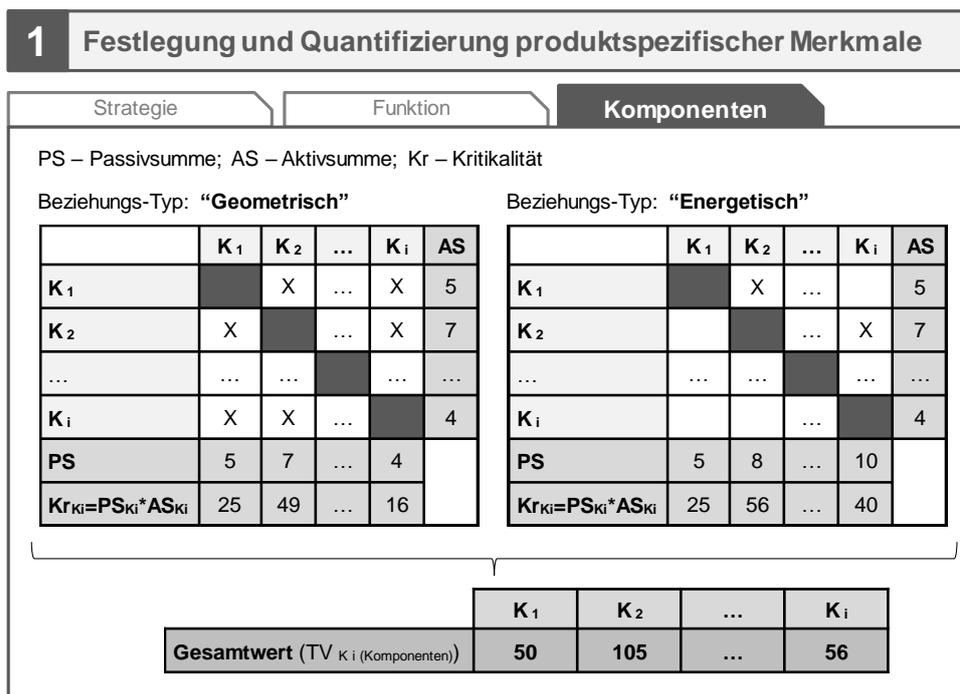


Abbildung 4-17: Design Structure Matrix (DSM) zur Bewertung der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten hinsichtlich ihrer bi- und unidirektionalen Beziehungen

Handelt es sich bei den Beziehungen innerhalb aller Beziehungs-Typen ausschließlich um bidirektionale Beziehungen (wirken in beide Richtungen) wird zur Vermeidung unnötiger Komplexität empfohlen, lediglich die Aktivsumme<sup>37</sup> der betrachteten Produktkomponenten zu berechnen. Eine hohe Aktivsumme ist Ausdruck dafür, dass die betreffende Produktkomponente aufgrund ihrer Beziehungen einen hohen Einfluss auf andere Produktkomponenten innerhalb der Produktstruktur und damit einen negativen Einfluss auf die möglichen Umfänge kundenseitiger Selbstindividualisierungen hat.

Handelt es sich bei den Beziehungen jedoch auch um unidirektionale Beziehungen (wirken nur in eine Richtung) wird empfohlen, die Kritikalität (Kr)<sup>38</sup> für alle betrachteten Produktkomponenten zu berechnen (wie im Beispiel aus Abbildung 4-17). Eine hohe Kritikalität bedeutet, dass die betreffende Produktkomponente aufgrund ihrer Beziehungen mit hoher Wahrscheinlichkeit in Anpassungen der Produktstruktur involviert ist und damit ebenfalls einen negativen Einfluss auf die möglichen Umfänge kundenseitiger Selbstindividualisierungen hat.

<sup>37</sup> Die Aktivsumme repräsentiert die Anzahl (und Intensität) aller, von einer Produktkomponente ausgehenden Beziehungen und ist im Falle von bidirektionalen Beziehungen gleich der Passivsumme, die wiederum die Anzahl (und Intensität) aller eingehenden Beziehungen repräsentiert (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 201; DAENZER & HUBER 1999, S. 559; PROBST & GOMEZ 1991, S. 13 f.).

<sup>38</sup> Die Kritikalität wird aus dem Produkt von Aktiv- und Passivsumme gebildet und repräsentiert die relative Sensibilität einer Produktkomponente hinsichtlich ihrer Anpassung innerhalb einer Produktstruktur (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 208; PROBST & GOMEZ 1991, S. 13 f.).

Für jede betroffene Produktkomponente wird abschließend der quantifizierte Gesamtwert ( $TV_{K_i}(\text{Komponenten})$ ) über alle berücksichtigten Beziehungs-Typen gemäß folgender Formel berechnet:

$$TV_{K_i}(\text{Komponenten}) = \sum_{j=1}^n Kr_{K_i}(\text{Beziehungs-Typ } j) \text{ oder } AS_{K_i}(\text{Beziehungs-Typ } j) \quad (4-5)$$

Daraus ergibt sich, bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-17, die Berechnung des Gesamtwertes für die Produktkomponente  $K_3$  beispielsweise wie folgt:

$$\begin{aligned} TV_{K_3}(\text{Komponenten}) &= Kr_{K_3}(\text{Geometrisch}) + Kr_{K_3}(\text{Energetisch}) \\ &= 25 + 25 = 50 \end{aligned} \quad (4-6)$$

Wie bereits dargestellt, gilt für die resultierenden Auswirkungen auf das Individualisierungspotential, je größer der Gesamtwert in der Domäne „Komponenten“ ( $TV_{K_i}(\text{Komponenten})$ ), desto geringer ist schlussendlich das Individualisierungspotential der Produktkomponente.

## Schritt 2 – Berechnung der Individualisierungspotentiale

Im zweiten Schritt der Methode werden vom Produktentwickler die einzelnen Gesamtwerte der in Schritt 1 betrachteten Domänen (Strategie, Funktion und Komponenten) für jede betrachtete Produktkomponente zu einem separaten Individualisierungspotential aggregiert (siehe Abbildung 4-18). Optional können dabei die einzelnen Gesamtwerte der betrachteten Domänen vom Produktentwickler unterschiedlich gewichtet werden.

Das Beispiel in Abbildung 4-18 priorisiert die Domäne „Funktion“ gegenüber den anderen beiden Domänen durch Berücksichtigung einer entsprechenden 50%igen Gewichtung. Inwieweit eine unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Domänen für den jeweiligen Anwendungsfall relevant ist, muss vom Produktentwickler entschieden werden.

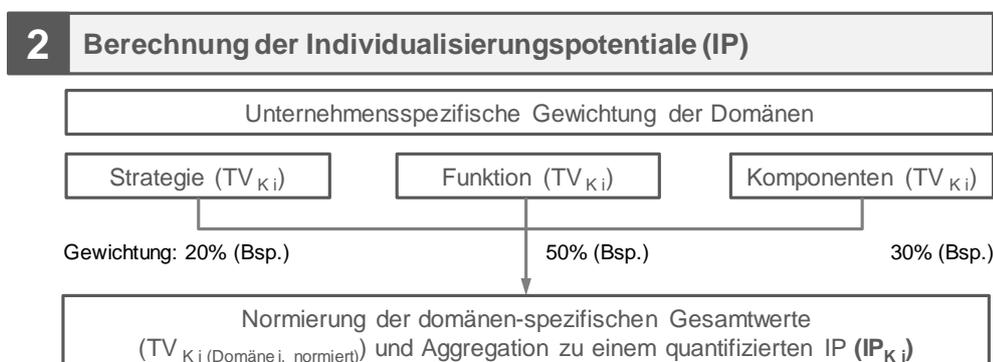


Abbildung 4-18: Vorgehen zur Berechnung der Individualisierungspotentiale

Da die Gesamtwerte ( $TV_{K i (Domäne j)}$ ) für die betroffenen Produktkomponenten in den einzelnen Domänen unterschiedliche Wertebereiche aufweisen (siehe Abbildung 4-15, Abbildung 4-16 sowie Abbildung 4-17), müssen diese, zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit, vor der Aggregation zwingend auf einen vorgeschlagenen Wertebereich von „0“ bis „10“ gemäß folgender Formel normiert werden:

$$TV_{K i (Domäne j)} = \sum_{j=1}^3 \left( \frac{TV_{K i (Domäne j)} * 10}{TV_{K max (Domäne j)}} * GEW_{(Domäne j)} \right) \quad (4-7)$$

Die resultierenden Individualisierungspotentiale ( $IP_{K i}$ ) der betrachteten Produktkomponenten werden, zur Gewährleistung einer produktübergreifenden Vergleichbarkeit, ebenfalls auf einen vorgeschlagenen Wertebereich von „0“ bis „10“ gemäß folgender Formel normiert:

$$IP_{K i} = \frac{TV_{K max} - TV_{K i}}{TV_{K max} - TV_{K min}} * 10 \quad (4-8)$$

Für die resultierenden Auswirkungen auf das Individualisierungspotential gilt, je größer der Gesamtwert (über alle Domänen) einer Produktkomponente, desto geringer ist schlussendlich dessen Individualisierungspotential. Und je geringer das Individualisierungspotential einer Produktkomponente, desto eingeschränkter sind schlussendlich die kundenseitigen Freiheitsgrade hinsichtlich der Selbstindividualisierung dieser Produktkomponente.

#### 4.5.2 Festlegung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

Für die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten stellt der Produktentwickler für jede betroffene Produktkomponente jeweils die ermittelte Kundenpriorität (Ergebnis der Kundenanalyse – vgl. Abschnitt 4.4) dem berechneten Individualisierungspotential im Spannungsfeldportfolio gegenüber. Anschließend werden vom Produktentwickler die Produktkomponenten als selbstindividualisierbar festgelegt, die relativ betrachtet, neben einer hohen Kundenpriorität gleichermaßen ein hohes Individualisierungspotential aufweisen.

#### Aufbau und Funktionsweise des Spannungsfeldportfolios

In Abbildung 4-19 ist das Spannungsfeldportfolio dargestellt. Das Spannungsfeld des Portfolios definiert sich durch die Kunden-Dimension auf der Y-Achse und die Produktentwicklungs-Dimension auf der X-Achse. Auf der Y-Achse wird für jede betroffene Produktkomponente die Relevanz der Selbstindividualisierung aus Kundensicht und auf der X-Achse die Eignung zur Selbstindividualisierung aus Unternehmenssicht abgebildet. Die Eignung wird dabei auf die wahrscheinlich zu erwartenden Einschränkungen der kundenseitigen Selbstindividualisierungsfreiheitsgrade aufgrund strategischer und/oder technischer Produktmerkmale bezogen.

Die Darstellung der beiden Sichten in einem zweidimensionalen Portfolio hat für den Produktentwickler den Vorteil einer transparenten und objektiven Entscheidungsgrundlage. Das

Spannungsfeldportfolio lässt sich generell in vier Quadranten aufteilen, wobei die Aufteilung der Quadranten, je nach Anwendungsfall vom Produktentwickler individuell angepasst werden kann. So könnte es beispielsweise durchaus sinnvoll sein, die Kundensicht höher zu bewerten, indem die horizontale Trennlinie zwischen den Quadranten in Richtung der Y-Achse verschoben wird. Gleichmaßen könnte die Unternehmenssicht höher bewertet werden, indem die vertikale Trennlinie zwischen den Quadranten in Richtung der X-Achse verschoben wird.

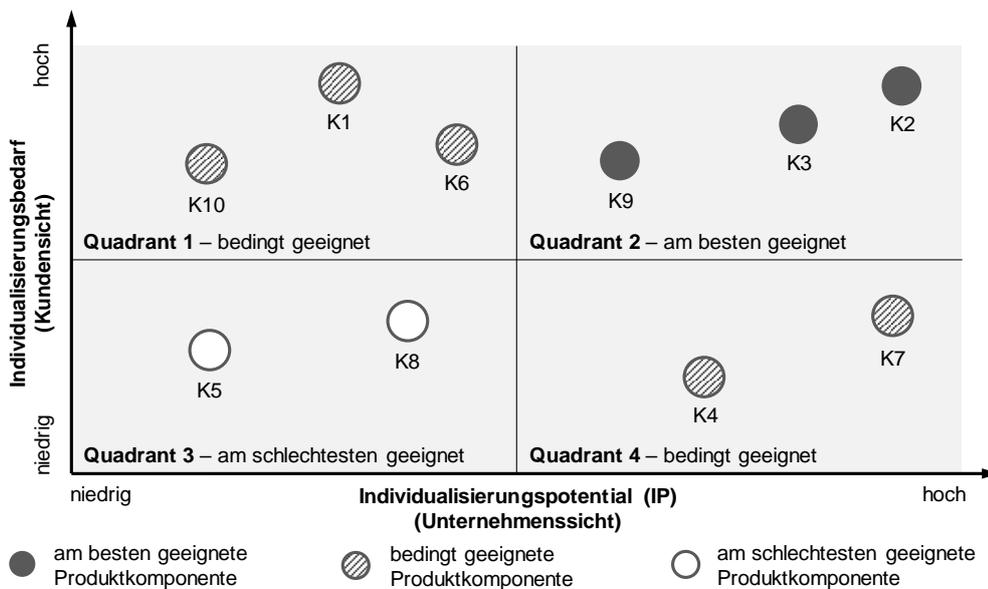


Abbildung 4-19: Darstellung des Spannungsfeldportfolios anhand eines fiktiven Beispiels

Nachfolgend wird die Bedeutung der vier Quadranten beschrieben:

- **Quadrant 1** – Beinhaltet Produktkomponenten, die im relativen Vergleich einen hohen Individualisierungsbedarf (Kundensicht), jedoch ein niedriges Individualisierungspotential (Unternehmenssicht) aufweisen. Diese Produktkomponenten sind im relativen Vergleich nur bedingt für kundenseitige Selbstindividualisierungen geeignet.
- **Quadrant 2** – Beinhaltet die Produktkomponenten, die im relativen Vergleich einen hohen Individualisierungsbedarf und ein hohes Individualisierungspotential aufweisen. Diese Produktkomponenten sind im relativen Vergleich am besten für kundenseitige Selbstindividualisierungen geeignet.
- **Quadrant 3** – Beinhaltet die Produktkomponenten, die im relativen Vergleich einen niedrigen Individualisierungsbedarf und ein niedriges Individualisierungspotential aufweisen. Diese Produktkomponenten sind im relativen Vergleich am schlechtesten für kundenseitige Selbstindividualisierungen geeignet.
- **Quadrant 4** – Beinhaltet die Produktkomponenten, die im relativen Vergleich einen niedrigen Individualisierungsbedarf und ein hohes Individualisierungspotential aufweisen. Diese Produktkomponenten sind im relativen Vergleich ebenfalls nur bedingt für kundenseitige Selbstindividualisierungen geeignet.

Auf Basis der Bewertung der Lage betroffener Produktkomponenten innerhalb des Spannungsfeldportfolios, lassen sich die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten festlegen.

Unabhängig von der Quadranten-Aufteilung, sind vom Produktentwickler die Produktkomponenten festzulegen, die innerhalb des zweiten Quadranten liegen. Die bedingt geeigneten Produktkomponenten innerhalb des ersten und vierten Quadranten sollten im Zweifelsfall im Rahmen eines weiterführenden Experten-Workshops detaillierter betrachtet werden.

Zur Reflexion des Einflusses der unterschiedlichen Gewichtungen für die Domänen „Strategie“, „Funktion“ und „Komponenten“ (vgl. Abschnitt 4.5.1) kann der Produktentwickler eine Sensitivitätsanalyse durchführen. Dazu müssen die Gewichtungen in einem bestimmten Wertebereich (z. B.  $\pm 10\%$ ) variiert und die resultierenden Auswirkungen auf die Position der Produktkomponenten im Spannungsfeldportfolio bewertet werden. Ergeben sich wesentliche Positionsänderungen in Folge dieser Variation, sollte der Produktentwickler die betreffenden Produktkomponenten in unmittelbarer Grenznähe zu Quadrant 2 individuell bewerten.

Die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten bildet den Abschluss der dritten Handlungsphase des Integrierten Vorgehens und ist zugleich Ausgangspunkt für die folgende Handlungsphase der Produktstrukturanpassung.

### 4.6 Handlungsphase 4 – Produktstrukturanpassung

Das Ziel der **vierten Handlungsphase** ist die Festlegung der Produktstrukturanpassungen. Die Handlungsphase gliedert sich in zwei Handlungsschritte. In Abbildung 4-20 sind neben dem notwendigen Input und resultierenden Output (Ziele) der Handlungsphase, die Methoden und Hilfsmittel zur Durchführung der beiden Handlungsschritte dargestellt.

<b>Input</b>	<b>4 Produktstrukturanpassung</b> 		<b>Output (Ziele)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktstrukturmodell inkl. Markierung nicht veränderbarer Komponenten</li> <li>• Selbstindividualisierbare Produktkomponenten</li> </ul>	<b>Handlungsschritte</b>	<b>Methoden und Hilfsmittel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festgelegte Produktstrukturanpassungen</li> </ul>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten</li> <li>2) Prognose konstruktiver Änderungsaufwände</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten</li> <li>• Methode zur Prognose konstruktiver Änderungsaufwände</li> </ul>	

Abbildung 4-20: Übersicht des Inputs, der Handlungsschritte, der Methoden und Hilfsmittel sowie des Outputs (Ziele) der Produktstrukturanpassung

Im **ersten Handlungsschritt** werden die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten mit Hilfe einer entsprechenden Methode strukturell entkoppelt, um die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade zu maximieren. Der notwendige Input für die Durchführung dieses Handlungsschrittes ist das Produktstrukturmodell aus der ersten Handlungsphase sowie die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten aus der dritten Handlungsphase.

Im **zweiten Handlungsschritt** werden die Aufwände zur konstruktiven Umsetzung der Produktstrukturanpassungen mit Hilfe einer entsprechenden Methode prognostiziert und darauf aufbauend die Produktstrukturanpassungen festgelegt, die mit den zur Verfügung stehenden

Ressourcen umsetzbar sind. Der notwendige Input für die Durchführung dieses Handlungsschrittes sind die geplanten Produktstrukturanpassungen des ersten Handlungsschrittes.

Im Folgenden werden die beiden Handlungsschritte der Produktstrukturanpassung beschrieben sowie Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt, die deren Durchführung unterstützen sollen.

#### 4.6.1 Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

Für die Entkopplung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten wird dem Produktentwickler eine entsprechende Methode zur Seite gestellt (siehe Abbildung 4-21). Die Methode präsentiert vier Prinzipien, um die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten systematisch zu entkoppeln und damit die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade zu maximieren.

Bevor mit der Entkopplung begonnen werden kann, muss das bereits erstellte Produktstrukturmodell aus der Situationsanalyse zunächst um die horizontalen Beziehungen der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten erweitert und darauf aufbauend potentielle Absorber<sup>39</sup> definiert werden. Mit diesem als Vorbereitung beschriebenen, ersten Methodenschritt wird der Ist-Zustand der Komponentenbeziehungen analysiert und entsprechend dargestellt.

Im zweiten Schritt erfolgt die Entkopplung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten und damit die Planung der erforderlichen Produktstrukturanpassungen. Dazu werden dem Produktentwickler vier Prinzipien aufgezeigt, deren Herleitung im Anschluss an die Beschreibung der Methode erläutert wird.

Der dritte Schritt umfasst die Dokumentation geplanter Produktstrukturanpassungen, welche Ausgangspunkt für den zweiten Handlungsschritt innerhalb dieser Handlungsphase ist.

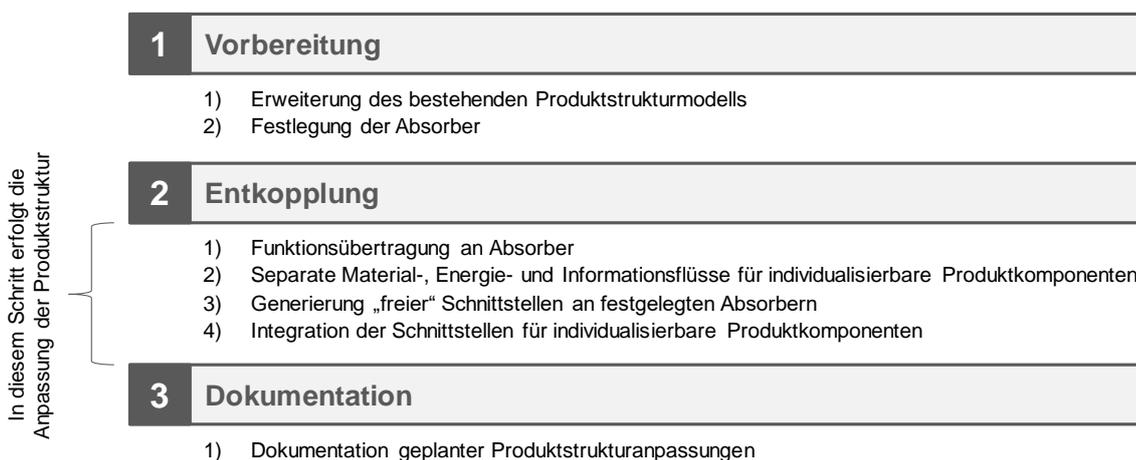


Abbildung 4-21: Aufbau der Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

<sup>39</sup> Absorber sind Produktkomponenten, die als Bindeglieder fungieren und Funktionen der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten übernehmen können.

### Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

In Abbildung 4-21 ist der Aufbau der Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten dargestellt. Die Methode gliedert sich in die Schritte „Vorbereitung“, „Entkopplung“ und „Dokumentation“. Im weiteren Verlauf werden die drei Methodenschritte beschrieben und anhand eines fiktiven Beispiels verdeutlicht.

#### Schritt 1 – Vorbereitung

Im ersten Methodenschritt wird vom Produktentwickler das bereits erstellte Produktstrukturmodell aus der ersten Handlungsphase (vgl. Abschnitt 4.3) um die horizontalen Beziehungen der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten erweitert. Diese Beziehungen sind in Abbildung 4-22 fett markiert und wurden bereits im Rahmen der dritten Handlungsphase (Spannungsfeldanalyse) analysiert. Dementsprechend wird das bestehende Produktstrukturmodell um ausgewählte horizontale Beziehungen innerhalb der Hierarchieebene der Produktkomponenten (vgl. Abschnitt 3.2) erweitert und zur besseren Unterscheidung fortan als „Erweitertes Produktstrukturmodell“ bezeichnet.

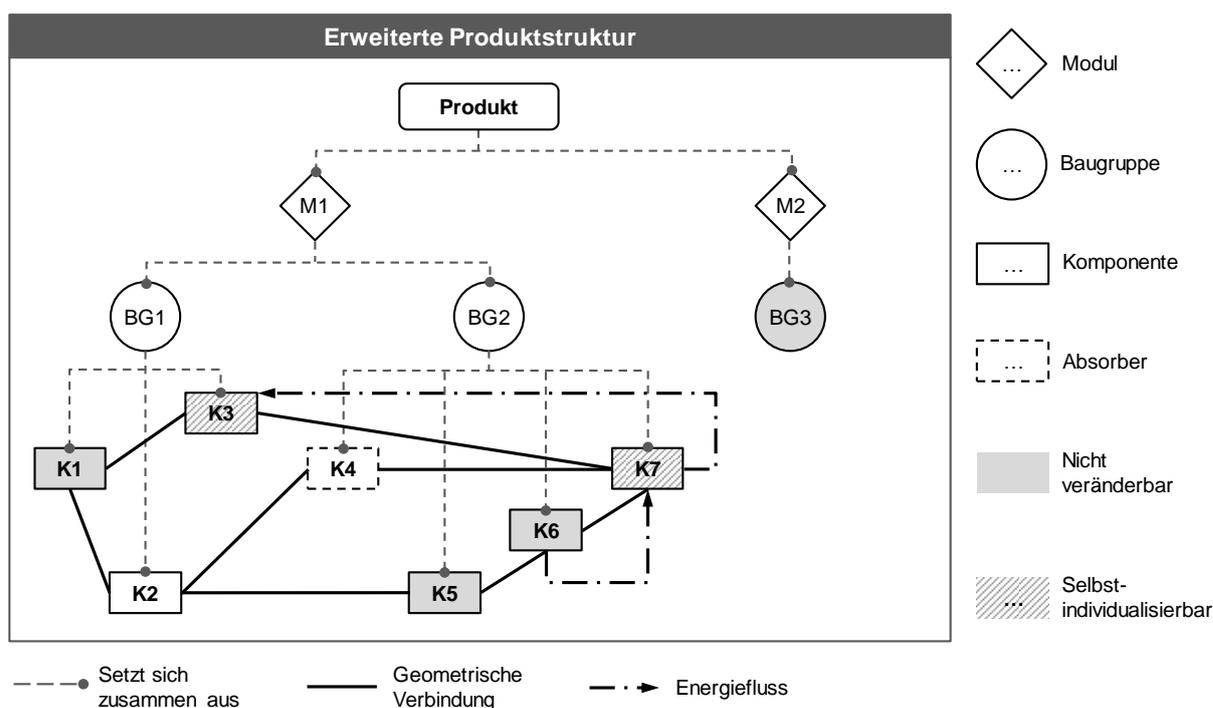


Abbildung 4-22: Modell einer fiktiven Produktstruktur, das um die horizontalen Beziehungen (z. B. geometrische Verbindungen) auf der Hierarchieebene der Produktkomponenten erweitert wurde

Im weiteren Verlauf werden potentiellen Absorber im erweiterten Produktstrukturmodell identifiziert. Absorber sind Produktkomponenten, die selbst nicht kundenseitig individualisiert werden sollen und als Bindeglieder zwischen individualisierbaren und standardisierten Produktkomponenten fungieren. Damit sind Absorber im Sinne der durchzuführenden Produktstrukturanpassung (siehe Schritt 2 der Methode) prädestiniert für die Übernahme von Produktfunktionen, die den selbstindividualisierbaren Produktkomponenten zugeordnet sind.

Bei der Identifikation potentieller Absorber muss das erweiterte Produktstrukturmodell nach Produktkomponenten durchsucht werden, die mindestens eine horizontale Beziehung sowohl zu einer selbstindividualisierbaren als auch zu einer standardisierten Produktkomponente aufweisen. Im erweiterten Produktstrukturmodell aus Abbildung 4-22 sind die Produktkomponenten K1, K4 und K6 demnach potentielle Absorber. Aus der Menge aller potentiellen Absorber sind anschließend vom Produktentwickler die Produktkomponenten zu bestimmen, die im Rahmen der Produktstrukturanpassung tatsächlich als Absorber fungieren sollen. Die Festlegung der Absorber ist zwingende Voraussetzung für den folgenden, zweiten Methodenschritt. Für das fiktive Beispiel in Abbildung 4-22 wurde die Produktkomponente K4 als Absorber festgelegt, da die übrigen (potentiellen) Absorber bereits als nicht veränderbar deklariert wurden. Ausschlaggebend für die Festlegung der Absorber ist letztlich immer Frage, ob ein potentieller Absorber konstruktiv geändert werden darf oder nicht.

## Schritt 2 – Entkopplung

Im Rahmen des zweiten Methodenschrittes wird dem Produktentwickler eine definierte Reihenfolge von vier anzuwendenden Prinzipien aufgezeigt. Diese Reihenfolge wird auf Grundlage der zu erwartenden Auswirkungen, der durch die Prinzipien beschriebenen Strukturanpassungen bestimmt. Um die Wahrscheinlichkeit einer Iteration<sup>40</sup> bei der Strukturanpassung zu minimieren werden die Prinzipien in der Anwendung vorangestellt, deren zu erwartende Auswirkungen am größten sind.

Es wird angenommen, dass das Prinzip zur „Reduzierung der Schnittstellen durch Funktionsübertragung“, von den vier Prinzipien, die größten zu erwartenden Auswirkungen innerhalb der Produktstruktur hat. Die zweitgrößten Auswirkungen werden dem Prinzip zur „Separierung der Material-, Energie- und Informationsflüsse“ zugeschrieben, gefolgt von dem Prinzip zur „Generierung freier Schnittstellen“. Den Abschluss bildet das Prinzip zur „Reduzierung der Schnittstellenanzahl durch Integration“, mit dem geringsten, zu erwartenden Auswirkungen auf der Produktstrukturebene. Damit ergibt sich die Reihenfolge bei der Anwendung der vier Prinzipien, welche im weiteren Verlauf dieses Abschnittes detailliert erläutert werden.

Das **erste Prinzip** beschreibt die Reduzierung der Schnittstellenanzahl selbstindividualisierbarer Produktkomponenten durch eine gezielte Übertragung der durch die Schnittstellen erfüllten Produktfunktionen an die zuvor festgelegten Absorber. Im Beispiel aus Abbildung 4-22 wurde die Produktkomponente K4 als Absorber festgelegt. Damit verfolgt die Anwendung des ersten Prinzips das Ziel, möglichst viele Funktionen und damit verbundene Schnittstellen der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten K3 und K7 an den Absorber K4 zu übertragen. So wird die Funktion der Befestigung von Produktkomponente K1 (repräsentiert durch eine entsprechende geometrische Schnittstelle) von K3 auf K4 übertragen (siehe Abbildung 4-23). Damit wird die Schnittstellenanzahl der selbstindividualisierbaren Produktkomponente K3 reduziert und der kundenseitige Individualisierungsfreiheitsgrad dieser Produktkomponente erhöht. In gleicher Weise sind sämtliche selbstindividualisierbaren Produktkomponenten innerhalb des erweiterten Produktstrukturmodells zu überprüfen. Bei der Funktionsübertragung ist der Produktentwickler in der Pflicht, eigenständig zu entscheiden, inwieweit Produktfunktionen von einer Produktkomponente auf eine andere übertragen werden können. Die

---

<sup>40</sup> Als Iteration wird eine erneute Anpassung einer bereits zuvor angepassten Schnittstelle verstanden.

ausschlaggebenden Gründe sind genauso vielfältig, wie umfangreich und können an dieser Stelle unmöglich losgelöst vom eigentlichen Anwendungsfall beschrieben werden.

Das **zweite Prinzip** dient der Separierung der Material-, Energie- und Informationsflüsse selbstindividualisierbarer Produktkomponenten. Flüsse, die wie in Abbildung 4-22 dargestellt, in einer Art „Reihenschaltung“ von einer selbstindividualisierbaren Produktkomponente (K7) zur anderen (K3) weitergeleitet werden, sollten nach Möglichkeit parallelisiert werden, um die Abhängigkeiten zwischen diesen Produktkomponenten zu reduzieren. Das bedeutet, dass jede selbstindividualisierbare Produktkomponente parallel in die verschiedenen Flüsse einzubinden ist (siehe Energiefluss von K6 zu K3 und K7 in Abbildung 4-23). Durch diese Separierung und der damit verbunden Entkopplung der Flüsse, werden die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade betreffender Produktkomponenten erhöht. Auch in diesem Fall ist der Produktentwickler in der Verantwortung über die Realisierung einer Separierung der Flüsse, unter Berücksichtigung des jeweiligen Anwendungsfalls, eigenständig zu entscheiden.

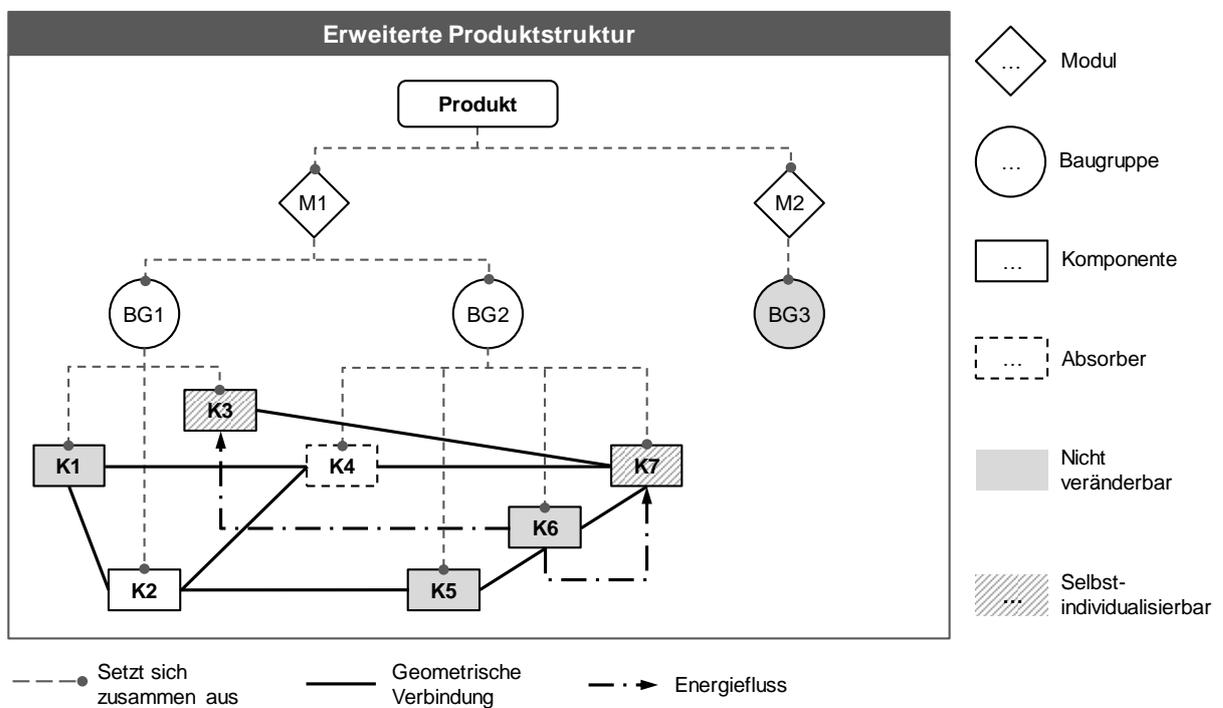


Abbildung 4-23: Angepasstes Produktstrukturmodell nach Durchführung der strukturellen Entkopplung der selbstindividualisierbaren Produktkomponente K3 (Ausgangspunkt: siehe Abbildung 4-22)

Das **dritte Prinzip** adressiert die Generierung freier Schnittstellen an den festgelegten Absorbieren. Diese freien Schnittstellen sind als alternative Schnittstellen – z. B. für die Befestigung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten – zu verstehen. Damit existieren bestenfalls mehrere alternative Befestigungspositionen für die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten, was zur Erhöhung ihres kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrades führt. Kunden wären damit fortan beispielsweise in der Lage sich individuell für eine dieser Befestigungspositionen zu entscheiden und bekommen auf diese Weise einen weiteren Individualisierungsfreiheitsgrad zur Verfügung gestellt.

In dem Beispiel aus Abbildung 4-24 wird angenommen, dass die selbstindividualisierbare Produktkomponente K3 nicht nur an K7, sondern alternativ auch an der freien Schnittstelle des Absorbers K4 befestigt werden kann. Die Entscheidung würde in diesem Fall dem Kunden im Rahmen der Selbstindividualisierung obliegen. Inwieweit an den Absorbern freie Schnittstellen für die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten vorgesehen werden können, muss vom Produktentwickler unter Berücksichtigung des jeweiligen Anwendungsfalls eigenständig entschieden werden.

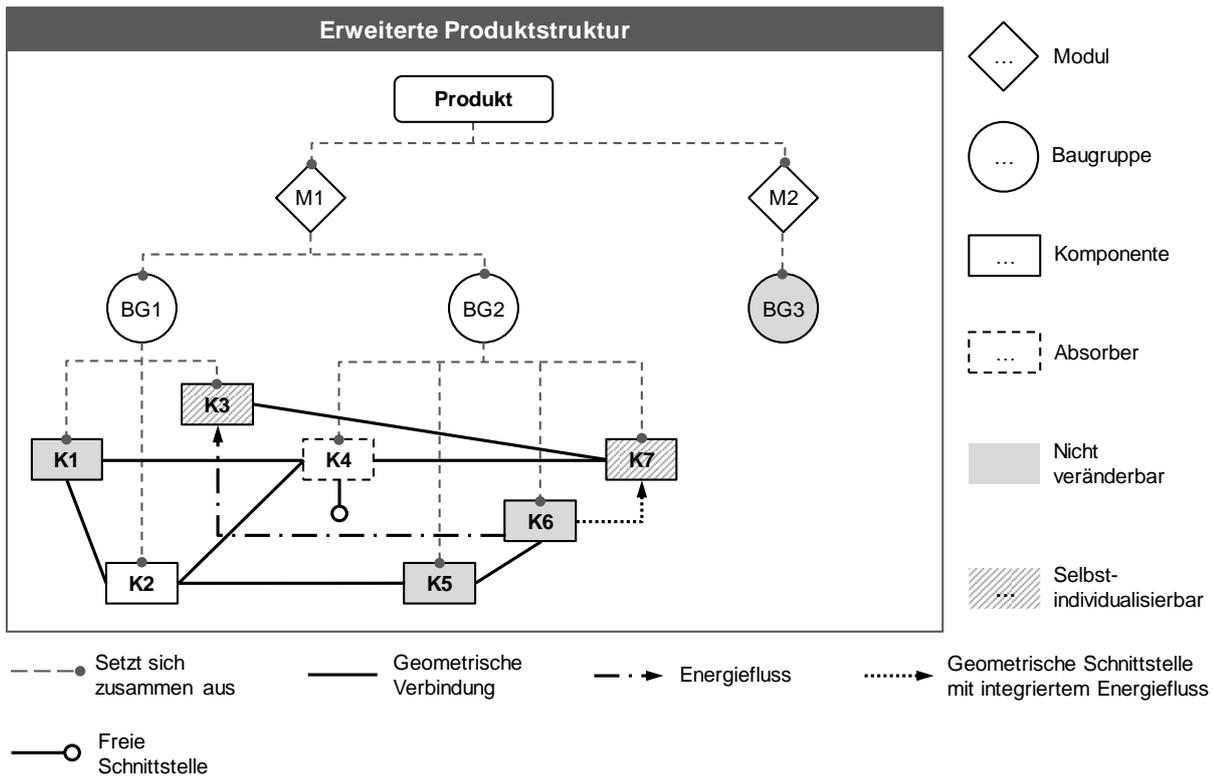


Abbildung 4-24: Angepasstes Produktstrukturmodell nach der Generierung einer freien Schnittstelle für die selbstindividualisierbare Produktkomponente K3 am Absorber K4 (Ausgangspunkt: siehe Abbildung 4-23)

Das **vierte Prinzip** zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten sieht die Integration entsprechender Schnittstellen vor. Unter einer Schnittstellenintegration wird in diesem Zusammenhang die Bündelung von mindestens zwei unterschiedlichen Schnittstellenarten zwischen den gleichen Produktkomponenten verstanden. In Abbildung 4-24 wurde beispielsweise die geometrische Verbindung und der Energiefluss zwischen den Produktkomponenten K6 und K7 zu einer integrierten Schnittstelle zusammengefasst. Damit konnte die Schnittstellenanzahl der selbstindividualisierbaren Produktkomponente K7 reduziert und demzufolge der kundenseitige Individualisierungsfreiheitsgrad dieser Produktkomponente erhöht werden. Die Entscheidung, inwieweit Schnittstellen von selbstindividualisierbaren Produktkomponenten integriert werden können, muss der Produktentwickler auch an dieser Stelle, unter Berücksichtigung des jeweiligen Anwendungsfalls, eigenständig treffen.

### Schritt 3 – Dokumentation

Im dritten Methodenschritt werden vom Produktentwickler die geplanten Produktstrukturanpassungen dokumentiert. Dazu wird das in Tabelle 4-3 dargestellte Formular vorgeschlagen, das sämtliche, für das weitere Vorgehen relevanten Beschreibungsgrößen beinhaltet. Diese werden gebildet durch die Identifikations-Nummer (Id.-Nr.), die Bezeichnung und Kurzbeschreibung der geplanten Anpassung sowie die davon betroffenen Produktkomponenten und der verantwortliche Ansprechpartner.

Die Kurzbeschreibung sollte sämtliche Informationen beinhalten, die notwendig sind, um die geplanten Produktstrukturanpassungen konstruktiv umzusetzen. Damit sind insbesondere entsprechende Anforderungen, Randbedingungen oder auch Funktionsbeschreibungen gemeint. Der Inhalt ist abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall und kann nur beispielhaft beschrieben werden.

Als Ansprechpartner sollte der Mitarbeiter in das Formular eingetragen werden, der die Produktstrukturanpassung hauptverantwortlich geplant und dokumentiert hat und demzufolge für eventuelle Rückfragen während der konstruktiven Umsetzung zur Verfügung steht.

Tabelle 4-3: Generisches Formular zur Dokumentation geplanter Produktstrukturanpassungen am Beispiel der erweiterten Produktstruktur aus Schritt 2

Beschreibung der Produktstrukturanpassungen				
Id.-Nr.	Bezeichnung	Kurzbeschreibung	Betroffene Produktkomponenten	Ansprechpartner
01	Funktionsübertragung von K3 auf K4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Übertragung der Funktion „Befestigung K1“ von K3 auf Absorber K4</li> <li>Erzeugung einer geometrischen Verbindung zwischen K1 und Absorber K4</li> <li>Reduzierung der geometrischen Verbindung zwischen K1 und K3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>K1, K3, K4</li> </ul>	Person A
02	Freie Schnittstelle an K4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generierung einer alternativen Befestigungsposition für K3 an Absorber K4</li> <li>Geometrische Verbindung zwischen K3 und K4 soll identisch zu K3 und K7 sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>K4</li> </ul>	Person B

Die in Tabelle 4-3 aufgeführten Beschreibungsgrößen sind einzig für die Durchführung der fünften Handlungsphase des Integrierten Vorgehens ausgelegt. Sollten darüber hinaus weitere, hier nicht berücksichtigte, Informationen benötigt werden, sind diese dem Anwendungsfall entsprechend vom Produktentwickler eigenständig zu ergänzen.

### Herleitung der vier Prinzipien zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

Die vier Prinzipien zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten beruhen auf existierenden Prinzipien zur Entwicklung flexibler Produktarchitekturen (vgl. Abschnitt 3.2.3). Diese Prinzipien (im weiteren Verlauf als „Flexibilitätsprinzipien“ bezeichnet) werden auf Basis der nachfolgenden Kriterien hinsichtlich ihrer Eignung für die Entkopplung

selbstindividualisierbarer Produktkomponenten bewertet. Die Kriterien stützen sich auf die in Abschnitt 1.3 beschriebenen Zielsetzung.

- **Produktstruktur als fokussierte Handlungsebene** – ein Flexibilitätsprinzip ist potentiell geeignet, wenn dieses die Produktstruktur als Handlungsebene adressiert. So gibt es beispielsweise Flexibilitätsprinzipien, die Handlungen auf der Ebene der geometrischen Produktgestaltung beschreiben. Diese Prinzipien sind bei der Produktstrukturplanung nicht anwendbar und demzufolge auch nicht für die Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten geeignet.
- **Anpassung existierender Produktkomponenten** – ein Flexibilitätsprinzip ist potentiell geeignet, wenn dieses die Anpassung bereits existierender Produktkomponenten adressiert. Flexibilitätsprinzipien, die auf das Hinzufügen oder Entfernen von Produktkomponenten abzielen, sind für die Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten nicht geeignet.
- **Anpassung der Schnittstellen** – ein Flexibilitätsprinzip ist potentiell geeignet, wenn dieses die Anpassung der Schnittstellen in der Form adressiert, dass die geometrischen Freiräume und damit die Individualisierungsfreiheitsgrade vergrößert werden. Dies kann beispielsweise durch eine zielgerichtete Reduzierung der Schnittstellenanzahl für selbstindividualisierbare Produktkomponenten erreicht werden.

Nach erfolgter Bewertung werden die geeigneten Flexibilitätsprinzipien aggregiert – um die Berücksichtigung redundanter Prinzipien zu vermeiden – und anschließend in eine strukturierte Reihenfolge gebracht. Die Reihenfolge ergibt sich aus der Anforderung, dem Produktentwickler eine aufwandsoptimierte Methode zur Verfügung zu stellen und aufwendige Iterationen während der Produktstrukturanpassung zu vermeiden.

Abschließend werden die aggregierten und strukturierten Flexibilitätsprinzipien für die selbstindividualisierungsgerechte Anpassung einer bereits bestehenden Produktstruktur adaptiert und in den Methodenschritt der Entkopplung überführt (siehe Abbildung 4-25). Im weiteren Verlauf werden die Ergebnisse der Bewertung existierender Flexibilitätsprinzipien dargestellt.

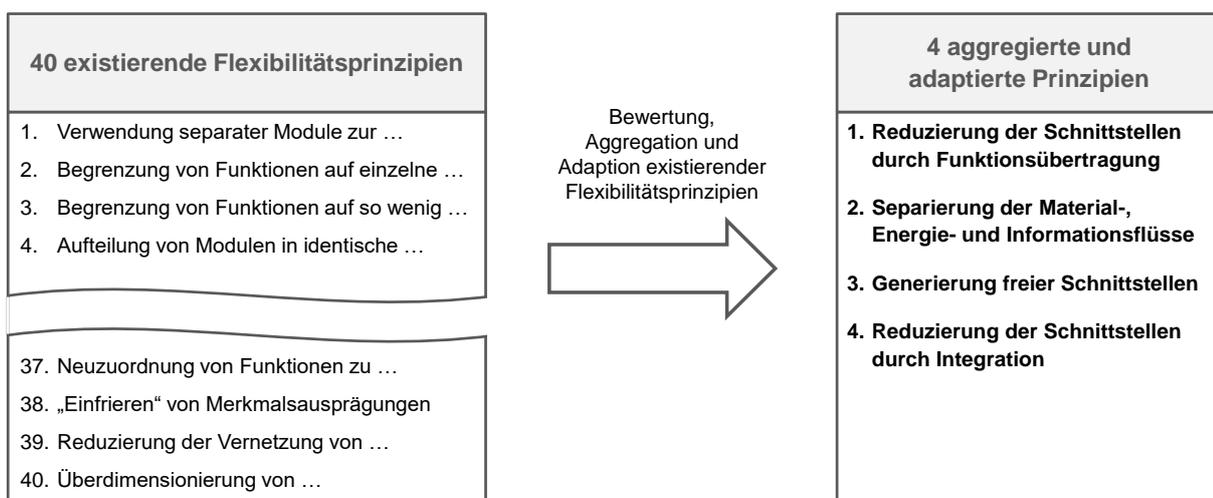


Abbildung 4-25: Herleitung der vier Prinzipien zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten auf Basis der Bewertung, Aggregation und Adaption existierender Flexibilitätsprinzipien

Für die Bewertung existierender Flexibilitätsprinzipien hinsichtlich ihrer Eignung für die Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten, wurden insgesamt 23 Prinzipien von KEESE ET AL. 2007 und QURESHI ET AL. (2006), 7 Prinzipien von FRICKE & SCHULZ (2005), 6 Prinzipien von PALANI RAJAN ET AL. (2003) sowie 4 Prinzipien von MARTIN & ISHII (2002) berücksichtigt (vgl. Abschnitt 3.2.3). Ein Flexibilitätsprinzip wurde als geeignet bewertet, wenn es die drei oben beschriebenen Kriterien erfüllt.

Tabelle 4-4 zeigt einen Ausschnitt der Bewertungsergebnisse (die vollständige Ergebnistabelle findet sich in Abschnitt 8.1.2). So beschreibt beispielsweise das erste Flexibilitätsprinzip von KEESE ET AL. (2007) und QURESHI ET AL. (2006) in Tabelle 4-4, dass unterschiedliche Funktionen von separaten Modulen ausgeführt werden sollen. Dieses Flexibilitätsprinzip adressiert die Handlungsebene der Produktstrukturebene und kann sowohl auf die Anpassung existierender Produktkomponenten als auch auf die Anpassung der Modul- oder Komponentenschnittstellen übertragen werden. Gemäß der oben beschriebenen Konvention ist dieses Flexibilitätsprinzip damit für das Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Anpassung einer bereits bestehenden Produktstruktur geeignet.

Auf diese Weise wurden die insgesamt 40 berücksichtigten Flexibilitätsprinzipien bewertet und davon schlussendlich 17 als geeignet eingestuft. Diese 17 Flexibilitätsprinzipien werden im Folgenden aufgrund von Redundanzen zu 4 Prinzipien zusammengefasst sowie für den Kontext einer selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung adaptiert und in eine aufwandsoptimierte Reihenfolge gebracht.

Tabelle 4-4: Ergebnisse der Bewertung existierender Flexibilitätsprinzipien hinsichtlich ihrer Eignung für die Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten (Auszug)

Erläuterung der Flexibilitätsprinzipien	Quelle	Bewertungskriterien		
		Produktstruktur als fokussierte Handlungsebene	Anpassung existierender Produktkomponenten	Anpassung der Schnittstellen
[1] Verwendung separater Module zur Ausführung verschiedenartiger Funktionen	KEESE ET AL. 2007 QURESHI ET AL. 2006	X	X	X
[...] ...				
[12] Erweiterung des verfügbaren Bauraums für die Übertragkomponente des Produktes			X	
[...] ...				
[25] Einfachheit / Idealität – Reduzierung der Produktkomplexität in Folge der Reduzierung der Schnittstellen	FRICKE & SCHULZ 2005	X	X	X
[...] ...				
[32] Verbesserung der Entwicklungsflexibilität durch Modularisierung	PALANI RAJAN ET AL. 2003	X	X	X
[...] ...				
[37] Neuordnung von Funktionen zu Produktkomponenten	MARTIN & ISHII 2002	X	X	X
[...] ...				

X - Bewertungskriterium ist erfüllt

Die folgenden **vier Prinzipien** wurden durch eine Bewertung der 40 betrachteten Flexibilitätsprinzipien aggregiert und auf die Problemstellung der vorliegenden Arbeit adaptiert.

- **Reduzierung der Schnittstellenanzahl durch Funktionsübertragung** – die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade werden erhöht, indem die Schnittstellenanzahl der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten reduziert wird. Dazu werden Funktionen, die durch die betreffenden Schnittstellen realisiert werden, weitestgehend an umliegende Produktkomponenten übertragen.
- **Separierung der Material-, Energie- und Informationsflüsse** – die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade werden erhöht, indem die Material-, Energie- und Informationsflüsse selbstindividualisierbarer Produktkomponenten separiert werden.
- **Generierung freier Schnittstellen** – die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade werden erhöht, indem innerhalb der Produktstruktur freie Schnittstellen (beispielsweise in Form von alternativen Befestigungspunkten) generiert werden.
- **Reduzierung der Schnittstellenanzahl durch Integration** – die kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade werden erhöht, indem die Schnittstellenanzahl der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten reduziert wird. Dazu werden die betreffenden Schnittstellen weitestgehend zu integrierten Schnittstellen zusammengefasst.

#### 4.6.2 Prognose konstruktiver Änderungsaufwände

Für die Prognose der konstruktiven Änderungsaufwände zur Umsetzung geplanter Produktstrukturanpassungen wird dem Produktentwickler die nachfolgend beschriebene Methode zur Verfügung gestellt. Die Methode gliedert sich in zwei Schritte.

Im ersten Schritt erfolgt die Abschätzung der Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten (vgl. Abschnitt 3.3). Das ist notwendig, da geplante (initiierte) Änderungen von Produktkomponenten in den meisten Fällen auch ungeplante (emergierende) Änderungen angrenzender Produktkomponenten zur Folge haben (GIFFIN ET AL. 2009; ECKERT ET AL. 2004). Aus diesem Grund wird der Produktentwickler im ersten Methodenschritt dazu angehalten die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten möglicher emergierender Änderungen abzuschätzen und entsprechend zu dokumentieren.

Im zweiten Schritt der Methode werden die resultierenden Aufwände für die konstruktive Umsetzung geplanter Produktstrukturanpassungen prognostiziert. Dabei werden sowohl die initiierten als auch die abgeschätzten, emergierenden Produktkomponentenänderungen berücksichtigt. Abschließend werden die prognostizierten Änderungsaufwände den zur Verfügung stehenden unternehmensinternen Ressourcen gegenübergestellt und auf Basis dessen, die tatsächlich umzusetzenden Produktstrukturanpassungen vom Produktentwickler festgelegt. Für den Fall, dass die prognostizierten Aufwände die verfügbaren Ressourcen überschreiten, ist ein denkbarer Ansatz, die Produktstrukturanpassungen iterativ zu überarbeiten, um die Aufwände den Ressourcen anzugleichen.

### Methode zur Prognose konstruktiver Änderungsaufwände

Vor der Durchführung des ersten Methodenschrittes wird dem Produktentwickler aus Gründen der Aufwandsoptimierung empfohlen, sowohl für die Wahrscheinlichkeit der Ausbreitung einer Produktkomponentenänderung (W) als auch für die konstruktiven Änderungsaufwände (A) diskrete Stufen zu definieren und mit qualitativen Aussagen zu hinterlegen.

In Abbildung 4-26 sind beispielhaft fünf Wahrscheinlichkeitsstufen zwischen 0 (keine Ausbreitung) und 1 (Ausbreitung unvermeidbar) sowie fünf Aufwandsstufen zwischen 5 Stunden (sehr geringer Aufwand) und 50 Stunden (sehr hoher Aufwand) festgelegt. Durch diese bewusste Einschränkung der Auswahlmöglichkeiten soll erreicht werden, dass der Aufwand für die Durchführung der Methode auf ein Minimum reduziert wird.

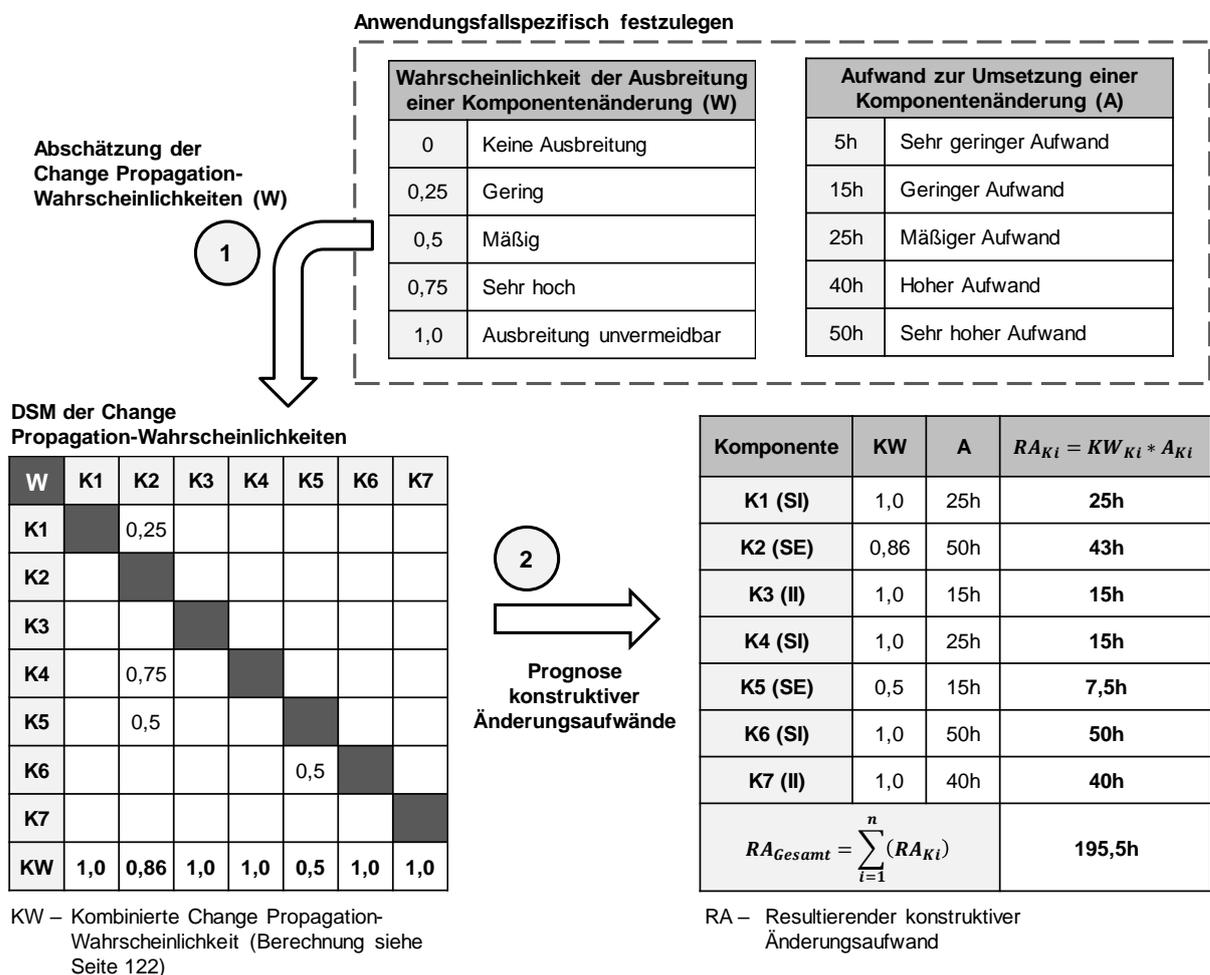


Abbildung 4-26: Aufbau der Methode zur Prognose konstruktiver Änderungsaufwände

Die in Abbildung 4-26 dargestellten Wahrscheinlichkeits- und Aufwandsstufen muss der Produktentwickler unter Berücksichtigung des jeweiligen Anwendungsfalls eigenständig festlegen. Dazu eignen sich sowohl Erfahrungswerte aus bereits durchgeführten Änderungsprojekten als auch Experten-Workshops.

### Schritt 1 – Abschätzung der Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten

In Anlehnung an die „Change Prediction Method (CPM, vgl. Abschnitt 3.3)“ von CLARKSON ET AL. (2001) werden im Rahmen des ersten Methodenschrittes die Wahrscheinlichkeiten der Change Propagation für alle emergierenden, konstruktiven Änderungen in Folge initiiertter Änderungen vom Produktentwickler abgeschätzt und anschließend in einer DSM dokumentiert. Dementsprechend sind die geplanten Produktstrukturanpassungen aus der vierten Handlungsphase als initiierte Änderungen betreffender Produktkomponenten zu verstehen, die ihrerseits wiederum emergierende Änderungen an umliegenden Produktkomponenten auslösen können.

Darauf aufbauend werden die von den Änderungen betroffenen Produktkomponenten im weiteren Verlauf unterschieden zwischen:

- selbstindividualisierbare Produktkomponente mit initiiertter Änderung (II),
- selbstindividualisierbare Produktkomponente mit emergierender Änderung (IE),
- standardisierte Produktkomponente mit initiiertter Änderung (SI) und
- standardisierte Produktkomponente mit emergierender Änderung (SE).

Bezogen auf das in Abbildung 4-27 dargestellte Beispiel, sind die Produktkomponenten K2 und K5 möglicherweise von emergierenden Änderungen betroffen. Die übrigen Produktkomponenten (mit einem Stern gekennzeichnet) müssen aufgrund der bereits initiierten Schnittstellenanpassungen mit 100%iger Wahrscheinlichkeit geändert werden.

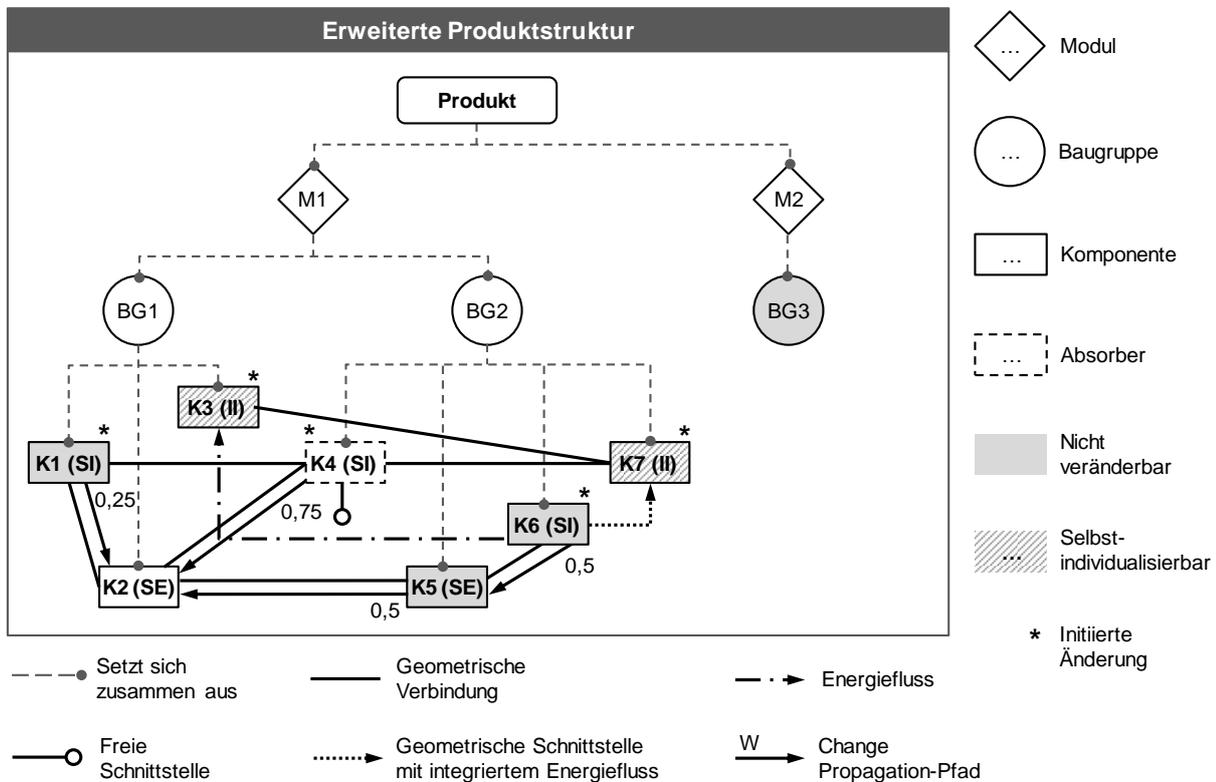


Abbildung 4-27: Angepasstes Produktstrukturmodell mit eingefügten Änderungspfaden und entsprechenden Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten (W) zur Darstellung emergierender Änderungen

ARIYO ET AL. (2006) unterscheiden als möglichen Ausgangspunkt einer Change Propagation zwischen strukturellen, funktionalen und verhaltensgesteuerten Beziehungen. Die relevanten strukturellen und funktionalen Beziehungen sind bereits während der dritten Handlungsphase (Spannungsfeldanalyse) analysiert und dokumentiert wurden. Die verhaltensgesteuerten Beziehungen beschreiben, wie Produktkomponenten mit ihrer Umwelt interagieren und umfassen sowohl erwünschte als auch unerwünschte Verhaltensweisen wie z. B. Hitzeentwicklung oder auch Vibrationen. Inwieweit solche verhaltensgesteuerten Beziehungen in die Abschätzung der Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten einbezogen werden müssen, kann ohne Berücksichtigung des jeweiligen Anwendungsfalls an dieser Stelle nicht abschließend entschieden werden. Demzufolge obliegt diese Entscheidung dem Produktentwickler.

Für die Abschätzung der Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten wird dem Produktentwickler empfohlen, maximal eine zweistufige Change Propagation zu betrachten. Bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-27 wird demnach lediglich die Wahrscheinlichkeit einer emergierenden Änderung der Produktkomponente K2 in Folge einer emergierenden Änderung der Produktkomponente K5 abgeschätzt. Bei der Abschätzung der Wahrscheinlichkeit einer emergierenden Änderung der Produktkomponente K2 wird automatisch davon ausgegangen, dass die Produktkomponente K5 von einer emergierenden Änderung betroffen ist, auch wenn diese lediglich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eintritt. Eine solche Kausalität wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit als „zweistufiger Change Propagation-Pfad“ bezeichnet.

Das Ergebnis des ersten Methodenschrittes sind die abgeschätzten Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten sämtlicher Produktkomponenten, die sich im direkten Umfeld aller initiierten Änderung befinden. Die in der DSM dokumentierten Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten können zur besseren Nachvollziehbarkeit sowie für eine eventuelle Reflexion, in Form von gerichteten Pfaden in das erweiterte Produktstrukturmodell eingefügt werden (siehe Abbildung 4-27). Anhand dieser Change Propagation-Pfade wird dargestellt, welche initiierten Produktkomponentenänderungen zu möglichen emergierenden Änderungen führen. Die Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten sind Ausgangspunkt für die folgende Prognose resultierender Änderungsaufwände.

## **Schritt 2 – Prognose konstruktive Änderungsaufwände**

Auf Basis der abgeschätzten Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten werden innerhalb des zweiten Methodenschrittes die konstruktiven Änderungsaufwände prognostiziert. Dazu müssen zunächst die kombinierten Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten aller betroffenen Produktkomponenten einzeln bestimmt werden. Diese ergeben sich aus der Berücksichtigung der möglichen Change Propagation-Pfade und sind ein Maß dafür, wie wahrscheinlich die Änderung der jeweiligen Produktkomponente ist.

Übertragen auf das in Abbildung 4-27 dargestellte Beispiel, kann eine emergierende Änderung der Produktkomponente K2 sowohl durch die initiierte Änderung der Produktkomponente K1 oder K4 als auch durch eine mögliche emergierende Änderung der Produktkomponente K5 hervorgerufen werden. Die bereits abgeschätzten Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Pfade können zunächst in einem „Change Propagation-Tree“ (CLARKSON ET AL. 2001) übersichtlich dargestellt werden (siehe Abbildung 4-28). Dieser beinhaltet alle, im Vorfeld abgeschätzten, Change Propagation-Pfade der jeweils betrachteten Produktkomponente –

bei dem in Abbildung 4-28 dargestellten Beispiel handelt es sich insgesamt um drei Change Propagation-Pfade für die Produktkomponente K2.

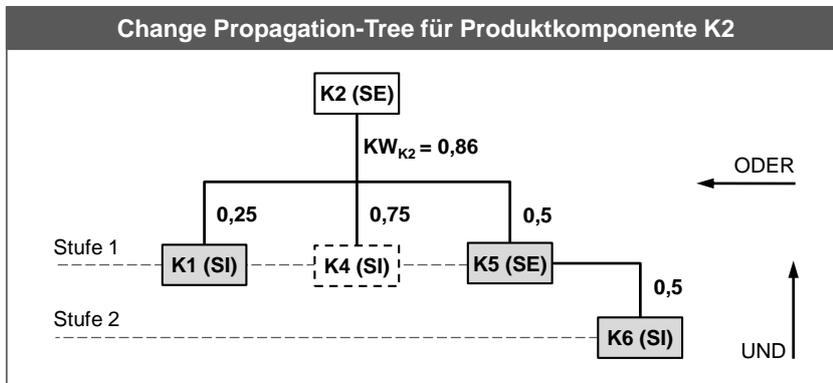


Abbildung 4-28: Change Propagation-Tree für die Produktkomponente K2, ausgehend von dem fiktiven Beispiel des ersten Methodenschrittes (vgl. Abbildung 4-27)

Mit Hilfe des Change Propagation-Tree lassen sich die kombinierten Change Propagation-Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Produktkomponenten unter Berücksichtigung stochastischer Vorschriften und die Anwendung logischer UND- bzw. ODER-Verknüpfungen berechnen. Dabei werden die vertikalen Äste des Change Propagation-Tree durch Anwendung von UND-Verknüpfungen und die horizontalen Äste entsprechend durch die Anwendung von ODER-Verknüpfungen gemäß folgenden Formeln berechnet.

Formel zur Berechnung einer UND-Verknüpfung (in Anlehnung an CLARKSON ET AL. 2001):

$$W_X \cap W_Y = W_X * W_Y \quad (4-9)$$

Formel zur Berechnung einer ODER-Verknüpfung (in Anlehnung an CLARKSON ET AL. 2001):

$$W_X \cup W_Y = 1 - ((1 - W_X) * (1 - W_Y)) \quad (4-10)$$

Dabei kann es, wie im Beispiel aus Abbildung 4-28 der Fall, durchaus auch zu einer Anwendung beider Varianten kommen. Die Formel zur Berechnung der kombinierten Change Propagation-Wahrscheinlichkeit für die Produktkomponente K2 (siehe „KW<sub>K2</sub>“ in Abbildung 4-28) lautet demzufolge:

$$KW_{K2} = 1 - \left( (1 - W_{K1}) * (1 - W_{K4}) * (1 - (W_{K6} * W_{K5})) \right) = 0,86 \quad (4-11)$$

Anschließend werden die eingangs festgelegten Aufwandsstufen den betroffenen Produktkomponenten einzeln zugeordnet. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass subjektive Einschätzungen, immer einer gewissen menschlichen Wahrnehmungsverzerrung unterliegen. RECHBERG (1997, S. 16 ff.) hat die Ursachen einer solchen Verzerrung im Zusammenhang mit

der Kostenabschätzung diskutiert und diese in endogene (resultieren aus der menschlichen Natur) und exogene (resultieren aus dem Umfeld) unterteilt. Zu den exogenen Ursachen zählen (RECHBERG 1997, S. 18-20):

- **Beharrlichkeit falscher Überzeugungen** – diese verleitet Menschen dazu, getroffene Annahmen nicht mehr zu hinterfragen.
- **Antworttendenz** – beschreibt die menschliche Neigung, persönliche Tendenzen, wie Optimismus oder auch Pessimismus in die Einschätzung unbewusst einfließen zu lassen.
- **Kognitive Verzerrung** – resultieren aus dem Erfahrungsschatz und führt dazu, dass Menschen beispielsweise das Auftreten eines bereits bekannten Problems für wahrscheinlicher halten, als das Auftreten eines unbekanntes Problems, ohne dass es dafür eine objektive Rechtfertigung gibt.

Zu den exogenen Ursachen zählen (RECHBERG 1997, S. 20-21):

- **Nichtdeterministische Struktur des empirischen Problemraums** – beschreibt das Problem, dass Abschätzungen in dynamischen und offenen Systemen schwerer vorgenommen werden können, als in deterministischen.
- **Zeitdruck** – führt zu irrationalen und häufig ungenauen Abschätzungen.
- **Externe Interessen** – führen beispielsweise dazu, dass Produktentwickler zu überhöhten Kosten- und Zeitabschätzungen neigen, um an zusätzliche Mittel zu gelangen.

Für den Fall, dass der Produktentwickler der Gefahr von menschlichen Wahrnehmungsverzerrungen vorbeugen möchte, kann anstelle der oben beschriebenen Aufwandsstufen, die von MA ET AL. (2003) entwickelte dreistufige Abschätzungsmethode angewendet werden. Dabei wird der Produktentwickler angehalten, für jede konstruktive Produktkomponentenänderung folgende Fragen zu beantworten.

- Was ist die kürzeste (optimistischste) Dauer (a) für die Durchführung der konstruktiven Änderung?
- Was ist die längste (pessimistischste) Dauer (b) für die Durchführung der konstruktiven Änderung?
- Was ist nach bisherigem Kenntnisstand die zu erwartende (realistische) Dauer (m) für die Durchführung der konstruktiven Änderung?

Auf Basis der optimistischen, pessimistischen und realistischen Sicht, wird die abgeschätzte Dauer (A) einer konstruktiven Änderung gemäß folgender Formel berechnet (MA ET AL. 2003, S. 7):

$$A_{K_i} = \frac{a_{K_i} + 4m_{K_i} + b_{K_i}}{6} \quad (4-12)$$

Die Berechnung der resultierenden konstruktiven Änderungsaufwände (RA) erfolgt gemäß folgender Formel:

$$RA_{K_i} = KW_{K_i} * A_{K_i} \quad (4-13)$$

Auf Basis der komponentenspezifischen Änderungsaufwände kann abschließend der resultierende Gesamtaufwand für die konstruktive Umsetzung der geplanten Produktstrukturanpassungen gemäß folgender Formel berechnet werden:

$$RA_{\text{Gesamt}} = \sum_{i=1}^n (RA_{K_i}) \quad (4-14)$$

## 4.7 Handlungsphase 5 – Umsetzungsplanung

Das Ziel der **fünften Handlungsphase** ist die Ableitung, Spezifikation und Strukturierung notwendiger Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung festgelegter Produktstrukturanpassungen. Die Handlungsphase gliedert sich in zwei Handlungsschritte. In Abbildung 4-29 sind neben dem notwendigen Input und resultierenden Output (Ziele) der Handlungsphase, die Methoden und Hilfsmittel zur Durchführung der beiden Handlungsschritte dargestellt.

Im **ersten Handlungsschritt** werden die erforderlichen Prozessschritte mit Hilfe der relationsorientierten Prozesssynthese abgeleitet und durch Anwendung des FORFLOW-Prozessmodells spezifiziert. Die anschließende Dokumentation der spezifizierten Prozessschritte erfolgt in Form von Prozessbausteinen. Der notwendige Input für die Durchführung dieses Handlungsschrittes sind die, in der vierten Handlungsphase festgelegten Produktstrukturanpassungen.

Im **zweiten Handlungsschritt** werden die spezifizierten Prozessschritte mit Hilfe des Stage-Gate®-Ansatzes strukturiert. Die Vermeidung von zeit- und kostenaufwendigen Iterationen innerhalb des konstruktiven Umsetzungsprozesses ist dabei das anvisierte Optimierungskriterium. Der notwendige Input für die Durchführung dieses Handlungsschrittes sind die im ersten Handlungsschritt dieser Phase abgeleiteten Prozessschritte.

Input	5 Umsetzungsplanung		Output (Ziele)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Festgelegte Produktstrukturanpassungen</li> </ul>	<b>Handlungsschritte</b>	<b>Methoden und Hilfsmittel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spezifikation und Strukturierung erforderlicher Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung festgelegter Produktstrukturanpassungen</li> </ul>
	1) Ableitung erforderlicher Prozessschritte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Methode der relationsorientierten Prozesssynthese</li> <li>FORFLOW-Prozessmodell</li> </ul>	
	2) Planung des konstruktiven Änderungsprozesses	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stage-Gate®-Ansatz</li> </ul>	

Abbildung 4-29: Übersicht des Inputs, der Handlungsschritte, der Methoden und Hilfsmittel sowie des Outputs der Umsetzungsplanung

Im Folgenden werden die beiden Handlungsschritte der Umsetzungsplanung beschrieben sowie Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt, die deren Durchführung unterstützen sollen.

### 4.7.1 Ableitung erforderlicher Prozessschritte

Ausgehend von den festgelegten Produktstrukturanpassungen muss der Produktentwickler anhand des jeweiligen Anwendungsfalls zunächst die Änderungsstrategie für jede zu ändernde Produktkomponente festlegen. In Anlehnung an EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 274 ff.) sowie LINDEMANN & REICHWALD (1998, S. 181 ff.) ist dabei zwischen „korrigierendem“ und „generierendem“ Ändern zu unterscheiden. In Abbildung 4-30 ist eine Ja/Nein-Frage dargestellt, deren Beantwortung den Produktentwickler bei der Festlegung der Änderungsstrategien unterstützen soll.

Kann die Produktkomponentenänderung durch eine gestalterische Anpassung einer bestehenden Lösung umgesetzt werden, wird dem Produktentwickler die Strategie des korrigierenden Ändern empfohlen. Sind umfangreichere Anpassungen der Produktkomponenten notwendig, sollte hingegen die Strategie des generierenden Ändern gewählt werden.

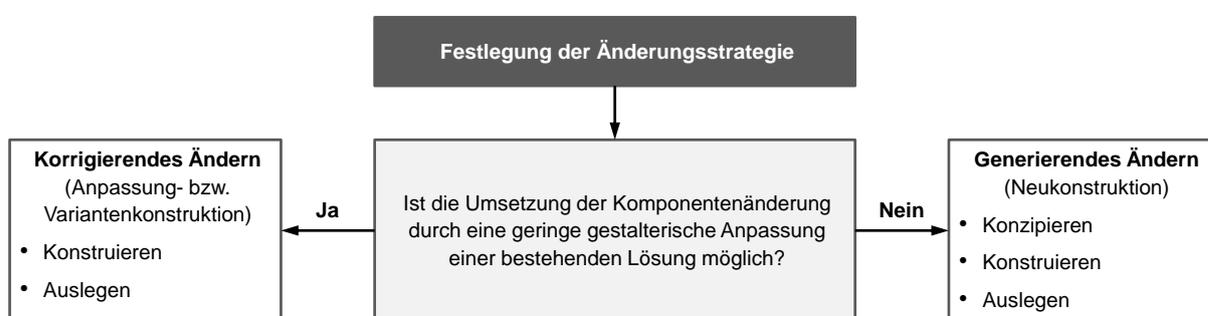


Abbildung 4-30: Wahl der Änderungsstrategie mit zugehörigen Konstruktionsarten und -phasen (in Anlehnung an EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 271 sowie LINDEMANN & REICHWALD 1998, S. 184 f.)

Korrigierendes Ändern beschränkt sich ausschließlich auf die Konstruktionsphasen „Konstruieren“ und „Auslegen“, währenddessen generierendes Ändern bereits in der früheren Konstruktionsphase des „Konzipierens“ ansetzt. Vor dem Hintergrund der Aufwandsminimierung sollte der Produktentwickler bei jeder Produktkomponente die Strategie des korrigierenden Ändern anstreben. Bevor eine Produktkomponente geändert wird, muss demnach immer reflektiert werden, inwieweit bereits alternative Produktkomponenten innerhalb des Portfolios existieren, mit denen die festgelegten Produktstrukturanpassungen aufwandsarm umgesetzt werden können.

Die festgelegte Änderungsstrategie ist Ausgangspunkt für die anschließende Ableitung der erforderlichen Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung der Produktstrukturanpassungen. Dazu wird dem Produktentwickler die Methode der relationsorientierten Prozesssynthese von BAUMBERGER (2007, S. 197 ff.) sowie das FORFLOW-Prozessmodell von ROELOFSEN (2011, S. 81 ff.) zur Verfügung gestellt.

Mit Hilfe der relationsorientierten Prozesssynthese kann der Produktentwickler für alle notwendigen konstruktiven Komponentenänderungen die erforderlichen Prozessschritte systematisch ableiten. Dazu werden die in der vierten Handlungsphase festgelegten Produktstrukturanpassungen sowie die davon betroffenen Produktkomponenten in einer Matrix miteinander verknüpft. Anschließend werden für jede Verknüpfung innerhalb der Matrix, die notwendigen Prozessschritte mit Hilfe des FORFLOW-Prozessmodells abgeleitet und spezifiziert. Das



Mit Hilfe der DMM<sup>41</sup> des HoP kann der Produktentwickler systematisch dokumentieren, welche Produktkomponenten von welchen Produktstrukturanpassungen betroffen sind. Bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-31 sind die Produktkomponenten K1, K3 und K4 von der ersten Produktstrukturanpassung (Befestigung von K1 und K4) betroffen (vgl. Abschnitt 4.6). Die Methode der relationsorientierten Prozesssynthese basiert auf der Annahme, dass im weiteren Verlauf für jede Relation innerhalb dieser DMM entsprechende Prozessschritte abgeleitet und spezifiziert werden müssen (BAUMBERGER 2007, S, 197).

Für die Spezifikation der Prozessschritte wird dem Produktentwickler empfohlen, auch die Relationen innerhalb des Objektsystems (siehe Abbildung 4-31) zu berücksichtigen. Diese Relationen beschreiben mögliche emergierende Änderungen in Folge der initiierten Änderungen und sollten im Sinne einer möglichen Change Propagation (vgl. Abschnitt 3.3) während des Änderungsprozesses berücksichtigt werden. Bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-31 besteht die Möglichkeit einer emergierenden Änderung von Produktkomponente K5 in Folge einer initiierten Änderung von Produktkomponente K6. Anhand der Relationen innerhalb der DMM lassen sich zudem mögliche Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Produktstrukturanpassungen identifizieren, die ebenfalls bei der Durchführung des Änderungsprozesses berücksichtigt werden sollten. Insbesondere die Reflexion der sachgerechten Umsetzung geplanter Produktstrukturanpassungen ist dabei von Bedeutung. Bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-31 besteht zwischen den ersten beiden Produktstrukturanpassungen eine Abhängigkeit, da die Produktkomponente K3 von beiden Produktstrukturanpassungen betroffen ist.

Die spezifizierten Prozessschritte werden, wie in Abbildung 4-32 ersichtlich, in Form von Prozessbausteinen dokumentiert. Die Verwendung von Prozessbausteinen ist ein etablierter Ansatz bei der Planung und Modellierung von Entwicklungsprozessen (vgl. Abschnitt 3.4.1).

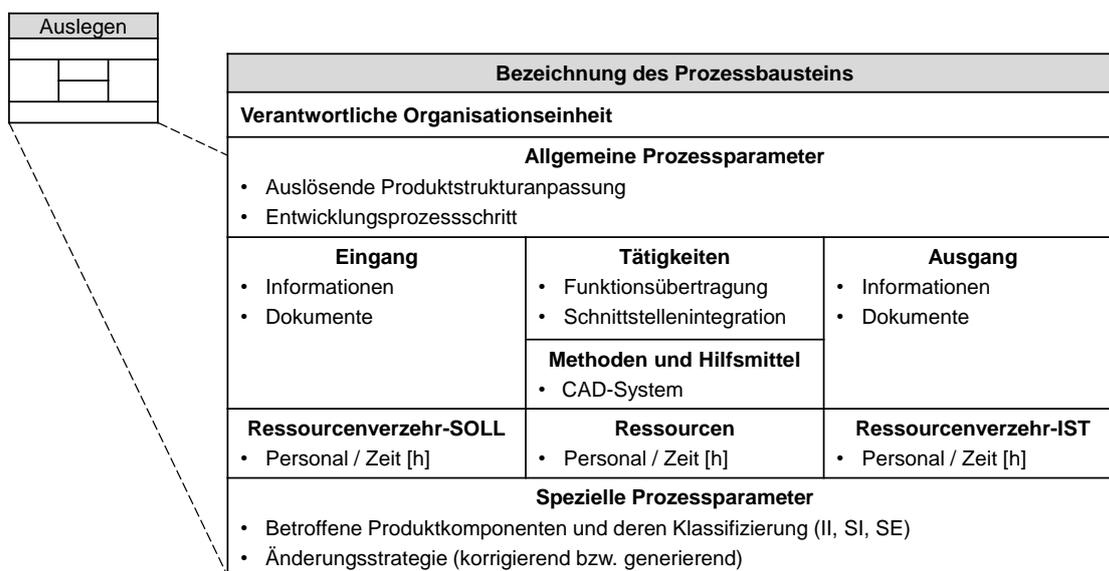


Abbildung 4-32: Prozessbaustein für die Modellierung des Änderungsprozesses zur Umsetzung festgelegter Produktstrukturanpassungen (in Anlehnung an BAUMBERGER 2007, S. 189) am Beispiel des Prozessschrittes „Auslegen“

<sup>41</sup> Domain Mapping Matrix – vgl. Abschnitt 3.5.2.

Die erforderlichen Prozessschritte zur Änderung der II- und SI-Komponenten werden vom Produktentwickler mit Hilfe des nachfolgend beschriebenen FORFLOW-Prozessmodells spezifiziert. Die Prozessschritte der SE-Komponenten können dagegen nicht spezifiziert werden, da sich diese emergierenden Änderungen erst während der Durchführung des Änderungsprozesses ergeben.

Jeder Prozessbaustein ist gemäß Abbildung 4-32 aufgebaut und beinhaltet die folgenden Informationen.

- **Bezeichnung des Prozessbausteins** – Die Bezeichnung des Prozessbausteins sollte den Inhalt schlagkräftig und kompakt widerspiegeln. Denkbar wäre beispielsweise eine Kombination aus betroffener Produktkomponente und Tätigkeit.
- **Verantwortliche Organisationseinheit** – Die für den Prozessschritt verantwortliche Organisationseinheit kann von einer Einzelperson bis hin zum interdisziplinären Team unterschiedlichste Formen annehmen.
- **Allgemeine Prozessparameter** – In diesem Feld werden allgemeine Angaben, wie beispielsweise die Art oder auch der Auslöser des Prozessschrittes dokumentiert. Im Falle initiiertter Änderungen kann hier beispielsweise die zugrundeliegende Produktstrukturanpassung angegeben werden. Im Falle emergierender Änderungen ist ebenso denkbar, die zugrundeliegenden initiierten Produktkomponentenänderungen zu vermerken. Zudem wird hier der betreffende Entwicklungsprozessschritt angegeben und in ein geeignetes Prozessmodell eingeordnet.
- **Tätigkeiten mit entsprechenden Eingangs- und Ausgangsgrößen** – In diesem Feld werden die durchzuführenden Änderungstätigkeiten beschrieben und zu einem „Arbeitspaket“ zusammengefasst. Darüber hinaus werden die dafür notwendigen Eingangs- und Ausgangsgrößen beschrieben. Im Konstruktions- und Änderungsprozess sind damit vorwiegend Informationen oder Dokumente (z. B. Fertigungszeichnungen, CAD-Modelle usw.) gemeint. Diese Informationen und Dokumente repräsentieren die Grundlage für die Definition notwendiger Input-Output-Beziehungen zwischen den einzelnen Prozessbausteinen. Darauf aufbauend müssen die verantwortlichen Organisationseinheiten abhängiger Prozessbausteine die Art, den Umfang und die Qualität zu übermittelnder Informationen und Dokumente abstimmen (BROWNING 2001).
- **Methoden und Hilfsmittel** – In diesem Feld werden die Methoden und Hilfsmittel (z. B. spezielle Software) aufgelistet, die zur erfolgreichen Durchführung des jeweiligen Prozessschrittes notwendigerweise anzuwenden sind.
- **Ressourcen mit entsprechenden Soll- und Ist-Größen** – Die Ressourcen, die dem Prozessbaustein zugeordnet sind, werden in diesem Feld angegeben. Dabei relevant sind insbesondere deren Art (z. B. Personal, Räume, Arbeitsplätze usw.) und die quantitativen Soll-Ausprägungen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit können hier die prognostizierten Änderungsaufwände als „Zielvorgabe des Ressourcenverzehr“ eingetragen werden. Nach Durchführung des Prozessbausteins können zudem die tatsächlich benötigten Ressourcen zur besseren Kontrolle oder auch einfach nur aus dokumentarischen Gründen vermerkt werden.
- **Spezielle Prozessparameter** – Dieses Feld dient dazu, spezielle Parameter, wie beispielsweise die von dem Prozessbaustein betroffenen Produktkomponenten oder auch die festgelegte Änderungsstrategie zu dokumentieren.

Die prozessuale Reihenfolge bei der Durchführung der spezifizierten Prozessbausteine ergibt sich aus dem nachfolgend beschriebenen FORFLOW-Prozessmodell. Als Beispiel sei hier die im Modell festgelegte, konsekutive Abfolge der Prozessschritte Konstruieren, Auslegen, Integrieren und Absichern genannt (vgl. ROELOFSEN 2011, S. 92 ff.). Diese Prozessschritte sind im Modell dem übergeordneten Schritt der Systemgestaltung zugeordnet.

Bezogen auf das fiktive Beispiel aus Handlungsphase 4, ergibt sich das in Abbildung 4-33 exemplarisch dargestellte Ergebnis. Für die konstruktive Änderung der Produktkomponente K7 müssen demzufolge die Prozessschritte Konstruieren, Auslegen, Integrieren und Absichern, in der genannten Reihenfolge durchgeführt werden. Damit wird ein Teilprozess zur konstruktiven Umsetzung der zu Grunde liegenden Produktstrukturanpassung definiert.

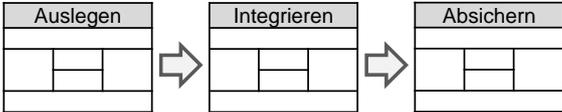
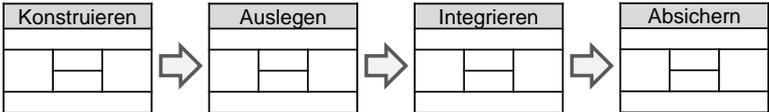
Produktkomponente	Erforderliche Teilprozesse zur Umsetzung der Produktstrukturanpassung
K1 (SI)	
...	
K7 (II)	

Abbildung 4-33: Ergebnis der Ableitung und Spezifikation erforderlicher Prozessschritte (basierend auf dem fiktiven Beispiel aus Handlungsphase 4)

### FORFLOW-Prozessmodell zur Spezifikation erforderlicher Prozessschritte

Mit Berücksichtigung der Zielsetzung dieser Arbeit, lassen sich die Prozessschritte des FORFLOW-Modells bereits im Vorfeld einschränken (siehe Tabelle 4-5). So sind für eine generierende Änderung einer Produktkomponente auf der ersten Modellebene folgende Prozessschritte relevant (ROELOFSEN 2011, S. 197):

- Schritt „S3“ – Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen,
- Schritt „S4“ – Gesamtkonzept entwickeln,
- Schritt „S5“ – Systemgestaltung.

Für eine korrigierende Änderung einer Produktkomponente ist hingegen lediglich der Prozessschritt der Systemgestaltung (Schritt „S5“) relevant, da im Zuge dieses Schrittes die Konstruktion, Auslegung, Integration und Absicherung der entsprechenden Produktkomponente stattfindet. Die Prozessschritte „S1 (Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung)“ sowie „S2 (Ermitteln von Funktionen und deren Struktur)“ sind generell für die Umsetzung festgelegter Produktstrukturanpassungen (unabhängig von der verfolgten Änderungsstrategie) nicht relevant, da diese Informationen bereits vorliegen und sich aufgrund der Produktstrukturanpassungen nicht ändern. Der Prozessschritt „S6 (Produktionsanlauf und -betreuung)“ ist zwar für die

abschließende Fertigung geänderter Produktkomponenten von Bedeutung, wird jedoch aufgrund des Produktentwicklungsfokus nicht näher betrachtet.

Tabelle 4-5: Eingrenzung relevanter Prozessschritte des FORFLOW-Prozessmodells in Abhängigkeit der Änderungsstrategie (in Anlehnung an ROELOFSEN 2011, S. 197 ff.)

Schritt	Prozessschritt (Ebene 1)	Inhalt	Relevanz
S1	Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung	Ableiten von Zielen und Anforderungen für das Produkt aus dem Entwicklungsauftrag, Sammlung relevanter Informationen.	
S2	Ermitteln von Funktionen und deren Struktur	Vertiefen des Systemverständnisses mittels Funktionsmodellierung, Ermittlung einer Funktionsstruktur.	
S3	Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen	<b>Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Erfüllung der Anforderungen an das Produkt, sowie Ableiten von Konzeptalternativen.</b>	■
S4	Gesamtkonzept entwickeln	<b>Ausarbeitung der Konzepte und Auswahl eines Gesamtkonzeptes zur Umsetzung im Produkt.</b>	■
S5	Systemgestaltung	<b>Konstruktion, Auslegung, (Programmierung), Integration und Absicherung des Produktes.</b>	■ ■
S6	Produktionsanlauf und -betreuung	Betreuung der Fertigung durch die Entwicklung bei der finalen Fertigungsvorbereitung und nach Produktionsstart	

■ Relevant bei generierendem Ändern

■ Relevant bei korrigierendem Ändern

Die Checkliste hält, neben den auf der ersten Hierarchieebene aufgezeigten Prozessschritten (S3 bis S5), weiterführende Prozessschritte auf der zweiten und dritten Hierarchieebene bereit (siehe Abschnitt 8.1.3). Diese können je nach Bedarf vom Produktentwickler abgerufen werden.

#### 4.7.2 Planung des konstruktiven Änderungsprozesses

Für die Planung des konstruktiven Änderungsprozesses ist durch den Produktentwickler im Rahmen dieses Handlungsschrittes die Frage zu klären, in welcher Reihenfolge die, im vorangegangenen Handlungsschritt definierten, Teilprozesse durchzuführen sind. Im Vordergrund steht dabei die Vermeidung zeit- und kostenaufwendiger Iterationen.

Bei der konstruktiven Umsetzung festgelegter Produktstrukturanpassungen handelt es sich um einen stark iterativ geprägten Prozess, da die an den Schnittstellen beteiligten Produktkomponenten schrittweise aufeinander abgestimmt werden müssen. Vor diesem Hintergrund, werden vom Produktentwickler Teilprozesse mit Hilfe des Stage-Gate®-Ansatzes (COOPER 1990, S. 51) strukturiert. Die Teilprozesse werden dabei in Stages unterteilt, die durch Gates voneinander getrennt sind. Jedes dieser Gates repräsentiert einen Entscheidungspunkt, an dem der Produktentwickler auf Basis eines Soll-Ist-Abgleichs entscheidet, ob die nächste Stage durchgeführt

wird oder das gesamte Projekt aufgrund eines zu hohen Ressourcenverbrauchs bzw. mangelnder Zielerreichung abgebrochen werden muss.

Die Unterteilung der Prozessschritte in geeignete Stages markiert den Endpunkt der fünften Handlungsphase und damit auch den Endpunkt des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung.

### Stage-Gate®-Ansatz zur Strukturierung erforderlicher Teilprozesse

Das erklärte Ziel bei der Definition geeigneter Stages ist die Vermeidung von Stage-übergreifenden Iterationen, die in der Regel sehr zeit- und kostenintensiv sind. In Abbildung 4-34 sind diese Stage-übergreifenden Iterationen durch dunkelgraue, rückwärtsgerichtet Pfeile dargestellt. Innerhalb der Stages erscheint die Definition einer geeigneten Bearbeitungsreihenfolge der Prozessschritte, aufgrund des eingangs beschriebenen iterativen Charakters der konstruktiven Schnittstellenanpassungen, wiederum nicht zielführend und wird daher nicht weiter betrachtet.

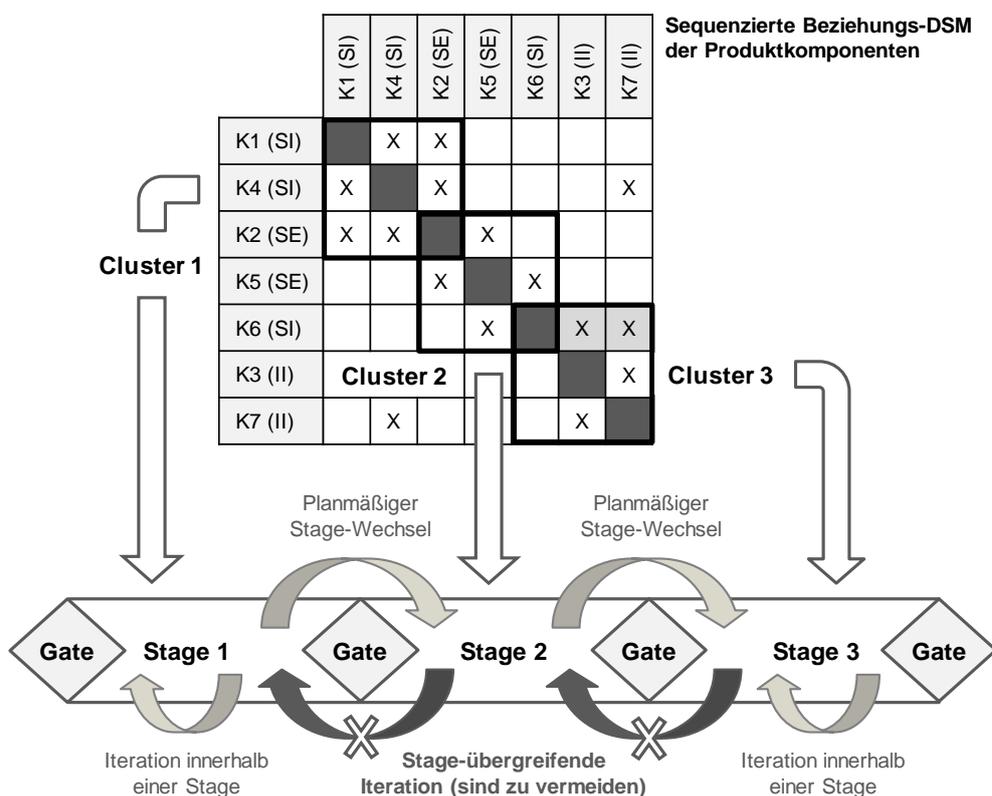


Abbildung 4-34: Stage-Gate®-basierte Aufteilung der Produktkomponentenänderungen gemäß der Cluster innerhalb der sequenzierten Beziehungs-DSM (basierend auf dem fiktiven Beispiel aus Handlungsphase 4)

Die Bestimmung geeigneter Stages erfolgt anhand einer DSM, die alle relevanten horizontalen Beziehungen zwischen den betreffenden Produktkomponenten enthält. Diese Beziehungen wurden bereits im Rahmen der Spannungsfeldanalyse (Handlungsphase 3) erhoben und in separaten DSMs (eine für jeden Beziehungstyp) dokumentiert (vgl. Abschnitt 4.5.1). Aus diesem Grund werden zunächst die, für die Bestimmung der Stages, relevanten Beziehungen (auch

unterschiedlicher Beziehungs-Typen) in einer Beziehungs-DSM zusammengeführt. In Abbildung 4-34 ist die Beziehungs-DSM bezogen auf das fiktive Beispiel aus Handlungsphase 4 dargestellt. Aufgrund unterschiedlicher Beziehungs-Typen kann die Beziehungs-DSM sowohl bidirektionale als auch unidirektionale Beziehungen (vgl. Abschnitt 3.5.2), wie beispielsweise bei Stoff- oder Informationsflüssen typisch, beinhalten. Das Beispiel in Abbildung 4-34 enthält dreizehn bidirektionale Beziehungen und zwei unidirektionalen Beziehungen zwischen Produktkomponente K6 und K3 sowie zwischen K6 und K7.

Auf Basis einer Analyse der Beziehungs-DSM wird im nächsten Schritt vom Produktentwickler ermittelt, welche Produktkomponenten untereinander stark vernetzt sind. Eine solche Analyse ist für die Bestimmung geeigneter Stages unerlässlich, da Änderungen stark vernetzter Produktkomponenten aufgrund nicht zu vermeidender Iterationen, stets innerhalb einer Stage durchzuführen sind. Stark vernetzte Produktkomponenten lassen sich in der Beziehungs-DSM mit Hilfe der Analysemethoden „Clustering“ und „Sequencing“ systematisch identifizieren (vgl. Abschnitt 3.5.2). Die Beziehungs-DSM in Abbildung 4-34 weist drei Cluster eng vernetzter Produktkomponenten auf.

Die Wahl der für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Analysemethode muss der Produktentwickler auf Basis der vorliegenden Beziehungs-Art (bi- oder unidirektional) eigenständig treffen. Zur Unterstützung der Matrixanalyse kann u. a. die Software LOOME0 der REDPOINT.TESEON AG<sup>42</sup> verwendet werden. Die Software ermöglicht dem Anwender, über entsprechende Algorithmen, die automatisierte Durchführung einer Matrixanalyse.

Jedes Cluster, das mit Hilfe der oben beschriebenen Analysemethoden identifiziert wird, repräsentiert eine Stage und beinhaltet demzufolge die Produktkomponenten, die innerhalb einer Stage geändert werden sollen (initiierte Änderung), um Stage-übergreifende Iterationen zu vermeiden. In Abbildung 4-34 ergeben sich damit drei Stages.

Produktkomponenten, an denen sich zwei Cluster überlappen, können zu Stage-übergreifenden Iterationen führen. Bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-34, ist das bei Produktkomponente K2 und K6 der Fall. In einer solchen Situation empfiehlt es sich, die betreffenden Produktkomponenten im Zweifelsfall zwei Stages zuzuordnen und damit mögliche Iterationen frühzeitig berücksichtigen zu können.

Produktkomponenten mit eventuell auftretenden emergierenden Änderungen werden als passives Element in den Stages vorgesehen, da diese Produktkomponenten zwar emergierende Änderungen innerhalb der Stage hervorrufen können, jedoch dafür vom Produktentwickler noch keine Prozessbausteine definiert werden können. In Abbildung 4-34 sind die Produktkomponenten K2 und K5 von emergierenden Änderungen betroffen, was durch den Hinweis SE (standardisierte Produktkomponente mit emergierender Änderung) repräsentiert wird.

Über die Bestimmung geeigneter Stages hinaus, können anhand der Beziehungs-DSM bereits Produktkomponenten identifiziert werden, die einen besonderen Abstimmungsbedarf in Folge des Änderungsprozesses erfordern. Dazu zählen Produktkomponenten, die nach erfolgtem Clustering über Beziehungen mit anderen Produktkomponenten verbunden sind, die weit

---

<sup>42</sup> Die REDPOINT.TESEON AG (ursprünglich 2006 als TESEON GmbH in München gegründet) bietet Beratungsleistungen und Softwareprodukte für die erfolgreiche Bewältigung komplexer Entwicklungsprojekte.

entfernt von der Matrix-Diagonale liegen. Bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-34 ist das für die Produktkomponenten K4 und K7 der Fall. Weiter zählen Produktkomponenten dazu, die nach erfolgtem Sequencing mit Produktkomponenten verbunden sind, die sich unterhalb der Matrixdiagonalen befinden. Bezogen auf das Beispiel in Abbildung 4-34 ist das für die Produktkomponenten K1 und K2 der Fall.

Auf die möglichen Kriterien zur Durchführung des Soll-Ist-Abgleichs an den Gates soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da diese vom Produktentwickler individuell festgelegt werden müssen. Für weiterführende Informationen zu diesem Thema sei auf Abschnitt 3.4.2 verwiesen.

Abbildung 4-35 zeigt die Definition der Stages für das fiktive Beispiel aus der vierten Handlungsphase. Die Produktkomponente K2 wird dabei aufgrund möglicher emergierender Änderungen sowohl der ersten als auch der zweiten Stage zugeordnet. Das bedeutet, dass in beiden Stages mit emergierenden Änderungen an dieser Produktkomponente gerechnet werden muss. Die Produktkomponente K6 wird aufgrund ihrer Beziehungen zu K3 und K7 der dritten Stage zugeordnet, wobei ebenso eine Zuordnung zur zweiten Stage möglich ist. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass der Produktentwickler solche Entscheidungen immer auf Basis des vorliegenden Anwendungsfalls treffen muss.

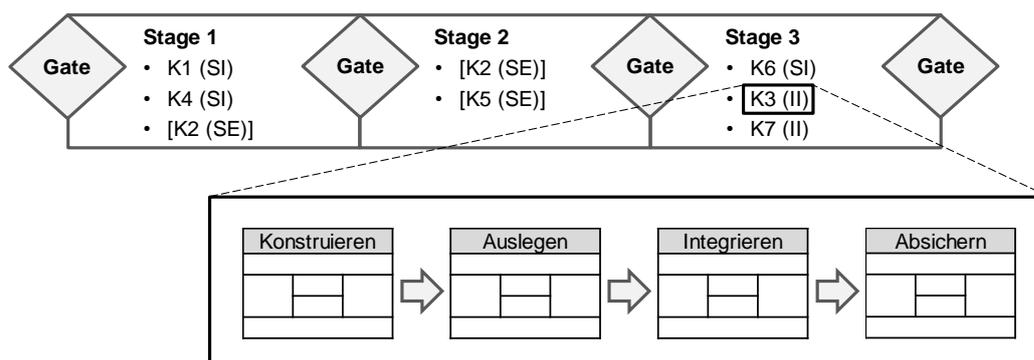


Abbildung 4-35: Stage-Gate<sup>®</sup>-basierte Aufteilung der Prozessbausteine entsprechend der sequenzierten Beziehungs-DSM aus Abbildung 4-34

Für die Durchführung der einzelnen Prozessschritte zur Realisierung erforderlicher Produktkomponentenänderungen, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit keine Unterstützung angeboten. Vielmehr soll an dieser Stelle auf weiterführende Literatur zu diesem Thema verwiesen werden – vgl. z. B. LANGER (2016), EHRENSPIEL & MEERKAMM (2013, S. 277), FELDHUSEN ET AL. (2013a, S. 110 ff.), LINDEMANN (2009, S. 33 ff.) oder auch HUANG (1996, S. 1).

## 5. Anwendung des Lösungsansatzes

*In diesem Kapitel wird die Anwendung des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung anhand von zwei Fallbeispielen beschrieben. Gegenstand des ersten Fallbeispiels ist ein bereits kommerzialisierter Kaffeevollautomat der BSH Hausgeräte GmbH. Der Anwendungsschwerpunkt liegt auf der Analyse der existierenden Produktstruktur (Handlungsphase 1), Erhebung kundenseitiger Individualisierungsbedarfe (Handlungsphase 2) sowie der anschließenden Planung einer darauf ausgerichteten Produktstrukturanpassung (Handlungsphase 3 und 4). Bei dem zweiten Fallbeispiel handelt es sich um einen theoretischen Anwendungsfall in Form eines Wasserspenders. Der Schwerpunkt liegt in diesem Fall auf der selbstindividualisierungsgerechten Anpassung der bereits existierenden Produktstruktur (Handlungsphase 4) sowie der Ableitung erforderlicher Prozessschritte für deren konstruktive Umsetzung (Handlungsphase 5). Abschließend werden die Ergebnisse beider Fallbeispiele diskutiert und darauf aufbauend entsprechende Schlussfolgerungen hinsichtlich der Anwendbarkeit des Integrierten Vorgehens abgeleitet.*

### 5.1 Rahmenbedingungen und Ziele der Anwendung

Gemäß BLESSING & CHAKRABARTI (2009, S. 37) kann prinzipiell zwischen einer Anwendungs- und einer Erfolgsevaluation unterschieden werden. Die Anwendungsevaluation untersucht die Anwendbarkeit des Lösungsansatzes. Das Ziel ist die Klärung der Frage, ob der Anwender den Lösungsansatz versteht und ob er ihn anwenden kann. Die Erfolgsevaluation untersucht die Nützlichkeit des Lösungsansatzes. Das Ziel ist in diesem Fall die Klärung der Frage, ob der Anwender mit Hilfe des Lösungsansatzes einen Mehrwert generieren kann.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ausschließlich eine **Anwendungsevaluation** anhand von zwei Fallbeispielen (Kaffeevollautomat und Wasserspender) durchgeführt. Das Ziel ist dabei die Bewertung der Anwendbarkeit des entwickelten Lösungsansatzes. Eine Erfolgsevaluation ist nicht möglich, da weitere, über diese Arbeit hinausgehende Entwicklungsschritte der Selbstindividualisierung notwendig sind, um den Erfolg des Lösungsansatzes bewerten zu können (vgl. Abschnitt 1.2).

#### Fallbeispiel „Kaffeevollautomat“

Für die Durchführung der Anwendungsevaluation wurde im Rahmen des Forschungsprojektes InnoCyFer (vgl. Abschnitt 1.5), gemeinsam mit den Mitarbeitern<sup>43</sup> der Entwicklungsabteilung der BSH Hausgeräte GmbH, ein bereits kommerzialisierter Kaffeevollautomat als Fallbeispiel ausgewählt. Bei diesem Massenprodukt handelt es sich um ein Haushaltsgerät, das auf Knopfdruck automatisch unterschiedlichste Kaffeegetränke (z. B. Espresso, Milchkaffee usw.) herstellt.

---

<sup>43</sup> Sebastian Siebert (PCP-TDB 12M), Therese Brantsved (PCP-TDB 12M), Nicole Crump (PCP-TDBM) und Andreas Hauser (PCP-TDB 14A)

Die Anwendung des Lösungsansatzes erfolgte unter Leitung des Autors, gemeinsam mit den Mitarbeitern der Entwicklungsabteilung im Rahmen von acht mehrstündigen Workshops<sup>44</sup> bei der BSH Hausgeräte GmbH in Traunreut. Sämtliche Vor- und Nachbereitungen (z. B. Aufbereitung von Produktdaten und Dokumentation von Ergebnissen) wurden vom Autor übernommen. Die Bereitstellung der erforderlichen Produktdaten sowie die Rolle des Entscheidungsträgers während der Anwendung wurde von den Mitarbeitern der Entwicklungsabteilung übernommen.

Für das Fallbeispiel des Kaffeevollautomaten beschränkt sich die Anwendung des Integrierten Vorgehens auf die ersten vier Handlungsphasen (siehe Abbildung 5-1).



Abbildung 5-1: Übersicht zu den Handlungsphasen des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsge-rechten Produktstrukturplanung, die im Rahmen des Fallbeispiels „Kaffeevollautomat“ angewendet wurden

Aufgrund der Charakteristik des Kaffeevollautomaten konnte im Rahmen der vierten Handlungsphase nur eine der insgesamt vier Prinzipien zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten (vgl. Abschnitt 4.6.1) angewendet werden. Darüber hinaus wurde die fünfte Handlungsphase (Umsetzungsplanung) für die Anwendung nicht berücksichtigt, da die notwendigen Abstimmungen mit den entsprechenden Fachabteilungen der BSH Hausgeräte GmbH, aufgrund eingeschränkter Ressourcen, im Rahmen des Forschungsprojektes nicht geleistet werden konnten.

Aus diesem Grund wurde die vierte und fünfte Handlungsphase des Integrierten Vorgehens anhand eines zweiten Fallbeispiels durchgeführt. Dafür hat der Autor einen fiktiven Wasserspender ausgewählt, der verglichen mit dem Kaffeevollautomaten einen weniger komplexen und weniger komponentenreichen Aufbau besitzt. Fiktiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Ergebnisse der Anwendung, im Gegensatz zum Fallbeispiel des Kaffeevollautomaten, nicht auf eine Forschungs Kooperation mit einem Unternehmen zurückzuführen sind.

<sup>44</sup> 25.03.2015 (Dauer: 2 Stunden), 24.06.2015 (Dauer: 3 Stunden), 09.09.2015 (Dauer: 2 Stunden), 03.02.2016 (Dauer: 3 Stunden), 10.05.2016 (Dauer: 3 Stunden), 06.06.2016 (Dauer: 2 Stunden), 13.06.2016 (Dauer: 2 Stunden), 03.08.2016 (Dauer: 2 Stunden).

## Fallbeispiel „Wasserspender“

Die Hauptfunktionen des Wasserspenders bestehen darin, Wasser aus einem auswechselbaren Tank zu kühlen und über einen manuell bedienbaren Zapfhahn dosierbar auszugeben. Die Kühlung erfolgt über einen passiven Kühlkörper, der an den Kühlbehälter montiert ist und mittels elektrisch erzeugten Luftstroms gekühlt wird.

Die Anwendung der vierten (Produktstrukturanpassung) und fünften Handlungsphase (Umsetzungsplanung) des Integrierten Vorgehens erfolgte unter Leitung des Autors im Rahmen von drei Studienarbeiten<sup>45</sup>. Die Durchführung der beiden Handlungsphasen wurde von den drei Studienarbeitern übernommen. Die Rolle des Entscheidungsträgers während der Durchführung wurde vom Autor übernommen.

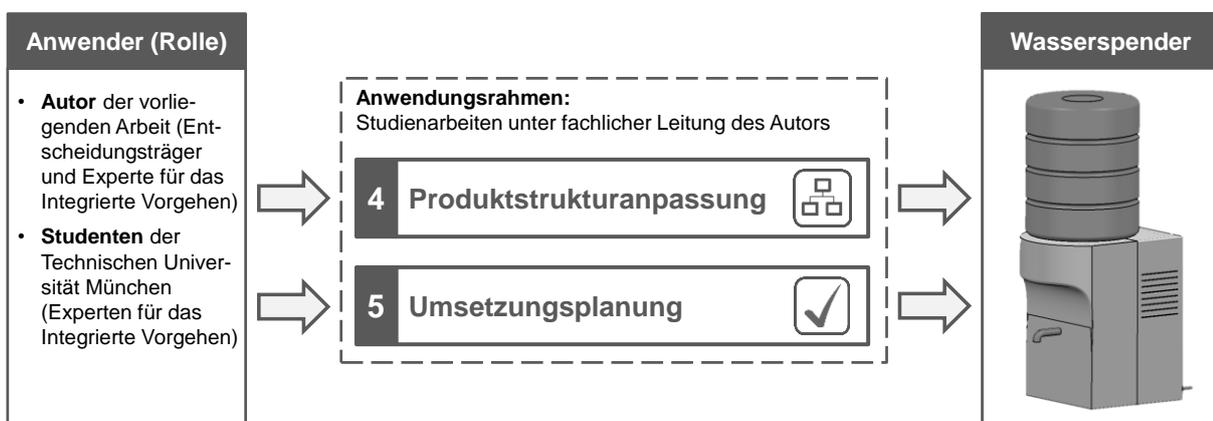


Abbildung 5-2: Übersicht zu den Handlungsphasen des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung, die im Rahmen des Fallbeispiels „Wasserspender“ angewendet wurden

Der Fokus bestand darin, die vier Prinzipien zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten in Gänze anzuwenden sowie darauf aufbauend die erforderlichen, konstruktiven Prozessschritte abzuleiten und in einen strukturierten Änderungsprozess zu überführen.

Im Folgenden werden sowohl die Ergebnisse der Anwendung als auch die der Evaluation für die beiden Fallbeispiele separat beschrieben.

## 5.2 Ergebnisse des Fallbeispiels „Kaffeevollautomat“

Die für das Fallbeispiel des Kaffeevollautomaten betrachtete Anwendung des Integrierten Vorgehens zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung beginnt beim zweiten Handlungsschritt der ersten Handlungsphase („Analyse der Produktstruktur des vorausgewählten Produktes“, vgl. Abschnitt 4.3.2). Der erste Handlungsschritt wurde bei der Anwendung nicht berücksichtigt, da die Reflexion der unternehmensspezifischen Individualisierungsziele bereits während der Anbahnungsphase des Forschungsprojektes InnoCyFer mit der verantwortlichen Fachabteilung der BSH Hausgeräte GmbH diskutiert wurden.

<sup>45</sup> Studenten: Immanuel Straub (Master), Christopher Lang (Master), Benedikt Gehring (Bachelor)

### 5.2.1 Handlungsphase 1 – Situationsanalyse

Als Datengrundlage für die Analyse und anschließende Erstellung der Produktstruktur des Kaffeevollautomaten dienten eine Stückliste sowie ein vollständiges CAD-Modell. Darauf aufbauend konnte die entsprechende Funktions- und Produktstruktur erstellt werden. Die Produktstruktur untergliedert die etwas mehr als 200 Produktkomponenten des Kaffeevollautomaten in insgesamt sieben Module sowie entsprechend zugeordnete Baugruppen. In Abbildung 5-3 ist ein Auszug der dreistufigen Produktstruktur (Modul – Baugruppe – Produktkomponente) dargestellt. Innerhalb dieser Produktstruktur wurden, entsprechend des Integrierten Vorgehens, die Produktkomponenten grau markiert, die aufgrund von Standardisierungsstrategien weder geändert noch den Kunden zur Selbstindividualisierung angeboten werden dürfen. Davon waren insgesamt zwölf Baugruppen mit entsprechend zugehörigen Produktkomponenten betroffen.

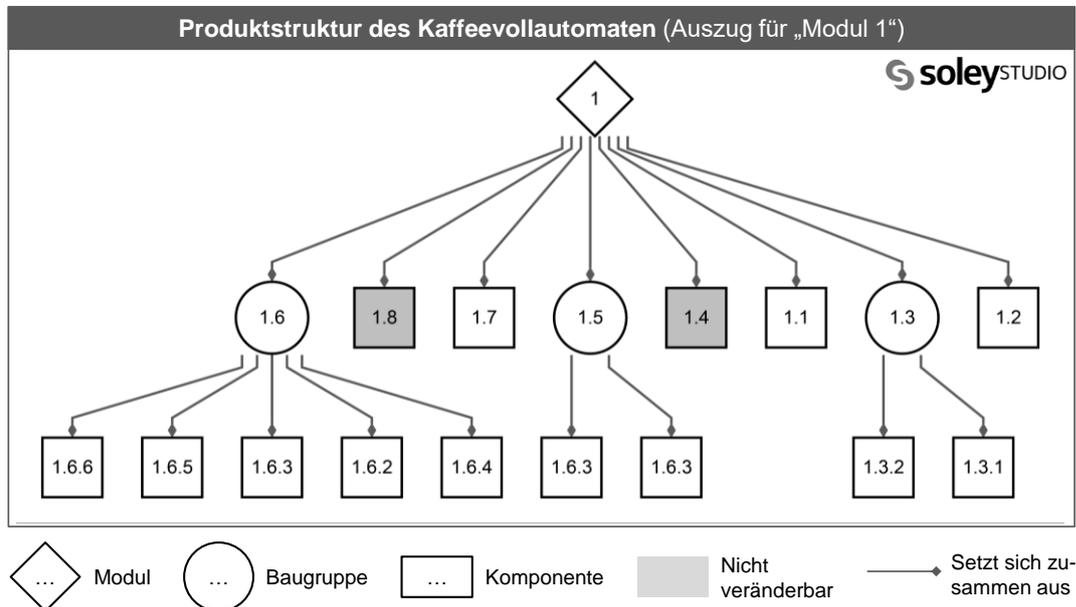


Abbildung 5-3: Produktstruktur des Kaffeevollautomaten beschränkt auf das „Modul 1“

### Unterstützung der Modellierungsaktivitäten

Die in Abbildung 5-3 dargestellte Produktstruktur wurde mit Hilfe der Modellierungssoftware „Soley-Studio“ der Soley GmbH<sup>46</sup> erstellt. Zur Reduzierung manueller Aufwände wurde in Soley-Studio eine Software-Lösung speziell für den Handlungsschritt der Produktstrukturanalyse entwickelt. Diese sieht vor, dass das Strukturmodell, ausgehend von den Eingangsdaten, automatisch generiert wird. Dazu müssen die Eingangsdaten jedoch in einem bestimmten Format vorliegen.

<sup>46</sup> Die Soley GmbH wurde 2013 aus dem Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München ausgegründet und bietet Software-Lösungen für die Modellierung und Analyse komplexer technologischer Systeme an.

In Abbildung 5-4 ist das Eingangsdatenformat für die automatische Generierung des Produktstrukturmodells abgebildet. Darin ist für jedes Element die „ID“, „Bezeichnung“ und das entsprechende „Attribut“ festgelegt. Über die ID erfolgt die hierarchische Vernetzung der Elemente wohingegen die Bezeichnung und das Attribut kennzeichnenden Charakter haben. Durch das Letztgenannte wird definiert, ob das betreffende Element bereits im Vorfeld von der Selbstindividualisierung ausgeschlossen werden kann.

#### Eingangsdatenformat

Element	ID	Bezeichnung	Attribut
Modul	1	1	Veränderbar
Baugruppe	1.1	1.6	Veränderbar
Komponente	1.1.1	1.6.6	Veränderbar
...	...	...	...
Komponente	1.2	1.8	Nicht veränderbar

#### Automatische Modellierung durch Soley-Studio-Workflows

- Datenimport\_Gesamt
- Bilde\_Hierarchie

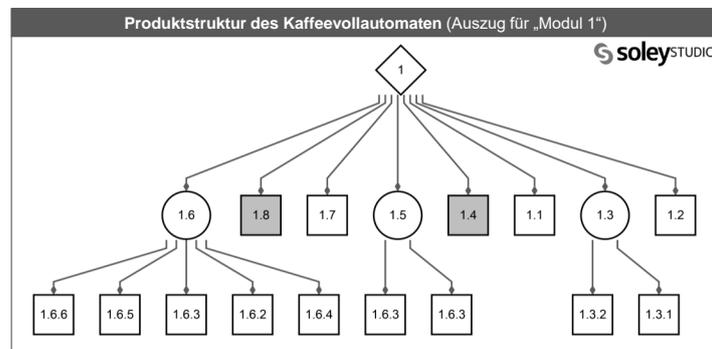


Abbildung 5-4: Format der Eingangsdaten für die automatische Generierung des Produktstrukturmodells mittels der in Soley-Studio entwickelten Workflows

Die Workflows für die automatische Erstellung des Produktstrukturmodells sind in Abschnitt 8.1.1 (vgl. Workflow „Datenimport\_Gesamt“ und „Bilde\_Hierarchie“) dargestellt.

## 5.2.2 Handlungsphase 2 – Kundenanalyse

Die Erhebung und Auswertung der kundenseitigen Individualisierungsbedarfe erfolgte mit Hilfe eines Ideenwettbewerbs. Ein Ideenwettbewerb basiert generell immer auf einem zeitlich begrenzten Aufruf zur Einsendung von Beiträgen, die abhängig von der Qualität mit Gewinnen belohnt werden – weiterführende Literatur zu diesem Thema findet sich u. a. in WENGER (2013), WALCHER (2009, S. 19 ff.) und WALCHER (2007).

Dafür wurde im Rahmen des Forschungsprojektes InnoCyFer in enger Zusammenarbeit mit der Hyve Innovation Community GmbH<sup>47</sup> eine internetbasierte Interaktionsplattform (die Plattform ist erreichbar unter: [www.innocyfer.de](http://www.innocyfer.de)) entwickelt. Diese Plattform ist speziell auf Kunden ausgerichtet, die sich für die Selbstindividualisierung von Kaffeevollautomaten

<sup>47</sup> Die Hyve Innovation Community GmbH war als Konsortialpartner in das Forschungsprojekt „InnoCyFer“ involviert (vgl. Abschnitt 1.5).

interessieren. Neben aktuellen Ergebnissen des Forschungsprojektes, haben Kunden die Möglichkeit sich auf der Interaktionsplattform zu registrieren und an Ideenwettbewerben teilzunehmen.

Durch das Medium eines Ideenwettbewerbs wurden zwei wesentliche Aspekte für die erfolgreiche Durchführung der Kundenanalyse adressiert. Die Teilnehmer wurden mit Hilfe der künstlich erzeugten Wettbewerbssituation dazu animiert, ihre Individualisierungswünsche eigenständig und in Form von qualitativ hochwertigen Beiträgen auf der Interaktionsplattform einzureichen. Darüber hinaus sollten sich die Teilnehmer während der Beitragserstellung durch gezielte Kommentare gegenseitig unterstützen und schlussendlich die Beiträge anderer Teilnehmer bewerten.

Die Bewertung erfolgte über eine sogenannte „Like“-Schaltfläche, über die Teilnehmer zum Ausdruck bringen konnten, dass ihnen der Beitrag eines anderen Teilnehmers gefällt. Die Gestaltung und Durchführung des auf sechs Wochen begrenzten Ideenwettbewerbs, wurde von der Hyve Innovation Community GmbH übernommen und soll an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden. Weiterführende Informationen zu diesem Thema finden sich im Abschlussbericht des Forschungsprojektes InnoCyFer (siehe INNOCYFER 2016).

Ein Screenshot der Interaktionsplattform zur Erstellung eines Beitrags ist in Abbildung 5-5 dargestellt. Dort waren Teilnehmer des Ideenwettbewerbs aufgefordert, zunächst den Produktbereich auszuwählen, der von ihren Individualisierungsbedarfen betroffen ist. Zur Auswahl standen der Bohnenbehälter, das Tropfblech, der Auslauf, der Bedienschalter, das Pulverfach, der Wassertank und der Ein-Aus-Schalter.



Abbildung 5-5: Screenshot der Interaktionsplattform für die Erstellung eines Beitrags zur Darstellung kundenspezifischer Individualisierungsbedarfe (Quelle: www.innocyfer.de – abgerufen am 10.02.2015)

Im weiteren Verlauf der Beitragserstellung sollten die Teilnehmer ihre Bedarfe mit Hilfe eines Skizzierers und einer textuellen Beschreibung ausdrücken. Über eine Schaltfläche konnten die Teilnehmer ihre Beiträge schlussendlich speichern und damit automatisch innerhalb der Community veröffentlichen. Nach der Veröffentlichung eines Beitrags, konnte dieser von allen übrigen Teilnehmern des Ideenwettbewerbs eingesehen, kommentiert und bewertet werden. Nach Abschluss des Ideenwettbewerbs am 16.03.2015, konnten insgesamt 144 Registrierungen, 42 eingereichte (verwertbare) Beiträge, 164 Kommentare und 99 Bewertungen verbucht werden (INNOCYFER 2016).

Nach Ablauf der sechswöchigen Laufzeit, wurden die Ergebnisse des Ideenwettbewerbs ausgewertet und für die Weiterverarbeitung entsprechend aufbereitet. Tabelle 5-1 zeigt einen Auszug der aufbereiteten Ergebnisse<sup>48</sup>, die neben einer eindeutig zugeordneten ID und einer Kurzbeschreibung, für jeden eingereichten Beitrag eine resultierende Bewertung beinhalten. Die Bewertung setzt sich aus der Anzahl der „Likes“ sowie aus der Einschätzung einer unabhängigen Expertenjury zusammen. Sowohl die Zusammenstellung der Jury als auch die abschließende Berechnung der resultierenden Bewertung wurde von der Hyve Innovation Community GmbH verantwortet (vgl. INNOCYFER 2016) und soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter ausgeführt werden.

*Tabelle 5-1: Auszug der aufbereiteten Ergebnisse des Ideenwettbewerbs inklusive der resultierenden Bewertung auf einer Skala zwischen 0 und 5 (INNOCYFER 2016)*

ID	Kurzbeschreibung	Bewertung (0-5)
6	Aufsatz Stecksystem auf den eigentlichen Bohnentank	3,89
12	Blumenhalter am Automaten	3,42
13	Wassertank Click-Mechanismus/Knopfschaltung für ruckelfreies Einrasten	2,83
15	Individualisierte Variante für Blende Auslauf	3,58
22	Individualisierte Variante für Blende Abtropfschale	4,00
31	Selbstständige Wasserregulierung mit Anschluss an Wasserhahn	3,17
34	Füllstandsanzeige für Milchbehälter	3,33
36	Kreidetafel an Automat zum Nachrichten schreiben	3,33

Die vollständige Übersicht der Ergebnisse des Ideenwettbewerbs befindet sich im Anhang.

Die in Tabelle 5-1 auszugsweise dargestellten Ergebnisse der Kundenanalyse bilden zusammen mit den Ergebnissen der Situationsanalyse den Ausgangspunkt für die folgende Analyse des Spannungsfeldes.

<sup>48</sup> Die vollständige Liste der aufbereiteten Ergebnisse des Ideenwettbewerbs findet sich in Abschnitt 8.2.1.

### 5.2.3 Handlungsphase 3 – Spannungsfeldanalyse

Das Ziel der dritten Handlungsphase ist die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten auf Basis der Auswertung des Spannungsfeldportfolios. Dieses Portfolio stellt die kundenseitigen Individualisierungsbedarfe den unternehmensseitigen Individualisierungsspielräumen gegenüber (vgl. Abschnitt 4.5.2). Um die, von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten in das Spannungsfeldportfolio einordnen zu können, mussten deren Kundenpriorität (Zahlenwert auf der Y-Achse des Portfolios) und Individualisierungspotential (Zahlenwert auf der X-Achse des Portfolios) vorab bestimmt werden.

Die Bestimmung der Kundenpriorität erfolgte auf Basis der in Handlungsphase 2 erhobenen und bereits bewerteten Individualisierungsbedarfe. Dementsprechend wurde für das Fallbeispiel des Kaffeevollautomaten die in Abbildung 5-6 dargestellte DMM abgeleitet. Diese verknüpft die kundenseitigen Individualisierungsbedarfe mit den jeweils davon betroffenen Produktkomponenten (in Abbildung 5-6 mittels Schraffurung markiert) und ermöglicht so die Berechnung der einzelnen Kundenprioritäten. Dabei ist es – wie im Fall des Kaffeevollautomaten – durchaus möglich, dass eine Produktkomponente von mehreren Individualisierungsbedarfen betroffen ist.

Produktkomponenten	Kundenpriorität	Bedarfs-ID	Kundenseitige Individualisierungsbedarfe								
			6	12	41	50	53	53	60	64	...
		<b>Bewertung</b>	3,89	3,42	3,67	4,33	3,50	3,50	3,67	4,33	...
1.1											
1.2	19,06		X		X		X		X	X	
1.3.1	3,89		X								
1.3.2											
1.4											
1.5.1	7,17					X		X			
1.5.2	7,17					X		X			
1.6.1	15,39		X		X		X			X	
1.6.2											
1.6.3	19,06		X		X		X		X	X	
1.6.4	15,39		X		X		X			X	
1.6.5											
1.8											
...											

Abbildung 5-6: Auszug der Domain Mapping Matrix (DMM) zur Darstellung der Beziehungen zwischen den Produktkomponenten des Kaffeevollautomaten und den kundenseitigen Individualisierungsbedarfen

Die Bestimmung der komponentenspezifischen Kundenpriorität erfolgt durch Aufsummierung der einzelnen Bewertungen entsprechender Individualisierungsbedarfe. So wurde beispielsweise die Kundenpriorität für die Produktkomponente 1.5.1 gemäß folgender Formel berechnet:

$$\text{Kundenpriorität}_{1.5.1} = \sum (\text{Bewertung}_{\text{ID } 53}, \text{Bewertung}_{\text{ID } 60}) = 7,17 \quad (5-1)$$

Produktkomponenten, für die keine Kundenpriorität angegeben wurde, waren demzufolge nicht von den kundenseitigen Individualisierungsbedarfen betroffen und mussten für die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten nicht weiter berücksichtigt werden. Das trifft z. B. auf die Produktkomponente 1.3.2 zu (siehe Abbildung 5-6).

Für die anschließende Bestimmung der Individualisierungspotentiale wurden Produktmerkmale aus den Domänen „Strategie“, „Funktion“ und „Komponenten“ analysiert.

In der Domäne „Strategie“ wurden zunächst die für den Kaffeevollautomaten relevanten Modultreiber festgelegt und anschließend hinsichtlich ihrer Bedeutung für die kundenseitigen Selbstindividualisierungen gewichtet. Wie in Abbildung 5-7 dargestellt, hat die Entwicklungsabteilung dabei entschieden, dass die Modultreiber „Standardelement“, „Übertragelement“, „Separates Testen“ und „Wartung/Instandhaltung“ das Individualisierungspotential betreffender Produktkomponenten am weitesten einschränken und daher in diesem Zusammenhang als kritisch (GEW hat den Wert „3“) zu bewerten sind. Die übrigen Modultreiber wurden von der Entwicklungsabteilung als unkritisch (GEW hat den Wert „1“) bewertet. Die Modultreiber „Geplante Designänderung“, „Spezielle Prozesse“, „Konfigurationsflexibilität“ und „Recycling“ haben für den Kaffeevollautomaten keine Relevanz und wurden daher an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

Modultreiber (MD)		GEW <sub>MD j</sub>	TV <sub>K i (Strategie)</sub>	Von Individualisierungsbedarfen betroffene Produktkomponenten							
				1.2	1.3.1	1.5.1	1.5.2	1.6.1	1.6.3	1.6.4	...
				10	7	7	1	4	7	7	...
1	Standardelement	3		X	X	X		X	X	X	
2	Designvarianz	1					X				
3	Technische Varianz	1									
4	Übertragelement	3		X							
5	Technologiewechsel	1									
6	Fremdbezug	1		X	X	X		X	X	X	
7	Separates Testen	3									
8	Wartung / Instandhaltung	3		X	X	X			X	X	

Abbildung 5-7: Auszug der Domain Mapping Matrix (DMM) zur Darstellung der Beziehungen zwischen den Modultreibern und den Produktkomponenten des Kaffeevollautomaten

Im weiteren Verlauf wurden die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten den relevanten Modultreibern zugeordnet. Dabei war ein Großteil der betrachteten Produktkomponenten von mehreren Modultreibern betroffen. Auf Basis der durchgeführten Zuordnung wurde anschließend für jede betrachtete Produktkomponente die sogenannte Modultreiber-Priorität („MT-Priorität“ in Abbildung 5-7) bestimmt. Diese berechnet sich, indem die jeweils zugeordneten Modultreiber, entsprechend ihrer Gewichtung, für jede Produktkomponente einzeln aufsummiert werden. So ergibt sich beispielsweise die Formel zur Berechnung der Modultreiber-Priorität für die Produktkomponente 1.6.1 wie folgt:

$$TV_{1.6.1 (Strategie)} = \sum (GEW_{MD 1}, GEW_{MD 6}) = 4 \quad (5-2)$$

Daraus folgt, je größer die Modultreiber-Priorität einer Produktkomponente, desto geringer ist schlussendlich dessen Individualisierungspotential.

Produktfunktionen (F)		GEW <sub>Fj</sub>	TV <sub>Ki (Funktion)</sub>	Von Individualisierungsbedarfen betroffene Produktkomponenten							
				1.2	1.3.1	1.5.1	1.5.2	1.6.1	1.6.3	1.6.4	...
				3	7	9	8	3	6	14	...
1	Bohnen bereitstellen	3		X		X			X	X	
2	Bohnen fördern	3				X				X	
3	Bohnen mahlen	3									
4	Mahlgrad einstellen	3			X					X	
5	Menge Steuern	3									
6	Pulverkaffee bereitstellen	3					X				
7	Selbsttragend	3									
8	Rahmen	3				X					
9	Integriertes Gehäuse	3									
10	Befestigungselemente	3									
11	Bewegliche Teile haptisch ansprechend gestalten	1			X		X				
12	Angenehme, hochwertige Geräusche erzeugen	1							X	X	
13	Dröhnen, Scheppern vermeiden	1					X		X	X	
14	Wandstärke sichtbar machen	1									
15	Haptisch ansprechende Materialien verwenden	1			X		X	X		X	
16	Optisch ansprechendes Design	1			X		X	X		X	
17	Qualität/Hochwertigkeit ausstrahlen	1			X		X	X	X	X	
...	...	...									

Abbildung 5-8: Auszug der Domain Mapping Matrix (DMM) zur Darstellung der Beziehungen zwischen den Funktionen und den Produktkomponenten des Kaffeevollautomaten

Für die Bestimmung der Produktmerkmale innerhalb der **Domäne „Funktion“** wurden zunächst die Produktfunktionen des Kaffeevollautomaten hinsichtlich ihrer Bedeutung für die kundenseitigen Selbstindividualisierungen gewichtet. Dabei wurde von der Entwicklungsabteilung festgelegt, dass lediglich Funktionen, welche die Haptik, Akustik oder Optik des Kaffeevollautomaten betreffen, als unkritisch (GEW hat den Wert „1“) einzustufen sind. Alle übrigen Produktfunktionen wurden als kritisch (GEW hat den Wert „3“) eingestuft. Im nächsten Schritt wurde mittels einer entsprechenden DMM dokumentiert, für welche Produktfunktion die betroffenen Produktkomponenten jeweils verantwortlich sind (siehe Abbildung 5-8). Auf Basis dessen konnte im Anschluss die sogenannte Funktions-Priorität („F-Priorität“ in Abbildung 5-8) berechnet werden. Dazu wurden für jede betroffene Produktkomponente die Relationen innerhalb der DMM unter Berücksichtigung der jeweiligen Gewichtung aufsummiert. So ergibt sich beispielsweise die Formel zur Berechnung der Funktions-Priorität für die Produktkomponente 1.6.1 wie folgt:

$$TV_{1.6.1 \text{ (Strategie)}} = \sum (\text{GEW}_{F15}, \text{GEW}_{F16}, \text{GEW}_{F17}) = 3 \quad (5-3)$$

Wie bei der Modultreiber-Priorität gilt auch in diesem Fall, je größer die Funktions-Priorität einer Produktkomponente, desto geringer ist schlussendlich dessen Individualisierungspotential.

Für die Bestimmung der Produktmerkmale innerhalb der **Domäne „Produktkomponenten“** wurden von der Produktentwicklungsabteilung zunächst die horizontalen Beziehungen (vgl. Abschnitt 3.2) zwischen den Produktkomponenten analysiert. Dabei wurde festgelegt, dass für den Kaffeevollautomaten die Beziehungs-Typen „Geometrie“, „Materialfluss“ und „Energiefluss“ relevant sind. Mit Geometrie sind sowohl Verbindungen (z. B. Schraub- oder Klemmverbindung) als auch geometrische Kontakte zwischen den Produktkomponenten gemeint. Im Bereich Materialfluss werden sämtliche Wasser-, Milch-, Kaffee- oder auch Reststoffflüsse berücksichtigt, im Bereich Energiefluss jedoch ausschließlich die Schwachstromflüsse – Starkstrom- und Informationsflüsse wurden von der Entwicklungsabteilung aus Aufwandsgründen nicht berücksichtigt. Die Beziehungen wurden nach Abschluss der Analyse in separaten DSMs (jeweils eine für jeden Beziehungs-Typ) dokumentiert. Abbildung 5-9 zeigt einen Auszug der dokumentierten Beziehungen des Typs Geometrie.

Produktkomponenten	AS <sub>Ki</sub>	1.1	1.2	1.3.1	1.3.2	1.4	1.5.1	1.5.2	1.6.1	1.6.2	1.6.3	1.6.4	1.6.5	1.8	...
1.1	2			X		X									
1.2	2								X				X		
1.3.1	3	X			X							X			
1.3.2				X											
1.4		X								X					
1.5.1	1							X							
1.5.2	1						X								
1.6.1	1										X				
1.6.2						X					X	X			
1.6.3	5								X	X		X	X	X	
1.6.4	5			X						X	X		X	X	
1.6.5			X								X	X			
1.8											X	X			
...															

Abbildung 5-9: Auszug der Design Structure Matrix (DSM) zur Darstellung der geometrischen Beziehungen zwischen den Produktkomponenten des Kaffeevollautomaten

Auf Basis der analysierten Beziehungen zwischen den Produktkomponenten, konnte die Entwicklungsabteilung, dem Integrierten Vorgehen entsprechend, jeweils die Aktivsummen („AS“ in Abbildung 5-9) für die von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten berechnen. Die Aktivsummen waren ausreichend, da es sich bei allen betrachteten Typen ausschließlich um bidirektionale Beziehungen handelte (vgl. Abschnitt 3.5.2). Flussrichtungen wurden nicht berücksichtigt. Schlussendlich ist die Aktivsumme ein Maß dafür, wie vernetzt eine Produktkomponente innerhalb der Produktstruktur ist und demzufolge auch, inwieweit das Individualisierungspotential dadurch beeinflusst wird. Generell gilt, je größer die Aktivsumme einer Produktkomponente, desto geringer ist dessen Individualisierungspotential.

Auf Basis der analysierten Produktmerkmale innerhalb der Domänen Strategie, Funktion und Komponenten wurde das Individualisierungspotential für die betroffenen Produktkomponenten durch eine Aggregation der gewichteten und normierten Merkmalsausprägungen berechnet

(siehe Abbildung 5-10). Dabei hat die Entwicklungsabteilung im Vorfeld festgelegt, dass die Domänen gleichberechtigt in die Berechnung der Individualisierungspotentiale eingehen sollen. Demnach wies die Gewichtung (GEW) für alle Merkmalsausprägungen den Wert „1“ auf.

		Von Individualisierungsbedarfen betroffene Produktkomponenten							
		1.2	1.3.1	1.5.1	1.5.2	1.6.1	1.6.3	1.6.4	...
<b>Produktmerkmale</b>	<b>GEW</b>								
<b>Aktivsumme (Geometrie)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>...</b>
$TV_K$ (Geometrie, normiert)		1,25	1,88	1,25	0,63	1,88	4,38	3,75	...
<b>Aktivsumme (Energiefluss)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>...</b>
$TV_K$ (Energiefluss, normiert)		0	0	0	0	0	0	0	...
<b>Aktivsumme (Materialfluss)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>...</b>
$TV_K$ (Materialfluss, normiert)		0	0	0	0	0	10	0	...
<b>Gesamtwert Domäne Funktion</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>...</b>
$TV_K$ (Funktion, normiert)		3,04	1,3	6,09	2,61	1,3	3,48	4,78	...
<b>Gesamtwert Domäne Strategie</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>...</b>
$TV_K$ (Strategie, normiert)		10	7	7	1	4	7	7	...
<b>Aggregation der Produktmerkmale</b>									
<b>Gesamtwert (<math>TV_K</math>)</b>		<b>14,3</b>	<b>10,2</b>	<b>14,3</b>	<b>4,23</b>	<b>7,18</b>	<b>24,9</b>	<b>15,5</b>	<b>...</b>
<b>Individualisierungspotential (<math>IP_K</math> (normiert))</b>		<b>5,79</b>	<b>7,4</b>	<b>5,78</b>	<b>9,71</b>	<b>8,56</b>	<b>1,68</b>	<b>5,31</b>	<b>...</b>

Abbildung 5-10: Auszug der Berechnung der Individualisierungspotentiale auf Basis der Ausprägungen analysierter Merkmale innerhalb der normierten und gewichteten Domänen Strategie, Funktion und Komponenten

Für die Berechnung der Individualisierungspotentiale wurden die Merkmalsausprägungen, wie in Abbildung 5-10 dargestellt, zunächst in eine vordefinierte Tabelle übertragen und jeweils auf einen Wertebereich von 0 bis 10 normiert. So berechnet sich beispielsweise die normierte Funktions-Priorität der Produktkomponente 1.2 gemäß folgender Formel:

$$TV_{1.2 \text{ (Funktion, normiert)}} = \frac{TV_{1.2 \text{ (Funktion)}}}{TV_{\max \text{ (Funktion)}}} * 10 = 3,04 \quad (5-4)$$

Die Berechnung der Individualisierungspotentiale der betroffenen Produktkomponenten erfolgte durch das komponentenweise Aufsummieren der normierten und gewichteten Merkmalsausprägungen sowie die anschließende Invertierung und Normierung der Gesamtwerte. So berechnet sich beispielsweise das Individualisierungspotential ( $IP$ ) der Produktkomponente 1.2 gemäß folgender Formel.

$$IP_{1.2} = \frac{TV_{K \max}(29,2) - TV_{1.2}(14,3)}{TV_{K \max}(29,2) - TV_{K \min}(3,5)} * 10 = 5,79 \quad (5-5)$$

Wie in Abbildung 5-10 dargestellt, führt ein hoher Gesamtwert – Summe der gewichteten und normierten Produktmerkmale – zu einem niedrigen Individualisierungspotential.

Die berechneten Individualisierungspotentiale, der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten, wurden anschließend unter Berücksichtigung der im Rahmen der Kundenanalyse ermittelten Kundenpriorität in das Spannungsfeldportfolio eingetragen. Dabei repräsentiert das Individualisierungspotential den X-Achsen-Wert und die Kundenpriorität den Y-Achsen-Wert. In Abbildung 5-11 ist das gesamte Spannungsfeldportfolio des Kaffeevollautomaten dargestellt.

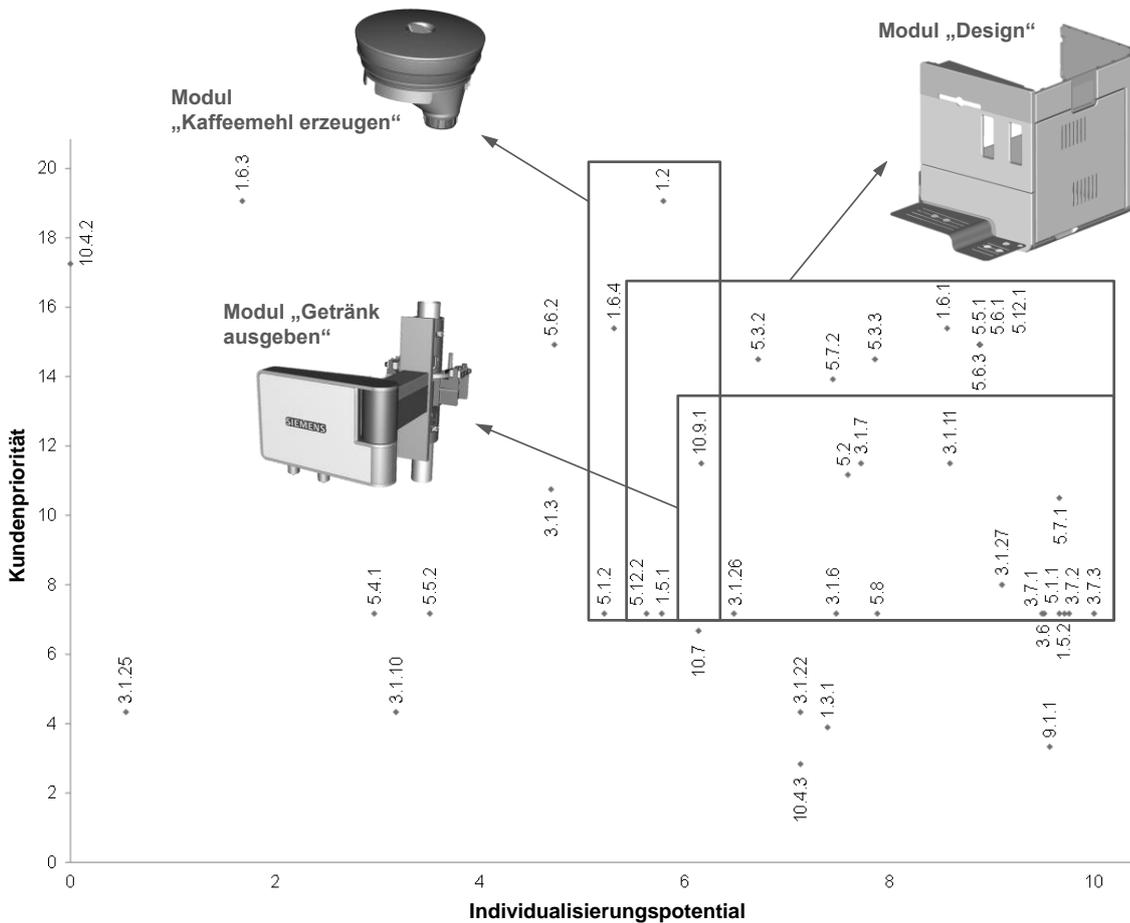


Abbildung 5-11: Spannungsfeldportfolio für den Anwendungsfall des Kaffeevollautomaten (die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten sind eingrahmt und den entsprechenden Produktmodulen zugeordnet)

Insgesamt ließ sich feststellen, dass kundenseitig maßgeblich der Bedarf bestand, form- und designbestimmende Produktkomponenten zu individualisieren (befinden sich im oberen Bereich des Spannungsfeldportfolios). Funktionsbeeinflussende Individualisierungsbedarfe wurden, abgesehen von wenigen Ausnahmen, kundenseitig nicht adressiert. Weiter konnte festgestellt werden, dass aus Unternehmenssicht insbesondere die form- und designbestimmenden Produktkomponenten zur Selbstindividualisierung (befinden sich im rechten Bereich des Spannungsfeldportfolios) geeignet sind, da diese gegenüber anderen Produktkomponenten eine deutlich geringere strategische und funktionale Relevanz aufweisen. Darauf aufbauend wurden zum Abschluss der Spannungsfeldanalyse, die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten von der Entwicklungsabteilung ausgewählt. Dabei wurden entsprechend ihrer Lage im

Spannungsfeldportfolio, 3 Produktkomponenten aus dem Modul „Kaffeemehl erzeugen“, 10 Produktkomponenten aus dem Modul „Getränk ausgeben“ und 15 Produktkomponenten aus dem Modul „Design“ ausgewählt.

Zur Maximierung der kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade wurde in der folgenden Handlungsphase die Produktstruktur des Kaffeefullautomaten durch Entkopplung der ausgewählten Produktkomponenten angepasst.

#### 5.2.4 Handlungsphase 4 – Produktstrukturanpassung

Für die Durchführung der Produktstrukturanpassungen wurde zunächst das existierende Produktstrukturmodell aus der Handlungsphase der Situationsanalyse um die horizontalen Beziehungen zwischen den Produktkomponenten erweitert. Die notwendigen Informationen wurden bereits im Rahmen der Spannungsfeldanalyse erhoben und konnten somit direkt in das Produktstrukturmodell übernommen werden. Dabei wurden, wie zuvor in der Spannungsfeldanalyse, Beziehungen vom Typ Geometrie, Material- und Energiefluss berücksichtigt.

In Abbildung 5-12 ist das erweiterte Produktstrukturmodell des Kaffeefullautomaten abgebildet, das mit Hilfe der Modellierungssoftware Soley-Studio erstellt wurde. Das Modell beinhaltet 123 Produktkomponenten und ihre horizontalen Beziehungen. Aus Gründen der Aufwandsminimierung wurden die Produktkomponenten der nicht veränderbaren Baugruppen (z. B. die Brüheinheit des Kaffeefullautomaten) nicht einzeln modelliert, sondern als Baugruppe auf Produktkomponentenebene in das Modell integriert. Dadurch konnte die Anzahl der modellierten Produktkomponenten auf ein Minimum reduziert werden.

Die zur Selbstindividualisierung festgelegten Produktkomponenten wurden innerhalb des Produktmodells entsprechend ihrer Kundenpriorität sowie ihres Individualisierungspotentials grafisch hervorgehoben. Zur automatisierten Durchführung dieses Schrittes wurde ein Workflow im Soley-Studio erstellt (vgl. Workflow „FaerbenKompTyp“ in Abschnitt 8.1.1). Je größer die Kundenpriorität, desto dunkler ist die Produktkomponente eingefärbt. Weiter gilt, je größer das Individualisierungspotential, desto größer ist Produktkomponente dargestellt. Damit konnten die Ergebnisse der Spannungsfeldanalyse in das erweiterte Produktstrukturmodell integriert und von der Entwicklungsabteilung als Diskussionsgrundlage während der Produktstrukturanpassung herangezogen werden.

Auf Basis des erweiterten Produktstrukturmodells wurden im nächsten Schritt die potentiellen Absorber identifiziert. Für die automatisierte Durchführung dieses Schrittes wurde ebenfalls ein Workflow im Soley-Studio erstellt (vgl. Workflow „Identifiziere\_Nachbarn\_und\_Absorber“ in Abschnitt 8.1.1). Diese Absorber sind standardisierte Produktkomponenten, die als Bindeglieder zwischen den selbstindividualisierbaren und den standardisierten Produktkomponenten fungieren. Gemäß den Beschreibungen in Abschnitt 4.6.1 müssen Absorber mindestens eine horizontale Beziehung zu einer selbstindividualisierbaren und einer standardisierten Produktkomponente aufweisen.

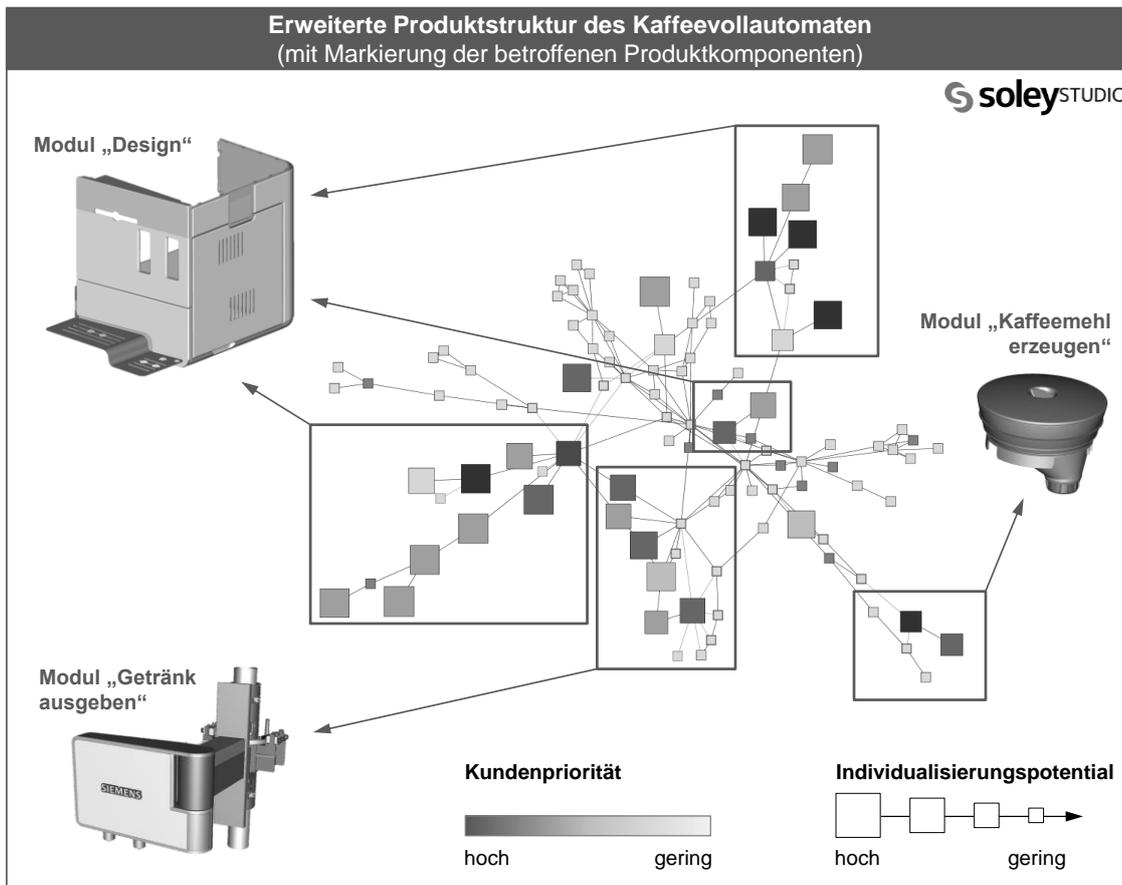


Abbildung 5-12: Erweitertes Produktstrukturmodell des Kaffeevollautomaten (die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten sind eingerahmt und den entsprechenden Produktmodulen zugeordnet)

Auf Basis der identifizierten Absorber (siehe Abbildung 5-13), konnten im nächsten Schritt die Beziehungen analysiert werden, die für eine umfangreiche Entkopplung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten aufgelöst werden müssen. Von dieser Analyse sind alle Beziehungen zwischen den potentiellen Absorbern und den selbstindividualisierbaren Produktkomponenten betroffen. Für den in Abbildung 5-13 dargestellten Auszug sind davon beispielsweise die Beziehungen zwischen den potentiellen Absorbern 7.6, 5.4.1, 5.5.2, 6.5.1, 6.6.1 und der selbstindividualisierbaren Produktkomponente 5.7.2 betroffen. Alle betroffenen Beziehungen wurden von der Entwicklungsabteilung einzeln hinsichtlich ihrer Auflösbarkeit diskutiert. So wurde u. a. festgelegt, dass die Beziehung zwischen 5.4.1 und 5.7.2 aufgelöst werden kann, wenn die damit erfüllte Funktion durch eine geeignete Anpassung der Produktgestalt von 5.4.1 kompensiert werden kann. Insgesamt wurde von der Entwicklungsabteilung die Auflösung von 30 Beziehungen eingehend diskutiert. Schlussendlich wurde festgelegt, dass 9 der 30 Beziehungen entweder durch Umgestaltung der Absorber oder durch Übertragung entsprechender Funktionen an umliegende Produktkomponenten aufgelöst werden können. Die festgelegten Produktstrukturanpassungen wurden in einem Formular umfassend dokumentiert (vgl. Abschnitt 4.6.1). Neben den Gründen für die Auflösbarkeit einer Beziehung wurden die zu berücksichtigenden Anforderungen und Randbedingungen für die konstruktive

Umgestaltung der Absorber beziehungsweise umliegender Produktkomponenten beschrieben. Die initiierten Änderungen dieser Produktkomponenten waren Ausgangspunkt für die anschließende Prognose notwendiger konstruktiver Änderungsaufwände zur Umsetzung festgelegter Produktstrukturanpassungen (vgl. Abschnitt 4.6.2).

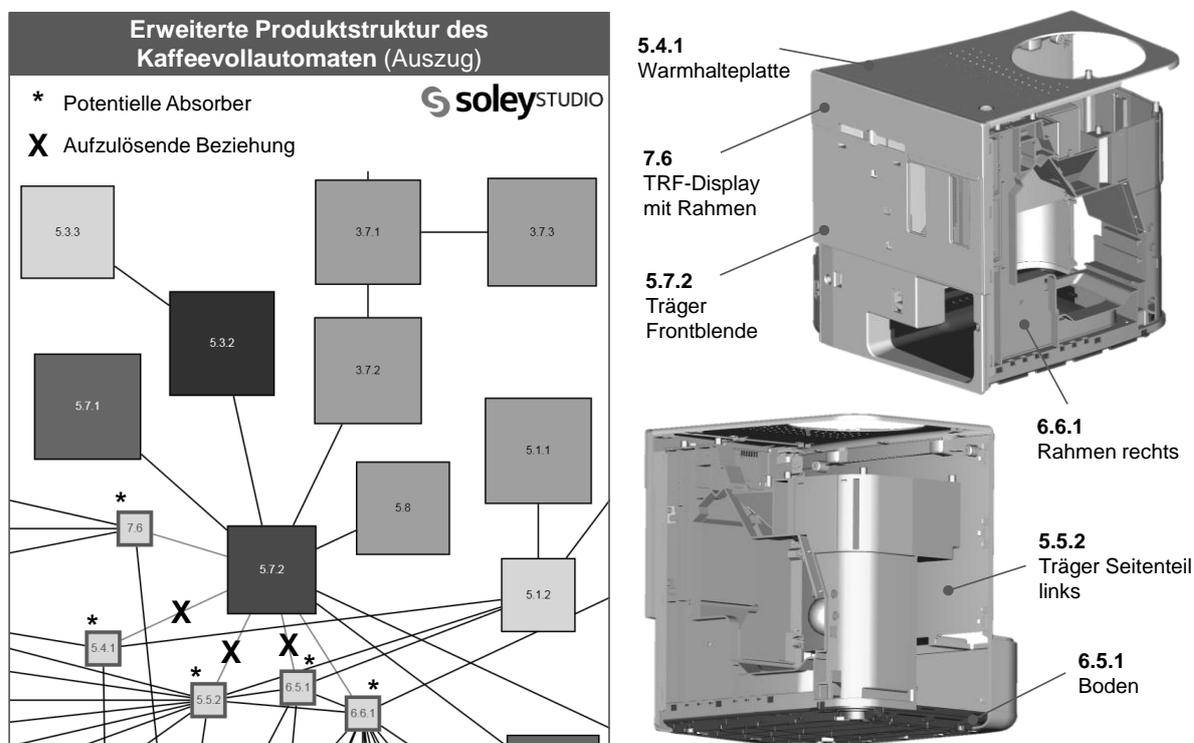


Abbildung 5-13: Identifikation potentieller Absorber auf Basis des erweiterten Produktstrukturmodells des Kaffeevollautomaten (Auszug für das Modul „Design“); im rechten Teil der Abbildung ist das zugehörige CAD-Modell dargestellt

Für die Prognose konstruktiver Änderungsaufwände hat die Entwicklungsabteilung festgelegt, dass aus Gründen der Aufwandsminimierung, bei der Erstellung des Chang Propagation-Tree ausschließlich einstufige Change Propagation-Pfade berücksichtigt werden. Demnach wurde lediglich überprüft, inwieweit sich eine initiierte Produktkomponentenänderung auf umliegende Produktkomponenten ausbreiten könnte. Eine weiterführende Ausbreitung dieser emergierenden Änderungen auf weitere Produktkomponenten sollte im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht werden.

In Abbildung 5-14 ist ein Auszug des Change Propagation-Tree für das Fallbeispiel des Kaffeevollautomaten dargestellt. Dieser wurden von der Entwicklungsabteilung identifiziert, indem für jeden möglichen Pfad, die Wahrscheinlichkeit der Änderungsausbreitung abgeschätzt wurde. So hat die Entwicklungsabteilung beispielsweise abgeschätzt, dass die initiierte Änderung der Produktkomponente 5.5.2, in Folge der Auflösung der Beziehung zwischen Produktkomponente 5.7.2. und 5.5.2 (siehe Abbildung 5-13), mit 25%iger Wahrscheinlichkeit eine emergierende Änderung der Produktkomponente 5.5.1 zur Folge hat (siehe Abbildung 5-14). Damit konnten schlussendlich 47 mögliche, emergierende Produktkomponentenänderungen

auf Basis von 14 initiierten Änderungen identifiziert und mit entsprechenden Eintretenswahrscheinlichkeiten hinterlegt werden (vgl. Abschnitt 8.2.2).

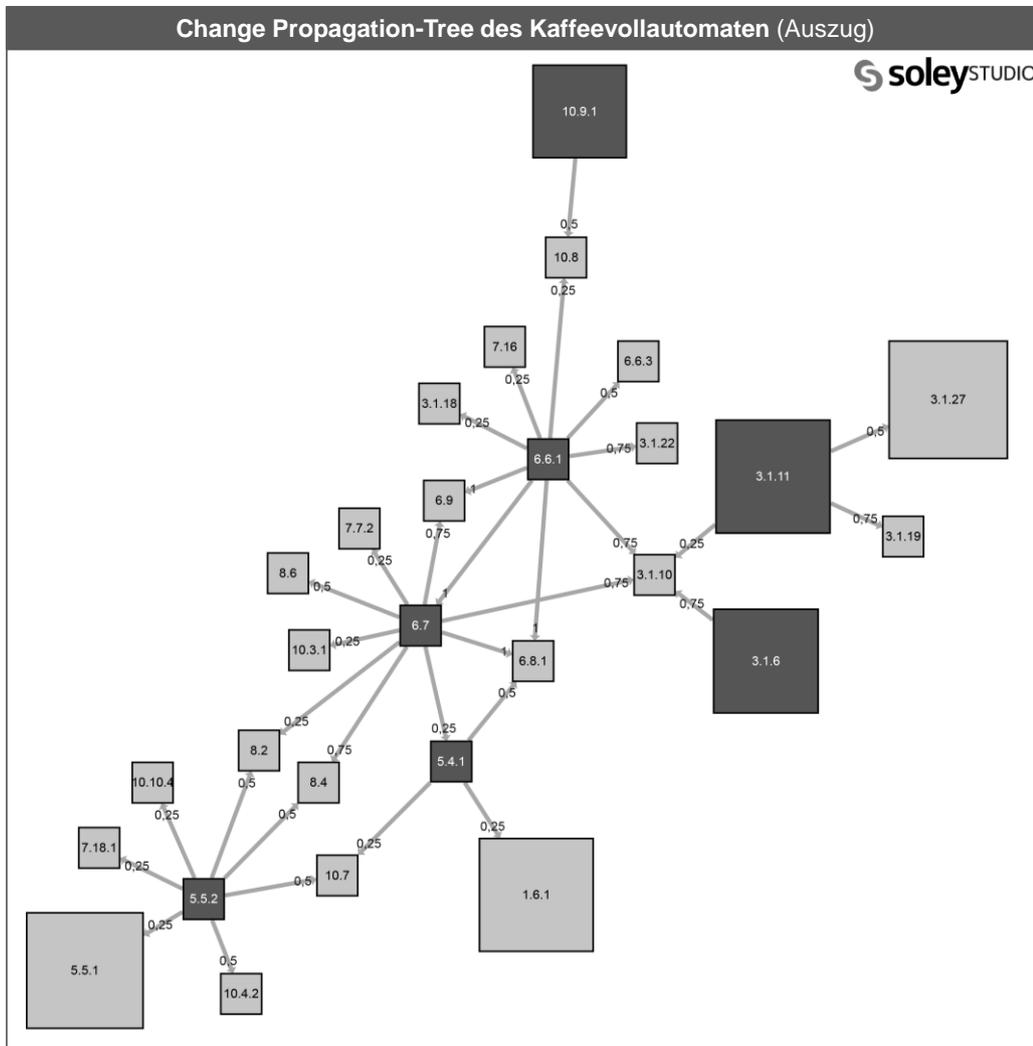


Abbildung 5-14: Auszug des Change Propagation-Tree für den Kaffeevollautomaten zur Darstellung möglicher emergierender Produktkomponentenänderungen auf Basis initiiertes Produktstrukturanpassungen

Bei der Abschätzung notwendiger Konstruktionsaufwände hat sich die Entwicklungsabteilung aus Gründen der Aufwandsminimierung dazu entschlossen, keine komponentenspezifische Differenzierung vorzunehmen. Vielmehr wurde eine Dauer für die Durchführung einer konstruktiven Änderung abgeschätzt, die für alle betroffenen Produktkomponenten gültig ist. Um an dieser Stelle der Gefahr einer menschlichen Wahrnehmungsverzerrung vorzubeugen, wurde entschieden die von MA ET AL. (2003) entwickelte, dreistufige Abschätzungsmethode anzuwenden (vgl. Abschnitt 4.6.2). Zur Berechnung des abgeschätzten Änderungsaufwandes, wurden von der Entwicklungsabteilung folgende Dauern abgeschätzt:

- Optimistische Dauer (a) = 14 Arbeitsstunden
- Pessimistische Dauer (b) = 140 Arbeitsstunden
- Realistische Dauer (m) = 52,5 Arbeitsstunden

Die Berechnung des, für alle betrachteten Produktkomponenten gültigen, abgeschätzten Änderungsaufwandes ( $A$ ) ergab sich damit wie folgt:

$$A = \frac{a + 4m + b}{6} = 60,67 \text{ Arbeitsstunden} \quad (5-6)$$

Die resultierenden Aufwände ( $RA$ ) für die konstruktive Änderung der entsprechenden Produktkomponenten berechneten sich abschließend aus dem Produkt der komponentenabhängigen Änderungswahrscheinlichkeit und des für alle Produktkomponenten gültigen Änderungsaufwandes von 60,67 Arbeitsstunden. Der gesamte Änderungsaufwand für die Umsetzung der geplanten Produktstrukturanpassungen beträgt für das Fallbeispiel des Kaffeevollautomaten 1682,86 Arbeitsstunden, was ungefähr 48 Mannwochen (unter Annahme einer Wochenarbeitszeit von 40 Stunden) entspricht.

Die Entwicklungsabteilung konnte damit einen fundierten Ausgangspunkt für die ressourcengerechte Festlegung durchzuführender Produktstrukturanpassungen generieren. Die Beantwortung der Frage, welche der geplanten Produktstrukturanpassungen mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen umgesetzt werden können, ist Bestandteil zukünftiger Entwicklungsprojekte der BSH Hausgeräte GmbH und ist demzufolge kein Bestandteil der vorliegenden Arbeit. Die Abschätzung des resultierenden Gesamtaufwandes markiert demnach den Endpunkt für die Anwendung des Lösungsansatzes am Beispiel des Kaffeevollautomaten.

### 5.2.5 Fazit und Schlussfolgerungen

Generell lässt sich festhalten, dass die Abfolge und Inhalte der ersten vier Handlungsphasen von der Entwicklungsabteilung bestätigt werden konnten. Die selbstindividualisierungsgerechte Produktstrukturanpassung des Kaffeevollautomaten konnte erfolgreich durchgeführt werden und ist Ausgangspunkt für weiterführende Individualisierungsbestrebungen auf Seiten der BSH Hausgeräte GmbH. Der Erfolg wird daran gemessen, dass von 31 vorhandenen Schnittstellen zwischen den selbstindividualisierbaren Produktkomponenten und den Absorbieren insgesamt 9 aufgelöst werden konnten. Damit wurde eine solide Ausgangsbasis für die Maximierung der kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade geschaffen.

Einschränkend muss jedoch bemerkt werden, dass die Durchführung der Spannungsfeldanalyse sowie der anschließenden Produktstrukturanpassung häufig Entscheidungen außerhalb des angestammten Aufgaben- und Verantwortungsgebiets der betreffenden Entwicklungsabteilung erforderten. Das hatte insgesamt vier mehrstündige, arbeitsintensive Workshops mit den entsprechenden Unternehmensabteilungen über einen Zeitraum von vier Monaten zur Folge. Aus diesem Grund war die Durchführung der Umsetzungsplanung (fünfte Handlungsphase) mit dem, im Rahmen des Forschungsprojektes InnoCyFer vereinbarten, Zeit- und Ressourcenplan nicht leistbar. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass vor Beginn der Anwendung des Integrierten Vorgehens stets eine kritische Reflexion der anstehenden Arbeitsinhalte erfolgen sollte, um die erforderlichen Ressourcen aus Unternehmenssicht zielgerichteter abschätzen und bereitstellen zu können.

Als weitere Einschränkung muss festgehalten werden, dass die Entwicklungsabteilung, trotz einer intensiven Einführung durch den Autor, das Integrierte Vorgehen nicht eigenständig anwenden konnte. Der erforderliche Einarbeitungsaufwand war schlichtweg zu hoch und konnte damit keinesfalls parallel zum Tagesgeschäft realisiert werden. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass dem Anwender umfassende Methodenbeschreibungen zur Verfügung gestellt werden müssen. Darüber hinaus muss die softwarebasierte Unterstützung der Methodendurchführung weiter automatisiert werden. Die im Soley-Studio erstellten Softwarelösungen zur Analyse und Modellierung von Produktstrukturen bilden dafür nach Meinung der Entwicklungsabteilung eine gute Ausgangsbasis (vgl. Abschnitt 8.1.1).

Bei der Durchführung der Kundenanalyse (zweite Handlungsphase) hat sich gezeigt, dass der Ideenwettbewerb ein wertiges Hilfsmittel für eine effiziente Kommunikation der kundenseitigen Individualisierungsbedarfe hin zum Unternehmen darstellt. Die darauf aufbauende, unternehmensseitige Identifikation der von den Individualisierungsbedarfen betroffenen Produktkomponenten hat sich jedoch als schwierig erwiesen. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Granularität bei der Auswahl der Komponenten zu gering war und Kunden damit ihre Individualisierungsbedarfe nur unzureichend mit den betroffenen Produktkomponenten verknüpfen konnten. Das wiederum hatte unternehmensseitig einen großen Interpretationsspielraum zur Folge, der sich in einer gewissen Unsicherheit bei der Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten niedergeschlagen hat. Darüber hinaus konnten einige der kundenseitig eingereichten Individualisierungsbedarfe nicht berücksichtigt werden, da sich diese auf nicht-realizable IT-Individualisierungen (z. B. Verbindung eines Smartphones mit der Steuerung des Kaffeevollautomaten) bezogen. Eine gezieltere Kommunikation der Individualisierungsgrenzen hätte dies verhindern können und sollte bei zukünftigen Kundenanalysen zwingend berücksichtigt werden.

Die Anwendbarkeit der Methode zur Ermittlung der Individualisierungspotentiale wurde von der Entwicklungsabteilung, insbesondere vor dem Hintergrund einer großen Produktkomplexität, bestätigt. Trotz einer großen Anzahl involvierter Produktkomponenten sowie einer Vielzahl zu berücksichtigender Produktmerkmale, war eine effektive und effiziente Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten möglich. Mehrdimensionale, komplexe Informationen konnten auf eine gut handhabbare, zweidimensionale Portfoliodarstellung heruntergebrochen werden. Damit war es der Entwicklungsabteilung möglich einen geeigneten Kompromiss zwischen den Individualisierungsbedarfen der Kunden und deren Umsetzbarkeit aus Produktentwicklungssicht zu identifizieren.

Die Anwendbarkeit der Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten wurde von der Entwicklungsabteilung der BSH Hausgeräte GmbH ebenfalls bestätigt. Dabei wurde insbesondere das systematische Vorgehen bei der Identifikation potentiell auflösbarer Komponentenschnittstellen hervorgehoben. Trotz einer bereits weit vorangeschrittenen Modularisierung der Produktstruktur des Kaffeevollautomaten konnten mit Hilfe der Methode bisher unbekannte Potentiale identifiziert werden.

### **5.3 Ergebnisse des Fallbeispiels „Wasserspender“**

Der in Abbildung 5-15 dargestellte Aufbau des Wasserspender wurde vom Autor aus einer Veröffentlichung von MARTIN & ISHII (2002, S. 231) übernommen. Die zur Anwendung des

Integrierten Vorgehens notwendigen Entscheidungen, wie beispielsweise die Bewertung der Umsetzbarkeit potentieller Produktstrukturanpassungen, basieren ausschließlich auf Annahmen des Autors, die im weiteren Verlauf explizit als solche gekennzeichnet sind.

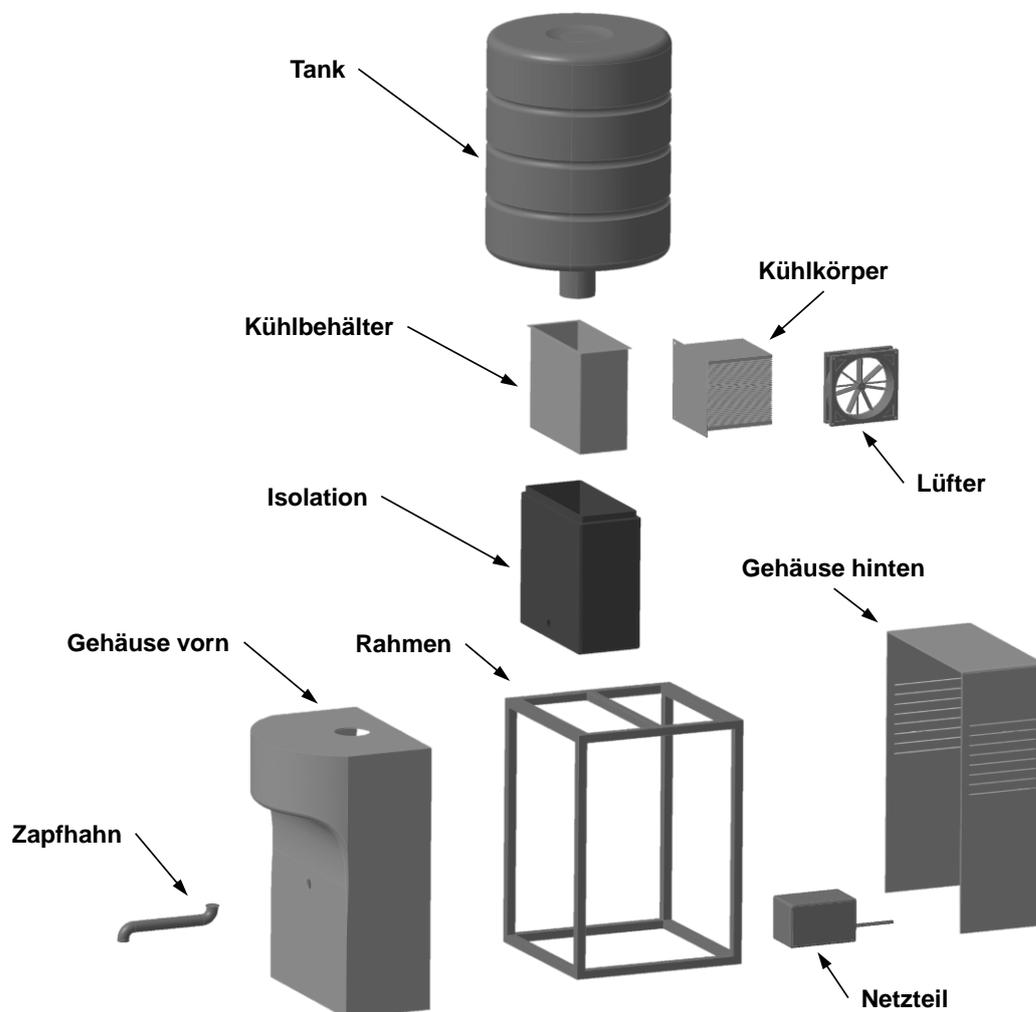


Abbildung 5-15: Explosionsdarstellung des Wasserspenders bestehend aus zehn Produktkomponenten (MARTIN & ISHII 2002, S. 231)

Die für das Fallbeispiel des Wasserspenders betrachtete Anwendung des Integrierten Vorgehens, beginnt mit der vierten Handlungsphase (Produktstrukturanpassung). Im Rahmen des Fallbeispiels wird angenommen, dass kundenseitig der Bedarf besteht, die beiden Produktkomponenten „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ zu individualisieren. Das Ziel der selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung war die Maximierung der kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade durch eine strukturelle Entkopplung dieser beiden Produktkomponenten.

### 5.3.1 Handlungsphase 4 – Produktstrukturanpassung

Gemäß der in Abschnitt 4.6.1 beschriebenen Methode zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten, wurden zunächst die Absorber festgelegt. Diese fungieren als Bindeglieder zwischen dem Individualisierungsbereich – im Fallbeispiel bestehend aus „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ – sowie den nicht individualisierbaren Produktkomponenten. Potentielle Absorber waren die Produktkomponenten „Zapfhahn“, „Rahmen“ und „Lüfter“ (siehe Abbildung 5-16). Da der „Rahmen“ jedoch zu beiden selbstindividualisierbaren Produktkomponenten bereits eine geometrische Verbindung aufwies, wurde dieser als alleiniger Absorber für das weitere Vorgehen definiert.

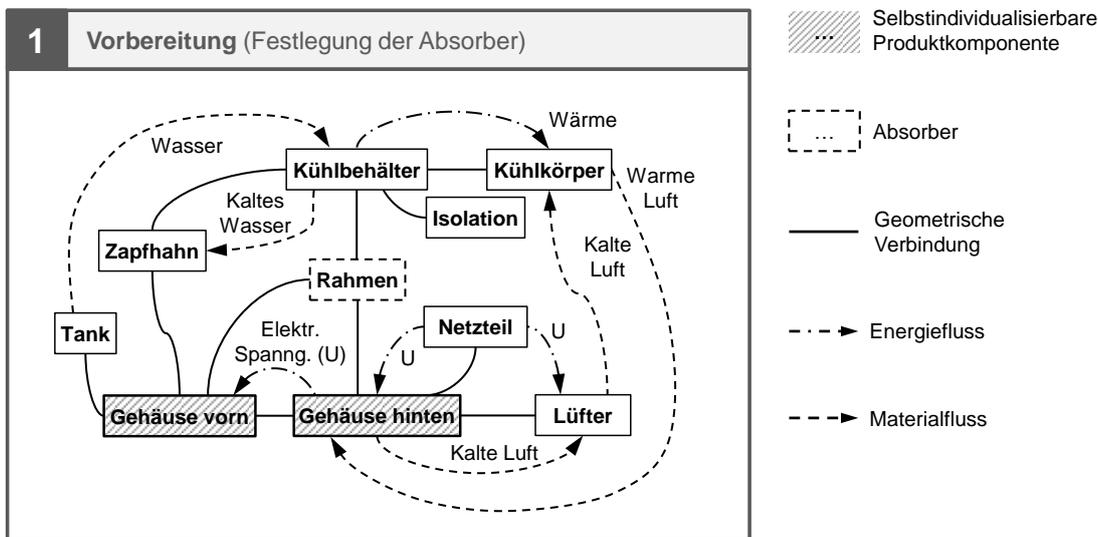


Abbildung 5-16: Auf horizontale Beziehungen beschränktes Produktstrukturmodell des Wasserspenders mit Markierung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten und des festgelegten Absorbers

Im Rahmen des zweiten Methodenschrittes (Entkopplung) wurden die vier Prinzipien, entsprechend der in Abschnitt 4.6.1 definierten Reihenfolge, auf das Fallbeispiel angewendet. Für die Durchführung des ersten Prinzips (Funktionsübertragung an Absorber) wurde die Produktstruktur des Wasserspenders durch Auflösung und Neudefinition der geometrischen Schnittstellen zwischen den betreffenden Produktkomponenten angepasst. Für den Fall, dass eine Produktkomponente, wie beispielsweise der Zapfhahn, mehrere geometrische Verbindungen aufwies (siehe Abbildung 5-16), erfolgte die Funktionsübertragung durch Reduzierung der funktionsrelevanten Schnittstellen auf ein notwendiges Minimum. So wurde beispielsweise die Funktion „Zapfhahn befestigen“, die vor der Produktstrukturanpassung von den Produktkomponenten „Kühlbehälter“ und „Gehäuse vorn“ gemeinsam ausgeführt wurde, durch das Auflösen der geometrischen Verbindung zwischen „Zapfhahn“ und „Gehäuse vorn“ vollständig auf den Kühlbehälter übertragen. Das Ergebnis des ersten Prinzips zur Entkopplung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten ist in Abbildung 5-17 dargestellt.

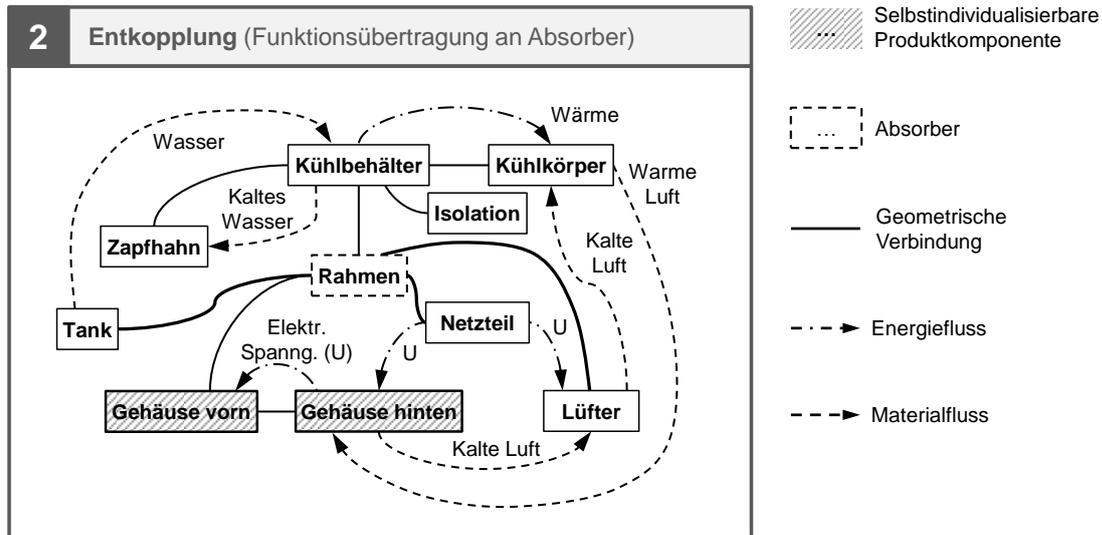


Abbildung 5-17: Ergebnis des ersten Prinzips (Funktionsübertragung an Absorber) zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

Entsprechend des zweiten und dritten Prinzips (separate Flüsse und freie Schnittstellen) wurden die Produktkomponenten „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ separat mit Spannung versorgt. Darüber hinaus wurde am Rahmen eine freie Schnittstelle für die Befestigung des Netzteils vorgesehen. Das Netzteil kann nun abhängig von der geometrischen Ausprägung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten über zwei verschiedene Positionen am Rahmen befestigt werden. Das Ergebnis des zweiten und dritten Prinzips zur Entkopplung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten ist in Abbildung 5-18 dargestellt.

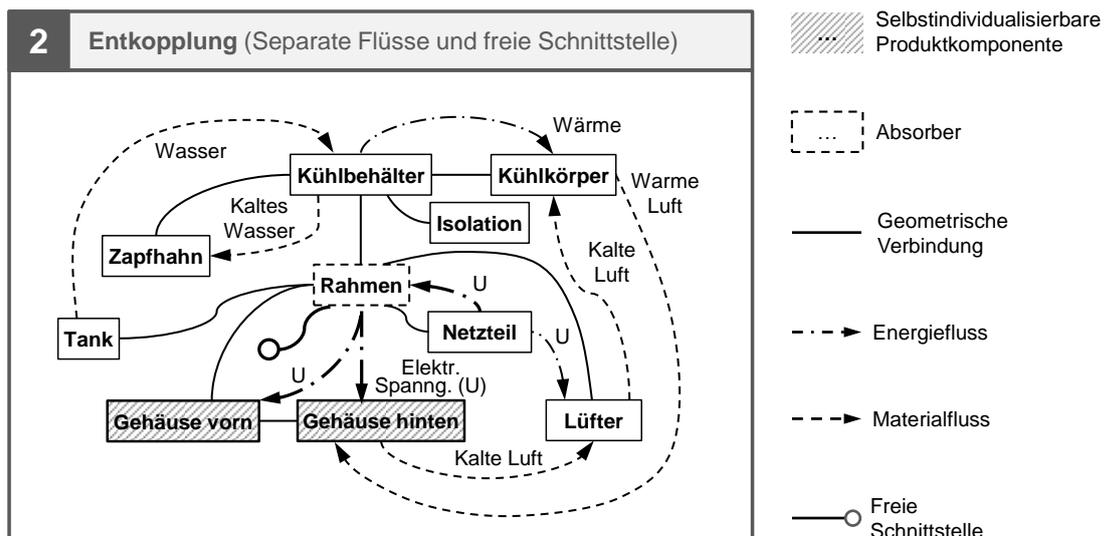


Abbildung 5-18: Ergebnis des zweiten und dritten Prinzips (Separierung der Flüsse und Generierung freier Schnittstellen) zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

Im Zuge des vierten Prinzips (Schnittstellenintegration) wurde der Energiefluss zwischen den Produktkomponenten „Gehäuse vorn“ und „Rahmen“ in die geometrische Verbindung integriert. Das Ergebnis des vierten Prinzips ist in Abbildung 5-19 dargestellt.

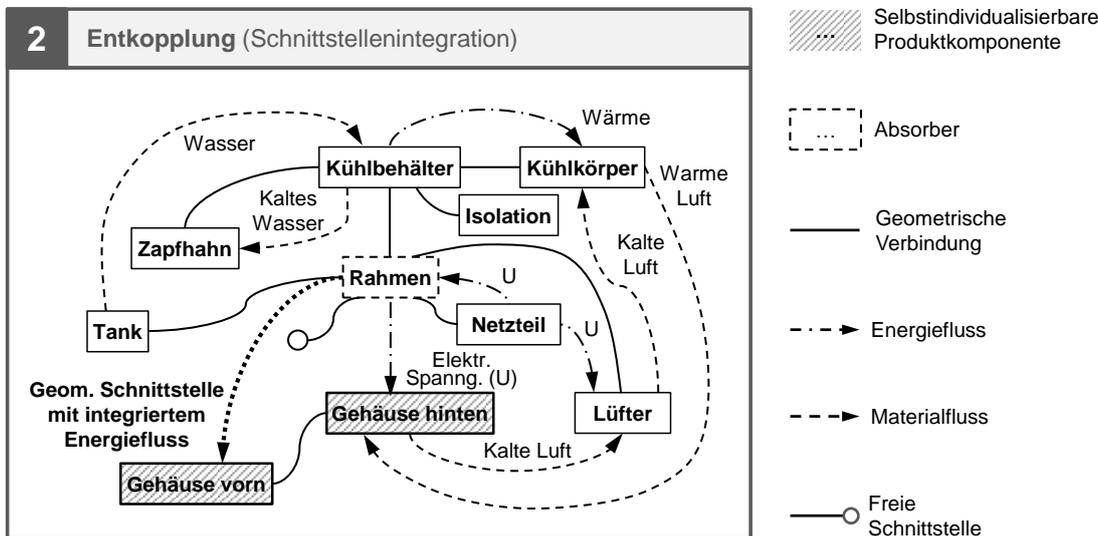


Abbildung 5-19: Ergebnis des vierten Prinzips (Integration der Schnittstellen) zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

Mit der oben beschriebenen Anwendung der vier Prinzipien zur Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten, konnten die betreffenden Produktkomponenten „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ systematisch von den übrigen (standardisierten) Produktkomponenten entkoppelt werden. Hauptauswirkung dieser Entkopplung ist die Reduzierung der Schnittstellenanzahl beider Produktkomponenten. Damit wurde die strukturelle Voraussetzung für die Maximierung des kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrades geschaffen.

Zum Abschluss der Anwendung der vierten Handlungsphase wurden die geplanten Produktstrukturanpassungen in einem geeigneten Formblatt umfassend dokumentiert (siehe Tabelle 5-2). Für jede Anpassung wurde eine aussagekräftige Kurzbeschreibung erstellt sowie die von der Anpassung betroffenen Produktkomponenten benannt und jeweils zuständige Ansprechpartner für etwaige Rückfragen bestimmt.

Da die, für den Wasserspender beschriebene Anwendung des Lösungsansatzes, im Gegensatz zum vorangegangenen Fallbeispiel des Kaffeefullautomaten, nicht auf einer Unternehmenskooperation basiert, handelt es sich bei den Ansprechpartnern um fiktive Personen, die lediglich aus Gründen der Vollständigkeit in das Formblatt aufgenommen wurden. Die Beschreibungen der geplanten Produktstrukturanpassungen repräsentierten den Ausgangspunkt für die nachfolgend beschriebene Umsetzungsplanung (fünfte Handlungsphase des Integrierten Vorgehens).

Tabelle 5-2: Auszug des Formblatts zur Dokumentation der geplanten Produktstrukturanpassungen für das Fallbeispiel des Wasserspenders (das vollständige Formblatt ist in Abschnitt 8.3.1 dargestellt)

Beschreibung der Produktstrukturanpassungen (Auszug)				
Id.-Nr.	Bezeichnung	Kurzbeschreibung	Betroffene Produktkomponenten	Ansprechpartner
01	Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Übertragung der Funktion „Tank befestigen“ von „Gehäuse vorn“ auf „Rahmen“ (Absorber)</li> <li>Geometrische Schnittstelle zwischen „Tank“ und „Rahmen“ gestalten</li> <li>Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Tank“ auflösen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse vorn</li> <li>Tank</li> <li>Rahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person B</li> <li>Person F</li> </ul>
02	Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Übertragung der Funktion „Zapfhahn befestigen“ auf „Kühlbehälter“</li> <li>Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“ gestalten</li> <li>Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Gehäuse vorn“ auflösen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse vorn</li> <li>Zapfhahn</li> <li>Kühlbehälter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person B</li> <li>Person F</li> </ul>
Die Beschreibungen zu „Id.-Nr. 03“ bis einschließlich „Id.-Nr. 12“ befinden sich im Anhang.				

Die Prognose der konstruktiven Änderungsaufwände, als eigentlich abschließender Handlungsschritt der vierten Handlungsphase, wurde im Rahmen dieses Fallbeispiels nicht durchgeführt, da die prognostizierten Aufwände, aufgrund der fehlenden Unternehmenskooperation, nicht hätten bewertet werden können.

### 5.3.2 Handlungsphase 5 – Umsetzungsplanung

Die Ableitung der erforderlichen Prozessschritte zur Modellierung des konstruktiven Änderungsprozesses bildet den ersten Handlungsschritt der Umsetzungsplanung. Gemäß Abschnitt 4.7.1 wurden die Prozessschritte für das Fallbeispiel des Wasserspenders auf Basis der relationsorientierten Prozesssynthese nach BAUMBERGER (2007, S. 197 ff.) mit Hilfe des „House of Processes (HoP)“ systematisch abgeleitet (siehe Abbildung 5-20). Dazu wurden zunächst die bereits bekannten Abhängigkeiten zwischen den Produktstrukturanpassungen und den jeweils davon betroffenen Produktkomponenten in Form von Relationen in die DMM des HoP eingetragen.

Darauf aufbauend wurden im Zielsystem die Abhängigkeiten zwischen den Produktstrukturanpassungen sowie im Objektsystem mögliche emergierende Produktkomponentenänderungen auf Basis der initiierten Änderungen abgeleitet. Die Abhängigkeiten (Relationen) im Zielsystem ergeben sich, wenn zwei Produktstrukturanpassungen die gleichen Produktkomponenten adressieren (vgl. Abschnitt 4.7.1). So ist beispielsweise die Produktkomponente „Gehäuse vorn (II)“ gleichermaßen von den Produktstrukturanpassungen „Id.-Nr.: 01“ und „Id.-Nr. 02“ betroffen (siehe Abbildung 5-20). Die Relationen im Zielsystem des HoP haben jedoch für das

Fallbeispiel des Wasserspenders wenig Aussagekraft, da nahezu alle Produktstrukturanpassungen über die jeweils betroffenen Produktkomponenten indirekt miteinander verbunden sind. Bezogen auf die Abhängigkeiten (Relationen) im Objektsystem kann beispielsweise die geplante Anpassung der Produktkomponente „Kühlbehälter“ eine emergierende Änderung der Produktkomponenten „Kühlkörper“ und „Isolation“ hervorrufen (siehe Abbildung 5-20).

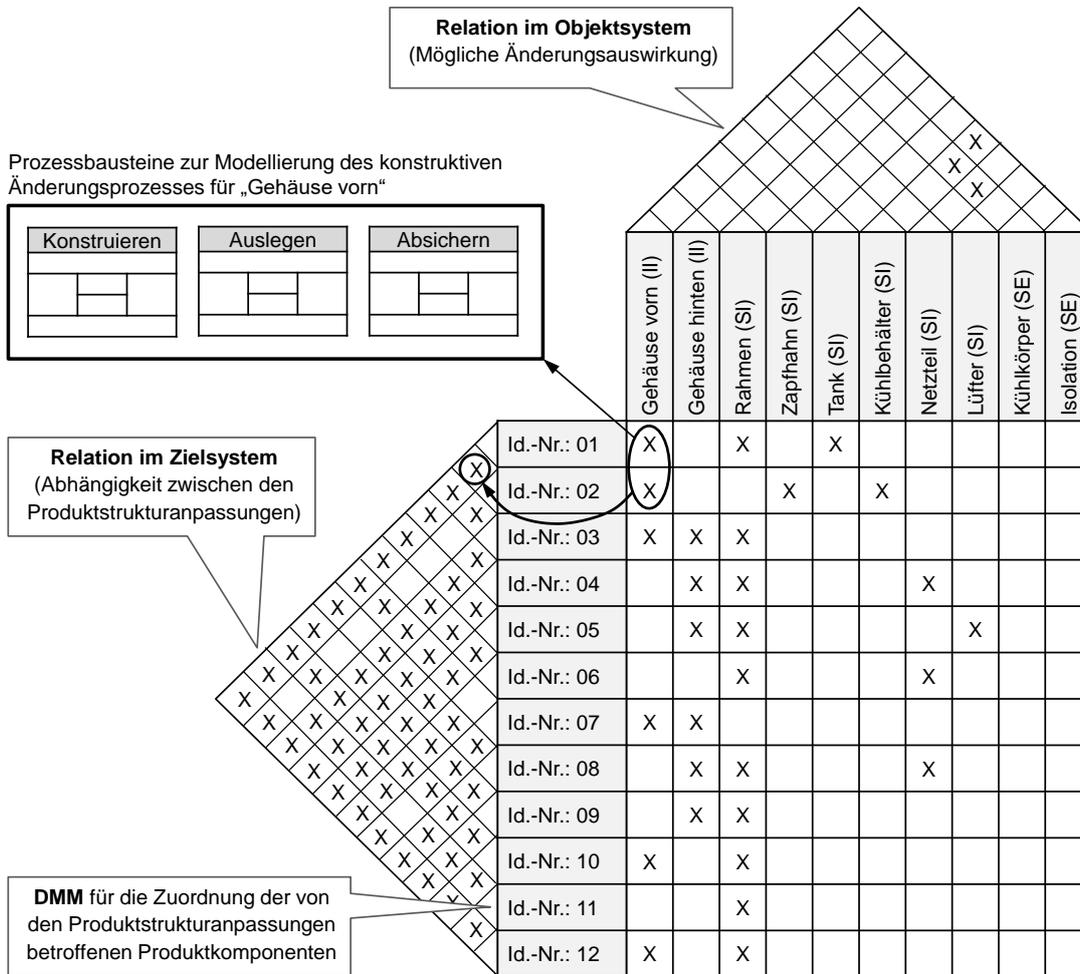


Abbildung 5-20: House of Processes (HoP) für die relationsorientierte Synthese erforderlicher Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung geplanter Produktstrukturanpassungen für das Fallbeispiel des Wasserspenders

Im weiteren Verlauf der Prozesssynthese wurden die Prozessbausteine für sämtliche Relationen innerhalb der DMM systematisch abgeleitet und spezifiziert. So wurde beispielsweise für die konstruktive Umsetzung der ersten beiden Produktstrukturanpassungen („Id.-Nr.: 01“ und „Id.-Nr.: 02“ in Abbildung 5-20) u. a. ein Prozessbaustein zur Konzeption und Gestaltung der Produktkomponente „Gehäuse vorn“ abgeleitet. Aufgrund dessen, dass beide Produktstrukturanpassungen die Auflösung einer geometrischen Schnittstelle an „Gehäuse vorn“ vorsehen, war neben der offensichtlichen Umgestaltung der Produktkomponente, eine vorgelagerte Neukonzeption sowie eine nachgelagerte Absicherung notwendig. Für die konstruktive Umsetzung der Produktstrukturanpassungen mit der Id.-Nr. 03, 07, 10 und 12 waren gleichermaßen jeweils ein Prozessbaustein zur Konzeption, Gestaltung und Absicherung erforderlich. Wie in Abbildung

5-21 dargestellt, ergeben sich damit zwei Prozesspfade für die Produktkomponente „Gehäuse vorn“, die in einem abschließenden, gemeinsamen Absicherungsschritt münden. In gleicher Weise wurden insgesamt 30 Prozessbausteine zur konstruktiven Umsetzung der zwölf geplanten Produktstrukturanpassungen für die jeweils betroffenen Produktkomponenten abgeleitet und anschließend entsprechend spezifiziert.

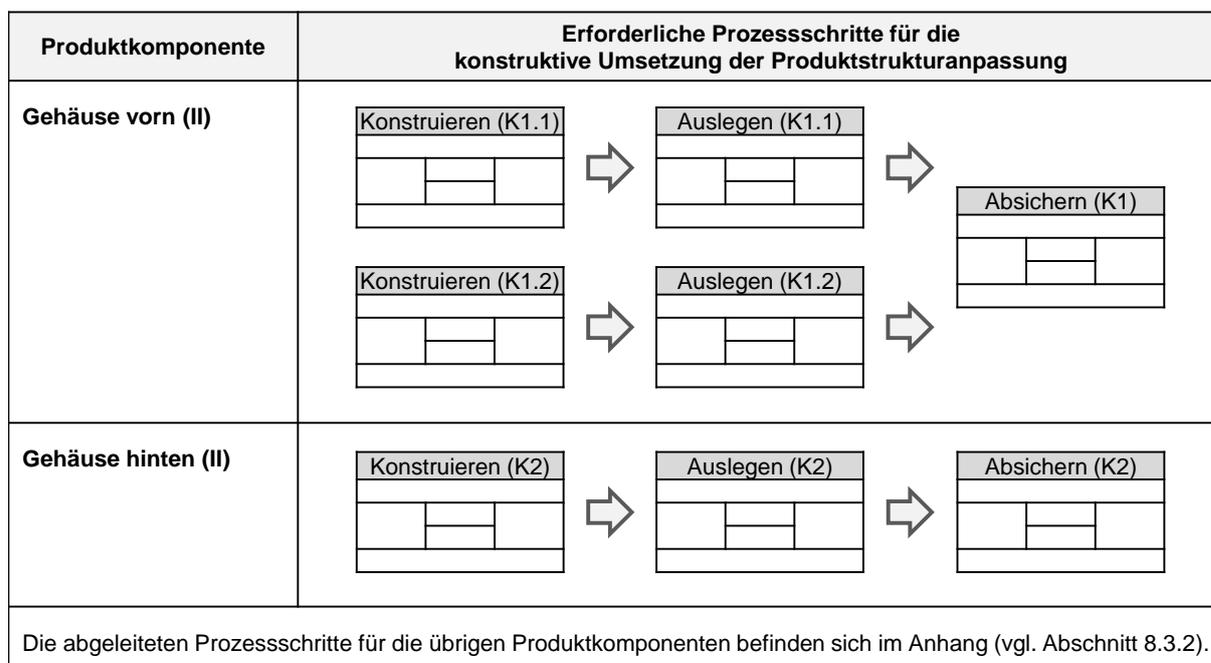


Abbildung 5-21: Auszug der erforderlichen Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung der Produktstrukturanpassungen für das Fallbeispiel des Wasserspenders

Grundlage für die Spezifikation der einzelnen Prozessbausteine waren neben den dokumentierten Produktstrukturanpassungen, die potentiell eintretenden, emergierenden Produktkomponentenänderungen. Ein Beispiel für die Spezifikation eines Prozessbausteins ist in Abbildung 5-22 dargestellt. Anhand dieser Spezifikation wurden erforderliche Tätigkeiten für die Neukonzeption der Produktkomponente „Gehäuse vorn“, im Sinne der geplanten Produktstrukturanpassungen, detailliert beschrieben. Darüber hinaus wurden Dokumente aufgezeigt, die für die Durchführung der beschriebenen Tätigkeiten relevant sind. Eine Fertigungszeichnung sowie ein CAD-Modell der Produktkomponente „Gehäuse vorn“ sollen an dieser Stelle exemplarisch genannt werden. Damit hat der ausführende Konstrukteur eine umfangreiche Informationsbasis für die konstruktive Anpassung der jeweiligen Produktkomponenten des Wasserspenders. Die spezifizierten Prozessbausteine für die Produktkomponenten „Gehäuse hinten“, „Rahmen“, „Zapfhahn“, „Tank“, „Kühlbehälter“, „Netzteil“, „Lüfter“, „Kühlkörper“ und „Isolation“ sind hier nicht dargestellt und finden sich in Abschnitt 8.3.2.

Konstruieren von „Gehäuse vorn“ (K1.1)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person A		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Id.-Nr. 01: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 1)</li> <li>Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v2</li> <li>Information K1.1: Durchmesser des Tankstutzens (Ausparung Gehäuse vorn)</li> <li>Information K1.2: Durchmesser Zapfhahn (Ausparung Gehäuse vorn)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Auflösen der geometrischen Schnittstelle zw. „Gehäuse vorn“ und „Tank“</li> <li>Ausparung für Tankstutzen vorsehen</li> <li>Auflösen der geometrischen Schnittstelle zw. „Gehäuse vorn“ und „Zapfhahn“</li> <li>Ausparung für Tankstutzen Zapfhahn vorsehen</li> </ul> <b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CAD-Software</li> <li>PDM-System</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v3</li> </ul>
<b>Spezielle Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Gehäuse vorn“ (II)</li> <li>Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 5-22: Spezifizierter Prozessbaustein zur Neukonstruktion der Produktkomponente „Gehäuse vorn“

Auf Basis der spezifizierten Prozessbausteine wurde im nächsten Handlungsschritt der konstruktive Änderungsprozess geplant. Gemäß Abschnitt 4.7.2 wurden dazu die synthetisierten Prozessbausteine auf Basis einer sequenzierten Beziehungs-DSM in zwei Stages unterteilt (siehe Abbildung 5-23). Damit wurde festgelegt, dass die Produktkomponenten, die sich aufgrund zahlreicher Abhängigkeitsbeziehungen zu einem Cluster zusammenfassen ließen, in einer gemeinsamen Entwicklungsphase (Stage) konstruktiv angepasst werden sollen.

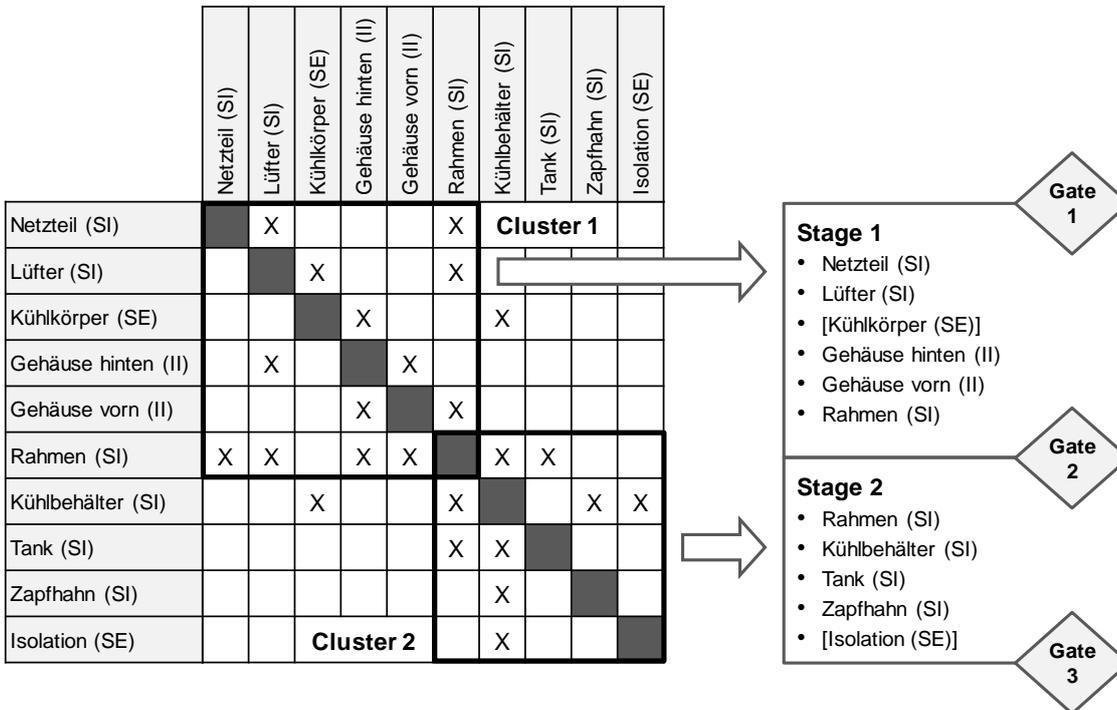


Abbildung 5-23: Stage-Gate®-basierte Aufteilung der für das Fallbeispiel des Wasserspenders geplanten Produktkomponentenänderungen gemäß der Cluster innerhalb der sequenzierten Beziehungs-DSM

Das Sequencing der Beziehungs-DSM wurde mit Hilfe der Software „LOOME“ durchgeführt. Die Software basiert laut Hersteller REDPOINT.TESEON AG auf der Methodik des Strukturellen Komplexitätsmanagement und ermöglicht u. a. die Analyse komplexer Systeme.

Neben den II- und SI-Komponenten wurden ebenfalls die beiden SE-Komponenten „Kühlkörper“ und „Isolation“ in die beiden Stages eingeplant. Hintergrund dieser Entscheidung war die Tatsache, dass mögliche emergierende Änderungen von den horizontalen Abhängigkeiten zwischen den Produktkomponenten ausgelöst werden. Zur Vermeidung Stage-übergreifender Iterationen wurden die beiden SE-Komponenten demzufolge in die Stages vorsorglich eingeplant. Für die Gates wurden folgende Entscheidungskriterien definiert:

- **Gate 1:** Die Stage 1 wird erst gestartet, wenn alle erforderlichen Prozessbausteine (auch die der Stage 2) ausreichend spezifiziert sind und die zur konstruktiven Umsetzung notwendigen Ressourcen zur Verfügung stehen.
- **Gate 2:** Die Stage 2 wird erst gestartet, wenn sämtliche Prozessbausteine der Stage 1 mit den geplanten Ressourcen erfolgreich umgesetzt wurden. Für den Fall, dass in Stage 1 mehr Ressourcen verbraucht wurden, als ursprünglich geplant, sind die fehlenden Ressourcen für Stage 2 vor dem Start bereitzustellen.
- **Gate 3:** Die Stage 3 wird erst gestartet, wenn sämtliche Prozessbausteine der Stage 2 mit den geplanten Ressourcen erfolgreich umgesetzt wurden.

Die Stage-Gate<sup>®</sup>-basierte Aufteilung der Prozessbausteine bildet den Abschluss der in diesem Abschnitt beschriebenen Anwendung des Lösungsansatzes am Beispiel des Wasserspenders.

### 5.3.3 Fazit und Schlussfolgerungen

Generell lässt sich festhalten, dass sowohl die Produktstrukturanpassung, inklusive der Prinzipien zur Entkopplung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten als auch die Umsetzungsplanung in einem theoretischen Kontext von den eingangs genannten Studenten angewendet und bestätigt werden konnten. Die Überprüfung der Anwendbarkeit im industriellen Kontext, vergleichbar dem Fallbeispiel des Kaffeefullautomaten, konnte aufgrund der fehlenden Unternehmenskooperation jedoch nicht geleistet werden. Die Studenten, als Anwender des Integrierten Vorgehens, waren keinerlei Zeit- und Erfolgsdruck ausgesetzt, wie das bei Unternehmen häufig zu beobachten ist. Aus diesem Grund sind weiterführende, über diese Arbeit hinausgehende, Fallbeispiele zu betrachten, um die Anwendbarkeit der Produktstrukturanpassung und der Umsetzungsplanung im industriellen Kontext zu bestätigen.

Es hat sich gezeigt, dass die Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten unter Berücksichtigung verschiedener Schnittstellenarten effektiv und effizient angewendet werden konnte. Die Effizienz lässt sich daran bemessen, dass die Studenten ihre Zeitpläne bei der Anwendung des Integrierten Vorgehens einhalten konnten. Die Ableitung erforderlicher Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung geplanter Produktstrukturanpassungen konnte gleichermaßen effektiv und effizient angewendet werden. Dabei hat sich laut Aussage der Studenten gezeigt, dass insbesondere die systematische Vorgehensweise des Integrierten Vorgehens eine zielgerichtete Bearbeitung der einzelnen Handlungsschritte erlaubt.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

*Die vorliegende Arbeit präsentiert ein integriertes Vorgehen zur systematischen Planung der Struktur eines bereits existierenden Massenproduktes, dessen Gestalt und Design von den Kunden eigenständig an individuelle Bedürfnisse angepasst werden kann. Das gesellschaftliche Streben nach Individualität, die zunehmende Globalisierung und die daraus resultierende Veränderung der Massenmärkte bilden dabei die Hauptmotivation. Dieses Kapitel fasst zunächst die wesentlichen Betrachtungen und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammen. Abschließend werden Potentiale für eine Weiterentwicklung des Integrierten Vorgehens sowie Folgeschritte für die Realisierung einer massenhaften Selbstindividualisierung, in Form eines Ausblicks aufgezeigt.*

### 6.1 Zusammenfassung

#### **Ausgangssituation, Problemstellung und bestehende Ansätze**

Die steigende Globalisierung und Produktivität führt zu gesättigten Märkten und Überangeboten, was wiederum eine gestärkte abnehmerseitige Verhandlungsposition zur Folge hat. Käufer stellen immer höhere Ansprüche an die Qualität, Funktionalität und Individualität eines Produktes. Diese wachsende Heterogenität der Kundenbedürfnisse führt unaufhaltsam zum Zerfall des Massenmarktes. Aus diesem Grund hat die Strategie der kundenindividuellen Massenproduktion seit den 1990er Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Das erklärte Ziel ist die Steigerung der kundenerlebbaren Varianz bei gleichzeitiger Reduzierung der unternehmensinternen Varianz. Realisiert wird dieses offensichtlich widersprüchliche Ziel durch die kundenindividuelle Konfiguration standardisierter Produktkomponenten. In Zeiten weiter voranschreitender Veränderungen von Gesellschaft und Absatzmärkten wird die vollständige Erfüllung von Kundenwünschen zukünftig einer der wichtigsten Wettbewerbsvorteile. Die Strategie der Selbstindividualisierung setzt auf diese Entwicklung. Im Gegensatz zur kundenindividuellen Massenproduktion können sich Kunden „frei“ durch einen definierten Lösungsraum bewegen und sind nicht mehr an eine eingeschränkte Variationsvielfalt gebunden.

Die Entwicklung selbstindividualisierbarer Produkte führt im Bereich der Produktentwicklung zu massiven Problemen. Dazu zählt die strukturierte Identifikation und Verarbeitung kundenseitiger Individualisierungsbedarfe sowie die Festlegung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten. Entscheidend ist dabei, neben dem Kundenwert der Individualisierung, auch die Berücksichtigung der Folgen aus Unternehmenssicht. Die Maximierung kundenseitiger Individualisierungsfreiheitsgrade, ohne negative Beeinträchtigung technischer und/oder strategischer Produktmerkmale, erfordert eine geeignete Produktstrukturierung.

Die Analyse des Standes der Forschung und Technik hat gezeigt, dass bislang lediglich isolierte Ansätze und Methoden in einzelnen Anwendungsbereichen existieren, die zur Lösung der beschriebenen Probleme beitragen können. Der Bedarf nach einem durchgängigen, integrierten Vorgehen zur Unterstützung einer selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung konnte bisher nicht befriedigt werden.

## **Lösungsansatz**

Das Integrierte Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung gliedert sich in fünf sequentielle Handlungsphasen. Eine individuelle Anpassung des Vorgehens ist möglich, insofern notwendige Zwischenergebnisse bereits vorliegen oder anderweitig akquiriert werden und die entsprechenden Handlungsphasen ausgespart werden können.

In den ersten beiden Handlungsphasen der Situations- und Kundenanalyse werden die Eingangsinformationen für die Auswahl der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten (Gegenstand der dritten Handlungsphase – Spannungsfeldanalyse) erhoben. Dies umfasst eine Analyse des Ausgangsproduktes sowie die Identifikation der kundenseitigen Individualisierungsbedarfe. Unter Berücksichtigung technischer und/oder produktstrategischer Merkmale wird anschließend das Individualisierungspotential quantitativ bestimmt und die selbstindividualisierbaren Produktkomponenten ausgewählt. In der vierten Handlungsphase (Produktstrukturanpassung) werden diese Produktkomponenten entkoppelt und damit die Voraussetzung für die Maximierung der kundenseitigen Individualisierungsfreiheitsgrade geschaffen. In der abschließenden fünften Handlungsphase (Umsetzungsplanung) werden die notwendigen Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung der geplanten Produktstrukturanpassung abgeleitet und entsprechend strukturiert, um ressourcenaufwendige Iterationen zu vermeiden.

Zur Unterstützung der Durchführung werden dem Produktentwickler für jede Handlungsphase geeignete Methoden und Hilfsmittel aufgezeigt. Die Gütekriterien sind dabei, neben der Transparenz und Nachvollziehbarkeit, die Möglichkeit einer softwarebasierten Umsetzung.

## **Mehrwert des Lösungsansatzes**

Gegenüber dem bisherigen Stand der Forschung und Technik führt das Integrierte Vorgehen erstmals etablierte Ansätze und Methoden zur systematischen Entwicklung selbstindividualisierbarer Produkte in einer durchgängigen Vorgehensweise zusammen.

Für sämtliche Entscheidungen innerhalb der frühen Phase der Produktstrukturplanung werden im Sinne eines integrierten Vorgehens alle relevanten Sichtweisen (Fertigung, Montage, Vertrieb etc.) mittels technischer und produktstrategischer Merkmale berücksichtigt. Darüber hinaus liefert das Vorgehen einen wertvollen Beitrag hinsichtlich der Reflexion, Einordnung und Abgrenzung von unternehmerischen Individualisierungsbestrebungen. Bisherige Ansätze und Methoden haben dies stets vermissen lassen und damit dem Produktentwickler einen, aus unternehmerischer Sicht, gefährlichen Interpretationsspielraum gelassen.

Aufgrund des aufgezeigten Mehrwerts gegenüber dem bisherigen Stand der Forschung und Technik sind Hersteller von Massenprodukten mit Hilfe des Integrierten Vorgehens in der Lage, die stark heterogenen Bedürfnisse ihrer Kunden zukünftig besser befriedigen zu können und damit einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil zu generieren.

## **Anwendung des Lösungsansatzes**

Im Rahmen des Forschungsprojektes InnoCyFer konnte die Anwendbarkeit der ersten vier Handlungsphasen des Integrierten Vorgehens im industriellen Kontext bestätigt werden. Das betrachtete Produkt war ein bereits kommerzialisierter Kaffeefullautomat der BSH Hausgeräte GmbH mit mehr als 200 Komponenten. Die selbstindividualisierungsgerechte

Produktstrukturplanung des Kaffeevollautomaten erfolgte gemeinsam mit den Mitarbeitern der verantwortlichen Entwicklungsabteilung und ist Ausgangspunkt für zukünftige Individualisierungsbestrebungen der BSH Hausgeräte GmbH. Insbesondere vor dem Hintergrund einer gesteigerten Produktkomplexität, wurde der Mehrwert des Integrierten Vorgehens von den Mitarbeitern der Entwicklungsabteilung hervorgehoben. Die vorgeschlagenen Methoden und Ansätze konnten die Durchführung der einzelnen Handlungsphasen zielgerichtet unterstützen. Damit konnte bestätigt werden, dass die Auswahl und Entkopplung der selbstindividualisierbaren Produktkomponenten, trotz einer Vielzahl zu berücksichtigender Schnittstellen und Produktmerkmale, konsistent und mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden kann.

Darüber hinaus konnte die Verwendung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zur effizienten Kundeneinbindung am Beispiel einer internetbasierten Interaktionsplattform demonstriert werden. Das Integrierte Vorgehen trägt dazu bei, Entwicklungsrisiken entscheidend zu minimieren, da die individuellen Kundenbedarfe bereits während der frühen Entwicklungsphase der Produktstrukturplanung berücksichtigt werden. Bisher unerschlossene Individualisierungspotentiale können damit systematisch identifiziert und in zukünftige Produkte integriert werden, so das Fazit der BSH Hausgeräte GmbH.

Durch die Betrachtung eines zweiten (theoretischen) Fallbeispiels konnte die Anwendbarkeit der fünften Handlungsphase des Integrierten Vorgehens bestätigt werden. Darüber hinaus konnte mit diesem Fallbeispiel gezeigt werden, dass die Anwendung des Integrierten Vorgehens auch für weniger komplexe Produkte zielführend und der zu erbringende Aufwand gerechtfertigt ist.

## 6.2 Ausblick

Ausgehend von den Schlussfolgerungen der Anwendung, lassen sich die folgenden Bedarfe für die Weiterentwicklung des Integrierten Vorgehens ableiten. Darüber hinaus werden abschließend weiterführende Forschungsaktivitäten für die Realisierung von Selbstindividualisierungen aufgezeigt.

### Weiterentwicklung des Lösungsansatzes

Für die zielgerichtete Durchführung des Integrierten Vorgehens sollte vorab stets eine kritische Reflexion der anstehenden Handlungsphasen und notwendigen Inhalte erfolgen, um die benötigten Experten frühzeitig zu identifizieren und in die Durchführung einbinden zu können. Damit können ungeplante, zeit- und ressourcenaufwendige Arbeitstreffen reduziert bzw. ganz und gar vermieden werden. Darüber hinaus lassen sich die erforderlichen Ressourcen aus Unternehmenssicht auf diese Weise zielgerichteter abschätzen und bereitstellen.

Die Analyse des Ausgangsproduktes im Rahmen der ersten Handlungsphase (Situationsanalyse) erfolgt bislang ausschließlich manuell. Das bedeutet, dass die horizontalen Beziehungen zwischen den Produktkomponenten zum gegenwärtigen Zeitpunkt manuell in die DSMs eingetragen werden müssen. Der Analyseaufwand ist damit insbesondere für komplexe, umfangreiche Produkte (größer 50 Komponenten) enorm und könnte durch eine automatische Ableitung der Beziehungen (z. B. auf Basis von Stücklisten oder CAD-Modellen) deutlich reduziert

werden. Das Ziel sollte darin bestehen, das Produktstrukturmodell des Ausgangsproduktes mit Hilfe einer geeigneten Softwarelösung automatisch zu erstellen.

In der zweiten Handlungsphase (Kundenanalyse) werden Kunden über eine internetbasierte Interaktionsplattform in die Erhebung der Individualisierungsbedarfe aktiv eingebunden. Insbesondere das Fallbeispiel des Kaffeevollautomaten hat gezeigt, dass eine konsequente Einschränkung der Eingabemöglichkeiten die anschließende, zweifelsfreie Ableitung der betroffenen Produktkomponenten erleichtert. Die im Rahmen dieser Arbeit beschriebenen Eingabekriterien sind daher zu überarbeiten, um eine gezieltere Einschränkung der Individualisierungsmöglichkeiten zu gewährleisten.

Die Ermittlung der Individualisierungspotentiale für die betroffenen Produktkomponenten erfordert die gewichtete Zuordnung verschiedener technischer und strategischer Merkmale sowie die abschließende Berechnung eines quantifizierten Gesamtwertes. Die beiden Fallbeispiele haben gezeigt, dass die Auswirkungen der unterschiedlichen Gewichtungen auf die Berechnung des Gesamtwertes für den Produktentwickler nicht transparent sind. Zur besseren Abschätzung der Auswirkungen sollte dem Produktentwickler übersichtlich dargestellt werden, welchen Einfluss die Gewichtungen auf den Gesamtwert einer Produktkomponente haben.

Im Rahmen der Umsetzungsplanung werden anhand des House of Processes u. a. die Abhängigkeiten zwischen den geplanten Produktstrukturanpassungen ermittelt. Auf Basis dieser Abhängigkeiten werden die erforderlichen Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung der Produktstrukturanpassungen in eine aufwandsoptimierte Reihenfolge gebracht. Für das Fallbeispiel des Wasserspenders waren die Abhängigkeiten so zahlreich, dass daraus keine Rückschlüsse auf signifikante Abhängigkeiten gezogen werden konnten. Es sollte daher untersucht werden, wie die Signifikanz der Abhängigkeiten deutlicher herausgestellt werden kann.

Weiterer Handlungsbedarf besteht in der Entwicklung einer geschlossenen, softwarebasierten Anwenderunterstützung. Denn insbesondere der Datentransfer zwischen verschiedenen Software-Tools<sup>49</sup> ist für umfangreiche, komplexe Produkte sowohl zeit- und ressourcenaufwendig als auch fehleranfällig.

### **Weiterführende Forschungsaktivitäten im Bereich der Selbstindividualisierung**

Bevor Kunden Produkte wie den Kaffeevollautomaten oder den Wasserspender selbstindividuell gestalten können, muss eine entsprechende Spezifikation des Toolkit-Lösungsraumes erfolgen (vgl. Abschnitt 1.3). Dieser Schritt ist der Produktstrukturplanung nachgelagert und beschreibt die notwendige Einschränkung der kundenseitigen Individualisierungsfreiräume. Diese können beispielsweise in Form von Zwangsbedingungen zwischen zwei Komponenten oder auch zwischen zwei Gestaltungsobjekten, wie beispielsweise Bohrungen, Radien oder Materialstärken definiert werden. Notwendig werden diese Einschränkungen aus verschiedenen Gründen. So müssen neben der Fertigbarkeit der individualisierten Komponenten, bestimmte Produkteigenschaften, wie beispielsweise die Stabilität oder die Funktionssicherheit trotz Individualisierung gewährleistet werden.

---

<sup>49</sup> Im Fall der vorliegenden Arbeit Microsoft Excel, Soley Studio und LOOME0 (vgl. Kapitel 4).

Aus Sicht des Autors ist eine solche Gewährleistung nur durch die Beschränkung der gestalterischen Freiräume und die Definition formaler Regeln möglich, die jeweils als feste Größen im Toolkit hinterlegt werden müssen. Notwendig werden derartige Beschränkungen, da Themen wie Funktions- und Produktsicherheit keinesfalls in die Verantwortung des Kunden übertragen werden dürfen. Eine Regel könnte beispielsweise lauten, dass die Wandstärke eines Bauteils automatisch vergrößert wird, wenn die geometrischen Abmessungen einen bestimmten Wert übersteigen. Damit kann gewährleistet werden, dass die individualisierten Komponenten nach wie vor ihren funktionalen Zweck erfüllen, der für Kunden mitunter nicht immer offensichtlich ist. Bisher fehlen geeignete Methoden zur systematischen Definition notwendiger Regeln und damit zur zielgerichteten Spezifikation des Toolkit-Lösungsraums.

Weitere Forschungsaktivitäten sind nach Ansicht des Autors im Bereich der Fertigung notwendig. Insbesondere vor dem Hintergrund einer wirtschaftlichen Selbstindividualisierung von Massenprodukten werden zukünftig hochflexible und vollautomatisierte Produktionssysteme benötigt (vgl. Abschnitt 2.1). Virtuelle Produktmodelle, die von Kunden mit Hilfe des Toolkits erstellt werden, müssen im Nachgang von den Unternehmen hergestellt und in den Produktionsprozess eingebunden werden. Das setzt voraus, dass die virtuellen Produktmodelle automatisch in entsprechende Fertigungspläne übersetzt und in die Produktion überführt werden. Daraus resultiert eine Vielzahl an Herausforderungen auf die jedoch an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden soll. Vielmehr soll dieser Ausblick weiterführende Forschungsaktivitäten anregen und dazu beitragen, dass die Selbstindividualisierung von Massenprodukten den Weg in die Umsetzung findet.

## 7. Literaturverzeichnis

AGRAWAL ET AL. 2001

Agrawal, M.; Kumaresh, T. V.; Mercer, G. A. (2001): The false promise of mass customization. In: McKinsey Quarterly 38 (3), S. 62–71.

AKAO 1990

Akao, Y. (1990): Quality Function Deployment - Integrating customer requirements into product design. Cambridge, Massachusetts, USA: Productivity Press.

ALEXANDER 1964

Alexander, C. (1964): Notes on the synthesis of form. Cambridge: Harvard University Press.

ALICKE 2003

Alicke, K. (2003): Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken - Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).

ALLEN 2006

Allen, T. T. (2006): Introduction to Engineering Statistics and Six Sigma - Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems. London: Springer.

ALLWEYER 2007

Allweyer, T. (2007): Geschäftsprozessmanagement - Strategie, Entwurf, Implementierung, Controlling. Herdecke: W3L-Verlag.

ALTSHULLER 1984

Altshuller, G. S. (1984): Creativity as an Exact Science - The Theory of the Solution of Inventive Problems. New York: Gordon and Breach Science Publishers.

ALTSHULLER ET AL. 1997

Altshuller, G. S.; Shulyak, L.; Rodman, S. et al. (1997): 40 Principles: TRIZ Keys to Innovation. Worcester, Massachusetts, USA: Technical Innovation Center.

ANDREASEN & HEIN 2000

Andreasen, M. M.; Hein, L. (2000): Integrated Product Development. Lundtofte.

ARIYO ET AL. 2006

Ariyo, O. O.; Eckert, C. M.; Clarkson, P. J. (2006): On the Use of Functions, Behaviour and Structural Relations as Cues for Engineering Change Prediction. In: D. Marjanovic (Hg.): Proceedings of the 9th International Design Conference. Dubrovnik, Croatia, 15.-18.05.2006, S. 773–781.

BADKE-SCHAUB & FRANKENBERGER 2004

Badke-Schaub, P.; Frankenberger, E. (2004): Management kritischer Situationen - Produktentwicklung erfolgreich gestalten. Berlin, Heidelberg: Springer.

**BALDWIN & CLARK 1995**

Baldwin, C. Y.; Clark, K. B. (1995): Sun Wars: Competition within a Modular Cluster (Working Paper). Cambridge, Massachusetts, USA: Harvard Business School.

**BAUER 2016**

Bauer, W. (2016): Planung und Entwicklung änderungsrobuster Plattformarchitekturen. München: Dr. Hut Verlag (Produktentwicklung).

**BAUMBERGER 2007**

Baumberger, G. C. (2007): Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten. München: Dr. Hut Verlag (Produktentwicklung).

**BELZ 2008**

Belz, C. (Hg.) (2008): Interaktives Marketing - Neue Wege zum Dialog mit Kunden. Wiesbaden: Gabler.

**BENDER & GERICKE 2016**

Bender, B.; Gericke, K. (2016): Entwicklungsprozesse. In: U. Lindemann (Hg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser.

**BEUMERS 1993**

Beumers, M. (1993): Qualitätsgerechte Produktgestaltung: Optimierung der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Fertigung mittels Qualitätsmerkmalsfokussierung. Aachen: Shaker.

**BEYERING 1987**

Beyering, L. (1987): Individual Marketing - Wege zum neuen Konsumenten. Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie.

**BICHLMAIER ET AL. 1999**

Bichlmaier, C.; Grunwald, S.; Lindemann, U.; Reinhart, G. (1999): PMM - Process Module Methodology for Integrated Design and Assembly Planning. In: ASME (Hg.): Proceedings of the Design Engineering Technical Conferences. Las Vegas, Nevada, USA, 12.-15.09.1999.

**BICHLMAIER 2000**

Bichlmaier, C. (2000): Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen. München: Utz (Produktentwicklung, Bd. 39).

**BLACKENFELT 2001**

Blackenfelt, M. (2001): Managing complexity by product modularisation - Balancing the aspects of technology and business during the design process. Stockholm, Sweden.

**BLEES 2011**

Blees, C. (2011): Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien. Hamburg: TuTech-Verl. (Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Bd. 3).

**BLESSING & CHAKRABARTI 2009**

Blessing, L. T. M.; Chakrabarti, A. (2009): DRM, a Design Research Methodology. Guildford, Surrey: Springer London.

## BRETSCHNEIDER 2009

Bretschneider, U. (2009): Motivation for Participation in Ideas Competitions: Empirical Insights from the SAPIens Case. In: H.-K. Arndt (Hg.): Very large business applications (VLBA). Aachen: Shaker (Magdeburger Schriften zur Wirtschaftsinformatik, 3).

## BROWNING 2001

Browning, T. R. (2001): Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. In: IEEE Trans. Eng. Manage. 48 (3), S. 292–306. DOI: 10.1109/17.946528.

## BROWNING &amp; RAMASESH 2007

Browning, T. R.; Ramasesh, R. V. (2007): A Survey of Activity Network-Based Process Models for Managing Product Development Projects. In: Production and Operations Management 16 (2), S. 217–240. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2007.tb00177.x.

## BURNS 1993

Burns, M. (1993): Automated fabrication: improving productivity in manufacturing. Englewood Cliffs, N.J.: PTR Prentice Hall.

## CARDIN 2014

Cardin, M.-A. (2014): Enabling Flexibility in Engineering Systems: A Taxonomy of Procedures and a Design Framework. In: Journal of Mechanical Design 136 (1), 011005-1 - 011005-14. DOI: 10.1115/1.4025704.

## CARNOY ET AL. 1993

Carnoy, M.; Castells, M.; Cohen, S. et al. (1993): The New Global Economy in the Information Age - Reflections on our Changing World: Pennsylvania State University Press.

## CASSIMAN &amp; VEUGELERS 2006

Cassiman, B.; Veugelers, R. (2006): In Search of Complementarity in Innovation Strategy: Internal R&D and External Knowledge Acquisition. In: Management Science 52 (1), S. 68–82.

## CLARKSON ET AL. 2001

Clarkson, P. J.; Simons, C.; Eckert, C. (2001): Predicting Change Propagation in Complex Design. In: ASME (Hg.): Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 09.-12.09.2001.

## COOPER 1990

Cooper, R. G. (1990): Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products. In: Business Horizons 33 (3), S. 44–54. DOI: 10.1016/0007-6813(90)90040-I.

## COOPER 2001

Cooper, R. G. (2001): Winning at new products - Accelerating the process from idea to launch. 3. Aufl. New York: Perseus.

## COOPER 2008

Cooper, R. G. (2008): Perspective: The Stage-Gate® Idea-to-Launch Process - Update, What's New, and NexGen Systems. In: *Journal of Product Innovation Management* 25 (3), S. 213–232. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2008.00296.x.

## COOPER 2009

Cooper, R. G. (2009): How Companies are Reinventing their Idea-to-Launch Methodologies. In: *Research Technology Management* 52 (2), S. 47–57.

## CORSTEN &amp; WILL 1995

Corsten, H.; Will, T. (1995): Simultaneität von Kostenführerschaft und Differenzierung durch neuere Produktionskonzepte. In: H. Corsten (Hg.): *Produktion als Wettbewerbsfaktor. Beiträge zur Wettbewerbs- und Produktionsstrategie*. Wiesbaden: Gabler, S. 235–249.

## DAENZER &amp; HUBER 1999

Daenzer, W. F.; Huber, F. (1999): *Systems Engineering: Methodik und Praxis*. 10. Aufl. Zürich: Verl. Industrielle Organisation.

## DANILOVIC &amp; SIGEMYR 2003

Danilovic, M.; Sigemyr, T. (2003): Multiplan - A new Multi-dimensional DSM-tool. In: P. J. Clarkson (Hg.): *Proceedings of the 5th Design Structure Matrix Workshop*. Cambridge, UK, 22.-23.10.2003.

## DAVIS 1987

Davis, S. M. (1987): *Future Perfect*. Reading, Massachusetts, USA: Addison-Wesley Publishing.

## DELLANOI 2006

Dellanoi, R. (2006): *Kommunalitäten bei der Entwicklung variantenreicher Produktfamilien*. Bamberg: Difo-Druck GmbH.

## DIENER &amp; PILLER 2010

Diener, K.; Piller, F. T. (2010): *Methoden und Dienstleister für die OI-Implementation*. In: S. Ili (Hg.): *Open Innovation umsetzen. Prozesse, Methoden, Systeme, Kultur*. Düsseldorf: Symposion Publishing.

## DIETL 1993

Dietl, H. M. (1993): *Institutionen und Zeit*. Tübingen: J.C.B. Mohr (Einheit der Gesellschaftswissenschaften, Bd. 79).

## DÖRNER 1999

Dörner, D. (1999): *Bauplan für eine Seele*. Reinbek b. Hamburg: Rowohlt.

## DURAY ET AL. 2000

Duray, R.; Ward, P. T.; Milligan, G.; Berry, W. (2000): Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. In: *Journal of Operations Management* 18, S. 605–625.

## ECKERT ET AL. 2004

Eckert, C. M.; Clarkson, P. J.; Zanker, W. (2004): Change and customisation in complex engineering domains. In: *Research in Engineering Design* 15 (1), S. 1–21. DOI: 10.1007/s00163-003-0031-7.

## EHRENSPIEL &amp; MEERKAMM 2013

Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H. (2013): *Integrierte Produktentwicklung - Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 5. Aufl. München: Hanser.

## EISENBART ET AL. 2011

Eisenbart, B.; Gericke, K.; Blessing, L. T. M. (2011): A Framework for Comparing Design Modelling Approaches Across Disciplines. In: S. J. Culley, B. J. Hicks, T. C. McAlone, T. J. Howard und A. Dong (Hg.): *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11). Impacting Society through Engineering Design*. Copenhagen, Denmark, 15.-19.08.2011, S. 344–355.

## EPPINGER ET AL. 1994

Eppinger, S. D.; Whitney, D. E.; Smith, R. P.; Gebala, D. A. (1994): A Model-Based Method for Organizing Tasks in Product Development. In: *Research in Engineering Design* 6 (1), S. 1–13. DOI: 10.1007/BF01588087.

## ERIXON 1998

Erixon, G. (1998): *Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation (Dissertation)*. Stockholm, Sweden.

## FARID &amp; SUH 2016

Farid, A. M.; Suh, N. P. (2016): *Axiomatic Design in Large Systems - Complex Products, Buildings and Manufacturing Systems*: Springer International Publishing.

## FAVARO 2008

Favaro, C. (2008): Application of Axiomatic Design to Develop a Lean Logistics Design Methodology. In: M. Mitsuishi, K. Ueda und F. Kimura (Hg.): *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, May 26-28, 2008, Tokyo, Japan*. London: Springer, S. 163–168.

## FELDHUSEN ET AL. 2013a

Feldhusen, J.; Grote, K.-H.; Kochan, D.; Beyer, C.; Vajna, S.; Lashin, G. et al. (2013): Die PEP-begleitenden Prozesse. In: J. Feldhusen und K.-H. Grote (Hg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 25–236.

## FELDHUSEN ET AL. 2013b

Feldhusen, J.; Grote, K.-H.; Neudörfer, A. (2013): Grundregeln der Gestaltung. In: J. Feldhusen und K.-H. Grote (Hg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 493–538.

## FELDHUSEN ET AL. 2013c

Feldhusen, J.; Grote, K.-H.; Göpfert, J.; Tretow, G. (2013): Technische Systeme. In: J. Feldhusen und K.-H. Grote (Hg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 237–279.

## FELDHUSEN ET AL. 2013d

Feldhusen, J.; Grote, K.-H.; Nagarajah, A.; Pahl, G.; Beitz, W.; Wartzack, S. (2013): Vorgehen bei einzelnen Schritten des Produktentstehungsprozesses. In: J. Feldhusen und K.-H. Grote (Hg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 291–410.

## FELDHUSEN &amp; GROTE 2013a

Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (2013): Der Produktentstehungsprozess (PEP). In: J. Feldhusen und K.-H. Grote (Hg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 11–24.

## FELDHUSEN &amp; GROTE 2013b

Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hg.) (2013): Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

## FERGUSON ET AL. 2007

Ferguson, S.; Siddiqi, A.; Lewis, K.; Weck, O. L. de (2007): Flexible and Reconfigurable Systems: Nomenclature and Review. In: ASME (Hg.): Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Las Vegas, USA, 04.-07.09.2007, S. 249–263.

## FIEGE 2009

Fiege, R. (2009): Axiomatic Design - Eine Methode zur serviceorientierten Modellierung. Wiesbaden: Gabler.

## FLANAGAN ET AL. 2003

Flanagan, T. L.; Eckert, C. M.; Eger, T.; Smith, J.; Clarkson, P. J. (2003): A Functional Analysis of Change Propagation. In: A. Folkesson, K. Gralen, M. Norell und U. Sellgren (Hg.): Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design (ICED 03). Stockholm, Sweden, 19.-21.08.2003.

## FLECK 1995

Fleck, A. (1995): Hybride Wettbewerbsstrategien. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

## FRICKE ET AL. 2000

Fricke, E.; Gebhard, B.; Negele, H.; Igenbergs, E. (2000): Coping with changes: Causes, findings, and strategies. In: Systems Engineering 3 (4), S. 169–179. DOI: 10.1002/1520-6858(2000)3:4<169::AID-SYS1>3.0.CO;2-W.

## FRICKE &amp; SCHULZ 2005

Fricke, E.; Schulz, A. P. (2005): Design for Changeability (DfC): Principles to Enable Changes in Systems Throughout Their Entire Lifecycle (8). In: Systems Engineering (4), S. 342–359.

## GAUSEMEIER &amp; RIEPE 2000

Gausemeier, J.; Riepe, B. (2000): Modulare Produktstrukturen - Komplexitätsbeherrschung in den frühen Phasen der Produktentwicklung. In: Industrie-Management: Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse (5), S. 54–58.

## GEBHARDT ET AL. 2016

Gebhardt, N.; Kruse, M.; Krause, D. (2016): Gleichteile-, Modul- und Plattformstrategie. In: U. Lindemann (Hg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser, S. 111–150.

## GELL-MANN 1994

Gell-Mann, M. (1994): Das Quark und der Jaguar - Vom Einfachen zum Komplexen - die Suche nach einer neuen Erklärung der Welt. München: Piper.

## GERNANDT ET AL. 2014

Gernandt, J.; Hild, R.; Koldau, A.; Lutz, M.; Uhlig, A.; Heuer, A. et al. (2014): Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau - Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren.

## GIFFIN ET AL. 2009

Giffin, M.; Weck, O. de; Bounova, G.; Keller, R.; Eckert, C.; Clarkson, P. J. (2009): Change Propagation Analysis in Complex Technical Systems. In: Journal of Mechanical Design 131 (8), S. 81001. DOI: 10.1115/1.3149847.

## GILLE 2013

Gille, C. (2013): Gestaltung von Produktänderungen im Kontext hybrider Produkte. Wiesbaden: Springer Gabler.

## GILMORE &amp; PINE 1997

Gilmore, J. H.; Pine, B. J. (1997): The Four Faces of Mass Customization. In: Harvard Business Review, S. 91–101.

## GÖPFERT 2009

Göpfert, J. (2009): Modulare Produktentwicklung - Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation; Theorie, Methodik, Gestaltung. 2. Aufl. Norderstedt: Books on Demand (ID-Consult Wissen für die Praxis).

## GRANDE 2011

Grande, M. (2011): 100 Minuten für Anforderungsmanagement - Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

## GRÄBLER 2004

Gräßler, I. (2004): Kundenindividuelle Massenproduktion - Entwicklung, Vorbereitung der Herstellung, Veränderungsmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer.

## GRIFFIN &amp; HAUSER 1993

Griffin, A.; Hauser, J. R. (1993): The Voice of the Customer. In: *Journal Marketing Science* 12 (1), S. 1–27. DOI: 10.1287/mksc.12.1.1.

## GRUNWALD 2002

Grunwald, S. (2002): *Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung*. München: Herbert Utz Verlag (Forschungsberichte iwv, 159).

## GU &amp; SOSALE 1999

Gu, P.; Sosale, S. (1999): Product modularization for life cycle engineering. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 15 (5), S. 387–401. DOI: 10.1016/S0736-5845(99)00049-6.

## HAGE &amp; POWERS 1992

Hage, J.; Powers, C. H. (1992): *Post-Industrial Lives - Roles and Relationships in the 21st Century*. Newbury Park, California, USA: Sage Publications.

## HAMRAZ ET AL. 2013

Hamraz, B.; Caldwell, N. M.; Clarkson, P. J. (2013): A Holistic Categorization Framework for Literature on Engineering Change Management. In: *Systems Engineering* 16 (4), S. 473–505. DOI: 10.1002/sys.21244.

## HARS &amp; OU 2002

Hars, A.; Ou, S. (2002): Working for Free? Motivations for Participating in Open-Source Projects (Volume 6 Issue 3). In: *International Journal of Electronic Commerce* (Number 3), S. 25–39.

## HAUBELT ET AL. 2002

Haubelt, C.; Teich, J.; Richter, K.; Ernst, R. (2002): System design for flexibility. In: IEEE (Hg.): *Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe*. Paris, Frankreich, 04.-08.03.2002. Washington, DC: IEEE Computer Society, S. 854–861.

## HERMANN &amp; FLORY 1995

Hermanns, A.; Flory, M. (1995): Typologisierung der Wertschöpfungsstufen im Investitionsgütermarketing (65). In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, S. 49–67.

## HERTEL ET AL. 2003

Hertel, G.; Niedner, S.; Herrmann, S. (2003): Motivation of software developers in Open Source projects: an Internet-based survey of contributors to the Linux kernel. In: *Research Policy* 32 (7), S. 1159–1177. DOI: 10.1016/S0048-7333(03)00047-7.

## HILDEBRAND 1997

Hildebrand, V. G. (1997): *Individualisierung als strategische Option der Marktbearbeitung - Determinanten und Erfolgswirkungen kundenindividueller Marketingkonzepte*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

## HILLER 1997

Hiller, F. (1997): Ein Konzept zur Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung (FBK produktionstechnische Berichte, 28).

## HIPPEL 1994

Hippel, E. von (1994): Sticky information and the locus of problem solving (40). In: *Management Science* (4), S. 429–439.

## HOLLE ET AL. 2014a

Holle, M.; Roth, M.; Guertler, M. R.; Lindemann, U. (2014): From Customer Innovations to Manufactured Products: A Project Outlook. In: *International Journal of Social, Management, Economics and Business Engineering* 8 (4), S. 1078–1082.

## HOLLE ET AL. 2014b

Holle, M.; Du Maire, M. N.; Lindemann, U. (2014): Motivation of External Open Innovation Partners. In: E. Koh (Hg.): *Proceedings of the International Conference on Advanced Design Research and Education (ICADRE)*. Singapore, 16.-18.07.2014, S. 150–155.

## HOLLE ET AL. 2015a

Holle, M.; Gonnermann, C.; Lindemann, U. (2015): Customer Individual Product Development – Assessment of Individualization Potential. In: Huizingh E., S. Conn und I. Bitran (Hg.): *Proceedings of the 2015 ISPIM Innovation Summit*. Brisbane, Australia, 06.-09.12.2015.

## HOLLE ET AL. 2015b

Holle, M.; Maisenbacher, S.; Lindemann, U. (2015): Design for Open Innovation – Individualization-Oriented Product Architecture Planning. In: IEEE (Hg.): *Proceedings of the 9th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*. Vancouver, British Columbia, Canada, 13.-16.04.2016. Piscataway, NJ: IEEE, S. 397–402.

## HOLLE ET AL. 2016a

Holle, M.; Straub, I.; Roth, M.; Lindemann, U. (2016): Customer Individual Product Development – Methodology for Product Architecture Modification. In: IEEE (Hg.): *Proceedings of the 10th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*. Orlando, Florida, USA, 18.-21.04.2016. Piscataway, NJ: IEEE, S. 744–749.

## HOLLE ET AL. 2016b

Holle, M.; Elsesser, L.; Schuhmacher, M.; Lindemann, U. (2016): How to Motivate External Open Innovation-Partners: Identifying Suitable Measures. In: D. F. Kocaoglu (Hg.): *Proceedings of the Portland International Conference on Management of Technology (PICMET)*. Technology Management for Social Innovation. Honolulu, Hawaii, USA, 04.-08.09.2016, S. 902–913.

## HOLLE &amp; LINDEMANN 2014

Holle, M.; Lindemann, U. (2014): Design for Open Innovation (DfOI) – Product Structure Planning for Open Innovation Toolkits. In: IEEE (Hg.): *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Selangor, Malaysia, 09.-12.12.2014. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management; IEEM. Piscataway, NJ: IEEE, S. 536–540.

**HOMBURG & DAUM 1997**

Homburg, C.; Daum, D. (1997): Wege aus der Komplexitätsfalle. In: Zeitschrift wirtschaftliche Fertigung (ZWF) (7/8), S. 333–337.

**HUANG 1996**

Huang, G. Q. (Hg.) (1996): Design for X. London: Chapman & Hall.

**HUANG & KUSIAK 1998**

Huang, C.-C.; Kusiak, A. (1998): Modularity in Design of Products and Systems. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans 28 (6). DOI: 10.1109/TSMCA.1998.725358.

**HUBKA 1984**

Hubka, V. (1984): Theorie technischer Systeme - Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

**INNOCYFER 2016**

InnoCyFer - Forschungsprojekt: Integrierte Gestaltung und Herstellung kundeninnovierter Produkte in Cyber-Physischen Fertigungssystemen. Abschlussbericht (2016). Technische Universität München.

**INNOCYFER 2017**

InnoCyFer - Internetseite (2017). <https://www.innocyfer.de>.

**JARRATT ET AL. 2011**

Jarratt, T. A. W.; Eckert, C. M.; Caldwell, N. H. M.; Clarkson, P. J. (2011): Engineering change: an overview and perspective on the literature. In: Research in Engineering Design 22 (2), S. 103–124. DOI: 10.1007/s00163-010-0097-y.

**JOSE & TOLLENAERE 2005**

Jose, A.; Tollenaere, M. (2005): Modular and platform methods for product family design - Literature analysis. In: Journal of Intelligent Manufacturing 16 (3), S. 371–390. DOI: 10.1007/s10845-005-7030-7.

**JUNG 2006**

Jung, C. (2006): Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung. Dissertation. München: Dr. Hut Verlag (Produktentwicklung).

**KALUZA 1996**

Kaluza, B. (1996): Dynamische Produktdifferenzierungsstrategie und moderne Produktionssysteme. In: H. Wildemann (Hg.): Produktions- und Zuliefernetzwerke. München, 28.-29.09.1995. München: TCW, Transfer-Centrum, S. 191–234.

**KEESE ET AL. 2006**

Keese, D. A.; Takawale, N. P.; Seepersad, C. C.; Wood, K. L. (2006): An Enhanced Change Modes and Effects Analysis (CMEA) Tool for Measuring Product Flexibility with Applications to Consumer Products. In: ASME (Hg.): Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Philadelphia, Pennsylvania, USA, 10.-13.09.2006, S. 873–888.

## KEESE ET AL. 2007

Keese, D. A.; Tilstra, A. H.; Seepersad, C. C.; Wood, K. L. (2007): Empirically-Derived Principles for Designing Products with Flexibility for Future Evolution. In: ASME (Hg.): Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Las Vegas, USA, 04.-07.09.2007, S. 483–498.

## KLABUNDE 2003

Klabunde, S. (2003): Wissensmanagement in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung - Best-Practice-Modelle zum Management von Meta-Wissen. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

## KOEPPEN 2008

Koeppen, B. (2008): Modularisierung komplexer Produkte anhand technischer und betriebswirtschaftlicher Komponentenkopplungen. Aachen: Shaker.

## KOLLER 1976

Koller, R. (1976): Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

## KOLLER 1994

Koller, R. (1994): Konstruktionslehre für den Maschinenbau - Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

## KOPPENHAGEN 2004

Kopenhagen, F. (2004): Systematische Ableitung modularer Produktarchitekturen - Komplexitätsreduzierung in der Konzeptphase. Aachen: Shaker (Berichte aus der Konstruktionstechnik).

## KRAUSE &amp; RIPPERDA 2013

Krause, D.; Ripperda, S. (2013): An Assessment of Methodical Approaches to Support the Development of Modular Product Families. In: U. Lindemann, S. Venkataraman, Y. S. Kim, S. W. Lee, P. Papalambros und W. Chen (Hg.): Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED 13). Design for Harmonies. Seoul, Korea, 19.-22.08.2013.

## KUSIAK 1999

Kusiak, A. (1999): Engineering Design - Products, Processes, and Systems. San Diego, Calif., USA: Academic Press.

## KUSIAK 2000

Kusiak, A. (2000): Computational Intelligence in Design and Manufacturing. New York: John Wiley & Sons.

## KUSIAK ET AL. 2006

Kusiak, A.; Tang, C.-Y.; Song, Z. (2006): Identification of Modules with an Interface Structure Matrix. Working Paper ISL\_04/2006. Iowa City, Iowa, USA.

**KUSIAK & PARK 1990**

Kusiak, A.; Park, K. (1990): Concurrent engineering: decomposition and scheduling of design activities. In: *International Journal of Production Research* 28 (10), S. 1883–1900. DOI: 10.1080/00207549008942841.

**KUSIAK & SZCZERBICKI 1993**

Kusiak, A.; Szczerbicki, E. (1993): Transformation from Conceptual to Embodiment Design. In: *IIE Transactions*, Vol 25 (4), S. 6–12. DOI: 10.1080/07408179308964299.

**KUSIAK & WANG 1993**

Kusiak, A.; Wang, J. (1993): Efficient organizing of design activities. In: *International Journal of Production Research* 31 (4), S. 753–769.

**LAKHANI & HIPPEL 2003**

Lakhani, K. R.; Hippel, E. von (2003): How open source software works: "free" user-to-user assistance. In: *Research Policy* 32 (6), S. 923–943. DOI: 10.1016/S0048-7333(02)00095-1.

**LAKHANI & WOLF 2005**

Lakhani, K. R.; Wolf, R. G. (2005): Why Hackers Do What They Do: Understanding Motivation and Effort in Free/Open Source Software Projects. In: J. Feller (Hg.): *Perspectives on free and open source software*. Unter Mitarbeit von F. Brian, A. H. Scott und K. R. Lakhani. Cambridge, Massachusetts, USA: MIT Press.

**LANGE 1998**

Lange, M. W. (1998): CONCAD Bridging: Managing the Integration of Technical Solutions in a Modularize Product Concept. In: J.-L. Batoz (Hg.): *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering '98*. Proceedings of the 2nd IDMMME Conference held in Compiègne. Compiègne, France, 27-29, 27.-29.05.1998. Dordrecht: Springer, S. 521–528.

**LANGER 2016**

Langer, S. (2016): *Änderungsmanagement*. In: U. Lindemann (Hg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München: Hanser, S. 513–540.

**LANNER & MALMQVIST 1996**

Lanner, P.; Malmqvist, J. (1996): An Approach Towards Considering Technical and Economic Aspects in Product Architecture Design. In: M. Tichem (Hg.): *Proceedings of the 2nd WDK Workshop on Product Structuring*. Delft, Netherlands, 03.-04.06.1996: Delft University of Technology, S. 173–179.

**LEWIN 1946**

Lewin, K. (1946): Action research and minority problems (2). In: *Journal of Social Issues* (4), S. 43–46.

**LINDEMANN ET AL. 2003**

Lindemann, U.; Baumberger, C.; Freyer, B.; Gahr, A.; Ponn, J.; Pulm, U. (2003): Entwicklung individualisierter Produkte. In: G. Reinhart und M. F. Zäh (Hg.): *Marktchance Individualisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 13–30.

## LINDEMANN ET AL. 2006

Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. et al. (2006): Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).

## LINDEMANN 2007

Lindemann, U. (2007): A Vision to Overcome "Chaotic" Design for X Processes in early Phases. In: Proceedings of the International Conference on engineering Design (ICED). Paris, France.

## LINDEMANN 2009

Lindemann, U. (2009): Methodische Entwicklung technischer Produkte - Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).

## LINDEMANN ET AL. 2009

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T. et al. (2009): Structural complexity management - An approach for the field of product design. Berlin, Heidelberg: Springer.

## LINDEMANN &amp; REICHWALD 1998

Lindemann, U.; Reichwald, R. (1998): Integriertes Änderungsmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer.

## LUCZAK &amp; FRICKER 1997

Luczak, H.; Fricker, A. (1997): Komplexitätsmanagement - ein Mittel der strategischen Unternehmensgestaltung. In: G. Schuh und H.-P. Wiendahl (Hg.): Komplexität und Agilität. Steckt die Produktion in der Sackgasse? Berlin, Heidelberg: Springer, S. 309–324.

## LÜTHJE 2000

Lüthje, C. (2000): Kundenorientierung im Innovationsprozess - Eine Untersuchung der Kunden-Hersteller-Interaktion in Konsumgütermärkten. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag (Wirtschaftswissenschaft, 33).

## MA ET AL. 2003

Ma, S.; Lu, W. F.; Zhu, C. F. (2003): A Knowledge-Supported System for Engineering Change Impact Analysis. In: ASME (Hg.): Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Chicago, Illinois, USA, 02.-06.09.2003.

## MAFFIN 1998

Maffin, D. (1998): Engineering Design Models: context, theory and practice. In: Journal of Engineering Design 9 (4), S. 315–327. DOI: 10.1080/095448298261462.

## MARCA &amp; MCGOWAN 1987

Marca, D.; McGowan, C. L. (1987): SADT - Structured Analysis and Design Technique. New York: McGraw-Hill.

**MARTIN & ISHII 2002**

Martin, M. V.; Ishii, K. (2002): Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. In: *Research in Engineering Design* (13), S. 213–235.

**MAYER 1993**

Mayer, R. (1993): *Strategien erfolgreicher Produktgestaltung - Individualisierung und Standardisierung*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

**MCCLELLAND ET AL. 1989**

McClelland, D. C.; Koestner, R.; Weinberger, J. (1989): How do self-attributed and implicit motives differ? In: *Psychological Review* 96 (4), S. 690–702. DOI: 10.1037/0033-295X.96.4.690.

**MCMAHON 1994**

McMahon, C. A. (1994): Observations on Modes of Incremental Change in Design. In: *Journal of Engineering Design* 5 (3), S. 195–209. DOI: 10.1080/09544829408907883.

**MEFFERT ET AL. 2015**

Meffert, H.; Burmann, C.; Kirchgeorg, M. et al. (2015): *Marketing - Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung*. 12. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag.

**MEIER ET AL. 2007**

Meier, C.; Yassine, A. A.; Browning, T. R. (2007): Design Process Sequencing With Competent Genetic Algorithms. In: *Journal of Mechanical Design* 129 (6), S. 566. DOI: 10.1115/1.2717224.

**MERTENS 1995**

Mertens, P. (1995): Mass Customization (Massen-Maßfertigung). In: *Wirtschaftsinformatik* 37 (5), S. 503–506.

**MUFFATTO & ROVEDA 2002**

Muffatto, M.; Roveda, M. (2002): Product architecture and platforms: a conceptual framework. In: *International Journal of Technology Management* 24 (1), S. 1–16. DOI: 10.1504/IJTM.2002.003040.

**MÜLLER 1990**

Müller, J. (1990): *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften - Systematik, Heuristik, Kreativität*. Berlin, Heidelberg: Springer.

**NEFIODOW 2007**

Nefiodow, L. A. (2007): *Der sechste Kondratieff - Wege zur Produktivität und Vollbeschäftigung im Zeitalter der Information*. 6. Aufl. Sankt Augustin: Rhein-Sieg Verlag.

**NEWCOMB ET AL. 1998**

Newcomb, P. J.; Bras, B.; Rosen, D. W. (1998): Implications of Modularity on Product Design for the Life Cycle. In: *Journal of Mechanical Design*, Vol. 120 (3), S. 483–490. DOI: 10.1115/1.2829177.

## NIKE 2016

Nike, Retail (2016): Internetseite "Nike Store". [http://www.nike.com/de/de\\_de/c/nikeid](http://www.nike.com/de/de_de/c/nikeid) (URL abgerufen am 23.10.2016).

## OLLINGER &amp; STAHOVICH 2001

Ollinger, G. A.; Stahovich, T. F. (2001): RedesignIT – A Constraint-Based Tool for Managing Design Changes. In: ASME (Hg.): Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 09.-12.09.2001.

## ORLOFF 2006

Orloff, M. A. (2006): Grundlagen der klassischen TRIZ - Ein praktisches Lehrbuch des erfinderischen Denkens für Ingenieure. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI).

## PAHL ET AL. 2013

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (2013): Gestaltungsprinzipien. In: J. Feldhusen und K.-H. Grote (Hg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 539–582.

## PAHL &amp; BEITZ 1974

Pahl, G.; Beitz, W. (1974): Baukastenkonstruktionen. In: Konstruktion 26 (4), S. 153–160.

## PAHL &amp; BEITZ 1977

Pahl, G.; Beitz, W. (1977): Konstruktionslehre - Handbuch für Studium und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer.

## PAHL &amp; BEITZ 1997

Pahl, G.; Beitz, W. (1997): Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

## PALANI RAJAN ET AL. 2003

Palani Rajan, P. K.; van Wie, M.; Campbell, M.; Otto, K.; Wood, K. (2003): Design for Flexibility - Measures and Guidelines. In: A. Folkesson, K. Gralen, M. Norell und U. Sellgren (Hg.): Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design (ICED 03). Stockholm, Sweden, 19.-21.08.2003.

## PALANI RAJAN ET AL. 2005

Palani Rajan, P. K.; van Wie, M.; Campbell, M. I.; Wood, K. L.; Otto, K. N. (2005): An empirical foundation for product flexibility. In: Design Studies 26 (4), S. 405–438. DOI: 10.1016/j.destud.2004.09.007.

## PATZAK 1982

Patzak, G. (1982): Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

## PFEIFFER &amp; WEISS 1990

Pfeiffer, W.; Weiss, E. (Hg.) (1990): Technologie-Management: Philosophie, Methodik, Erfahrungen. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

## PICOT ET AL. 1997

Picot, A.; Dietl, H.; Franck, E. et al. (1997): Organisation - Eine ökonomische Perspektive. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

## PICOT ET AL. 2003

Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R. T. et al. (2003): Die grenzenlose Unternehmung - Information, Organisation und Management. 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler.

## PILLER 2002

Piller, F. T. (2002): Mass Customization. In: S. Albers und A. Herrmann (Hg.): Handbuch Produktmanagement. Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler, S. 930–955.

## PILLER 2006

Piller, F. T. (2006): Mass Customization - Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. 4. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

## PIMMLER &amp; EPPINGER 1994

Pimmler, T. U.; Eppinger, S. D. (1994): Integration Analysis of Product Decompositions. In: T. K. Hight und F. M. Mistree (Hg.): Proceedings of the 6th Design Theory and Methodology Conference. Minneapolis, MN, USA, S. 343–351.

## PINE 1993

Pine, B. J. (1993): Mass Customization. In: Harvard Business School Press.

## PINE 1999

Pine, B. J. (1999): Mass customization - The new frontier in business competition. Boston, Massachusetts, USA: Harvard Business School; McGraw-Hill.

## PONN &amp; LINDEMANN 2011

Ponn, J.; Lindemann, U. (2011): Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte - Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

## PORTER 1998

Porter, M. E. (1998): Competitive Strategy - Techniques for Analyzing Industries and Competitors. New York, USA: The Free Press.

## PROBST &amp; GOMEZ 1991

Probst, G.; Gomez, P. (1991): Vernetztes Denken: Ganzheitliches Führen in der Praxis. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler.

## QURESHI ET AL. 2006

Qureshi, A.; Murphy, J. T.; Kuchinsky, B.; Seepersad, C. C.; Wood, K. L.; Jensen, D. D. (2006): Principles of Product Flexibility. In: ASME (Hg.): Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Philadelphia, Pennsylvania, USA, 10.-13.09.2006, S. 295–325.

## RECHBERG 1997

Rechberg, U. von (1997): Systemgestützte Kostenschätzung - Eine Controlling-Perspektive. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, Gabler.

## REICHWALD &amp; PILLER 2009

Reichwald, R.; Piller, F. T. (2009): Interaktive Wertschöpfung - Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.

## REINHART ET AL. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J. et al. (1996): Qualitätsmanagement - Ein Kurs für Studium und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer.

## REIB 1993

Reiß, M. (1993): Komplexitätsmanagement. In: Das Wirtschaftsstudium (22), S. 54–60.

## REIB &amp; BECK 1995

Reiß, M.; Beck, T. (1995): Maßgeschneiderte Massenproduktion. In: REFA-Nachrichten 48 (4), S. 12–18.

## RICHTER 1984

Richter, W. (1984): Gliedern eines Projekts. In: Konstruktion (36), S. 488–490.

## RICHTER ET AL. 2015

Richter, A.; Heinrich, P.; Stocker, A.; Unzeitig, W. (2015): Der Mensch im Mittelpunkt der Fabrik von morgen. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 52 (5), S. 690–712. DOI: 10.1365/s40702-015-0173-x.

## RODENACKER 1991

Rodenacker, W. G. (1991): Methodisches Konstruieren: Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

## ROELOFSEN 2011

Roelofsen, J. M. K. (2011): Situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen. München: Dr. Hut Verlag.

## ROTH 1982

Roth, K. (1982): Konstruieren mit Konstruktionskatalogen - Systematisierung und zweckmäßige Aufbereitung technischer Sachverhalte für das methodische Konstruieren. Berlin, Heidelberg: Springer.

## ROTH 2000

Roth, K. (2000): Konstruieren mit Konstruktionskatalogen - Band 1: Konstruktionslehre. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

## ROTH ET AL. 2016

Roth, M.; Ulrich, C. M.; Holle, M.; Lindemann, U. (2016): The Impact of User-Driven Customization on the Development Process. In: Proceedings of the 14th International Design Conference. Dubrovnik, Croatia.

## SAATWEBER 2007

Saatweber, J. (2007): Kundenorientierung durch Quality Function Deployment: Systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen. 2. Aufl. Düsseldorf: Symposium Publishing.

## SALEH ET AL. 2002

Saleh, J. H.; Marais, K. S.; Hastings, D. E.; Newman, D. J. (2002): The Case for Flexibility in System Design. In: INCOSE International Symposium 12 (1), S. 1049–1061. DOI: 10.1002/j.2334-5837.2002.tb02572.x.

## SCHENK ET AL. 2014

Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E. (Hg.) (2014): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Berlin, Heidelberg: Springer.

## SCHMID 2015

Schmid, M. (Hg.) (2015): Additive Fertigung mit Selektivem Lasersintern (SLS). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

## SCHNÄBELE 1997

Schnäbele, P. (1997): Mass Customized Marketing - Effiziente Individualisierung von Vermarktungsobjekten und -prozessen. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

## SCHODER 1999

Schoder, D. (1999): Nutzen des Electronic Commerce aus Unternehmenssicht — Eine faktorenanalytische Untersuchung. In: M. Nüttgens und A.-W. Scheer (Hg.): Electronic Business Engineering. Heidelberg: Physica-Verlag HD, S. 97–112.

## SCHOENEBERG 2014

Schoeneberg, K.-P. (2014): Komplexität – Einführung in die Komplexitätsforschung und Herausforderungen für die Praxis. In: K.-P. Schoeneberg (Hg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen. Wiesbaden: Gabler, S. 13–27.

## SCHUH 2005

Schuh, G. (2005): Produktkomplexität managen - Strategien - Methoden - Tools. 2. Aufl. München, Wien: Hanser.

## SCHUH 2013

Schuh, G. (2013): Lean Innovation. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch).

## SCHUH &amp; BENDER 2012

Schuh, G.; Bender, D. (2012): Grundlagen des Innovationsmanagements. In: G. Schuh (Hg.): Handbuch Produktion und Management. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 1–16.

## SCHUMANN 1994

Schumann, G. (1994): Adaptive Planung des Produktentwicklungsprozesses. München: Hanser (Produktionstechnik, 146).

## SCHWANKL 2002

Schwankl, L. (2002): Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung. München: Dr. Hut Verlag.

## SHARMAN &amp; YASSINE 2004

Sharman, D. M.; Yassine, A. A. (2004): Characterizing Complex Product Architectures. In: *Systems Engineering* 7 (1), S. 35–60. DOI: 10.1002/sys.10056.

## SIMON 1962

Simon, H. A. (1962): The Architecture of Complexity. In: *Proceedings of the American Philosophical Society* 106 (6), S. 467–482.

## SIMON 1988

Simon, H. (1988): Management strategischer Wettbewerbsvorteile. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 58 (4), S. 461–480.

## SMITH &amp; RUPP 2003

Smith, A. D.; Rupp, W. T. (2003): Information Management Leveraging in the Case of E-Folios - Mass Customization Approaches in an E-Commerce Environment. In: *Services Marketing Quarterly* 25 (1), S. 47–74. DOI: 10.1300/J396v25n01\_04.

## SPATH ET AL. 2013

Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S. et al. (2013): *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0 - Studie*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

## STAKE 2000

Stake, R. B. (2000): On conceptual development of modular products: development of supporting tools. Stockholm.

## STEFFEN 2007

Steffen, D. (2007): Ein Verfahren zur Produktstrukturierung für fortgeschrittene mechatronische Systeme. Paderborn (Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, 208).

## STEWARD 1981

Steward, D. V. (1981a): *Systems Analysis and Management: Structure, Strategy, and Design*. New York: PBI.

## STEWARD 1981

Steward, D. V. (1981b): The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems. In: *IEEE Transactions on Engineering Management* EM-28 (3), S. 71–74. DOI: 10.1109/TEM.1981.6448589.

## STÖCKL ET AL. 2008

Stöckl, R.; Rohrmeier, P.; Hess, T. (2008): Why Customers Produce User Generated Content. In: B. H. Hass, W. Gianfranco und K. Thomas (Hg.): *Web 2.0. Neue Perspektiven für Marketing und Medien*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 271–288.

## STONE 1997

Stone, R. B. (1997): *Towards a Theory of Modular Design*. Austin, Texas, USA.

## SUH 2001

Suh, N. P. (2001): *Axiomatic Design - Advances and Applications*. New York: Oxford University Press (MIT-Pappalardo Series in Mechanical Engineering).

## SZINOVATZ &amp; MÜLLER 2014

Szinovatz, A.; Müller, C. (2014): Management der Komplexität im Innovationsprozess: Vom Stage-Gate-Modell zum Survival-of-the-Fittest-Modell. In: K.-P. Schoeneberg (Hg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen. Wiesbaden: Gabler, S. 93–112.

## TANG ET AL. 2000

Tang, D.; Zheng, L.; Li, Z.; Li, D.; Zhang, S. (2000): Re-engineering of the design process for concurrent engineering. In: Computers & Industrial Engineering 38 (4), S. 479–491. DOI: 10.1016/S0360-8352(00)00059-0.

## THIEBES &amp; PLANKERT 2014

Thiebes, F.; Plankert, N. (2014): Umgang mit Komplexität in der Produktentwicklung – Komplexitätsbeherrschung durch Variantenmanagement. In: K.-P. Schoeneberg (Hg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen. Wiesbaden: Gabler, S. 165–185.

## TOFFLER 1970

Toffler, A. (1970): Future Shock. Colongy/Geneva: Orbit Publ.

## UHLMANN 2003

Uhlmann, E. (2003): Wandel der Fabrik durch Produktindividualisierung. In: G. Reinhart und M. F. Zäh (Hg.): Marktchance Individualisierung. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 118–127.

## ULLAH 2005

Ullah, A. M. (2005): Handling design perceptions: an axiomatic design perspective. In: Research in Engineering Design 16 (3), S. 109–117. DOI: 10.1007/s00163-005-0002-2.

## ULRICH 1995

Ulrich, K. (1995): The role of product architecture in the manufacturing firm. In: Research Policy (24), S. 419–440.

## ULRICH &amp; EPPINGER 2011

Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D. (2011): Product Design and Development. 5. Aufl. Boston: McGraw-Hill.

## ULRICH &amp; TUNG 1991

Ulrich, K.; Tung, K. (1991): Fundamentals of Product Modularity. In: Issues in Design Manufacture/Integration 39, S. 73–79.

## VDI 1993

VDI, Verein Deutscher Ingenieure (1993): Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI-Richtlinie 2221). Berlin: Beuth Verlag GmbH.

## VDI 2004

VDI, Verein Deutscher Ingenieure (2004): Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme (VDI-Richtlinie 2206). Berlin: Beuth Verlag GmbH.

## WALCHER 2007

Walcher, D. (2007): Der Ideenwettbewerb als Methode der aktiven Kundenintegration. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag (Gabler Edition Wissenschaft).

## WALCHER 2009

Walcher, D. (2009): Vom Ideenwettbewerb zum externen Vorschlagswesen – Internet-basierte Integration von Kunden in den Innovationsprozess bei adidas. In: K. Gelbrich und R. Souren (Hg.): Kundenintegration und Kundenbindung. Wiesbaden: Gabler (Gabler-Edition Wissenschaft), S. 19–30.

## WALLER ET AL. 2000

Waller, M. A.; Dabholkar, P. A.; Gentry, J. (2000): Postponement, product customization, and market-oriented supply chain management. In: *Journal of Business Logistics* 21 (2), S. 133–160.

## WARFIELD 1973

Warfield, J. N. (1973): Binary Matrices in System Modeling. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 3 (5), S. 441–449. DOI: 10.1109/TSMC.1973.4309270.

## WARNECKE &amp; HÜSER 1995

Warnecke, H. J.; Hüser, M. (1995): Selbstorganisation im Produktionsbetrieb. In: *Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (ZWF)* (1/2), S. 12–16.

## WEIL &amp; KETTLER 1971

Weil, R. L.; Kettler, P. C. (1971): Rearranging Matrices to Block-Angular form for Decomposition (And Other) Algorithms. In: *Management Science* 18 (1), S. 98–108. DOI: 10.1287/mnsc.18.1.98.

## WENGER 2013

Wenger, J. E. (2013): Gewinngestaltung bei innovationswettbewerben. Wiesbaden: Springer Gabler.

## WESTBROOK &amp; WILLIAMSON 1993

Westbrook, R.; Williamson, P. (1993): Mass customization: Japan's new frontier. In: *European Management Journal* 11 (1), S. 38–45. DOI: 10.1016/0263-2373(93)90022-A.

## WESTKÄMPER 1997

Westkämper, E. (1997): Null-Fehler-Produktion in Prozessketten - Maßnahmen zur Fehlervermeidung und -kompensation. Berlin, Heidelberg: Springer.

## WHITFIELD ET AL. 2002

Whitfield, R. I.; Smith, J. S.; Duffy, A. B. (2002): Identifying Component Modules. In: J. S. Gero (Hg.): *Artificial Intelligence in Design '02*. Dordrecht: Springer Netherlands, S. 571–592.

## WILDEMANN 2004

Wildemann, H. (2004): Kundenorientierte Produktentwicklung in der Automobilindustrie. In: E. J. Schwarz, U. Altenburg und H. Strebel (Hg.): *Nachhaltiges Innovationsmanagement*. Wiesbaden: Gabler, S. 383–408.

## WILDEMANN 2014

Wildemann, H. (2014): Modularisierung in Organisation, Produkten, Produktion und Service. München: TCW, Transfer-Zentrum (TCW-Report, 66).

## WRIGHT 1997

Wright, I. C. (1997): A review of research into engineering change management: implications for product design. In: *Design Studies* 18 (1), S. 33–42. DOI: 10.1016/S0142-694X(96)00029-4.

## WU ET AL. 2012

Wu, Zhiqiang; Cheng, Xianfu; Yuan, Junping (2012): Applying Axiomatic Design Theory to the Multi-objective Optimization of Disk Brake. In: D. Li und Y. Chen (Hg.): *Computer and Computing Technologies in Agriculture V*, Bd. 370. Berlin, Heidelberg: Springer (IFIP Advances in Information and Communication Technology), S. 62–73.

## YASSINE 2004

Yassine, A. A. (2004): An Introduction to Modeling and Analyzing Complex Product Development Processes Using the Design Structure Matrix (DSM) Method Urbana (51), S. 1–17.

## YU ET AL. 2007

Yu, T.-L.; Yassine, A. A.; Goldberg, D. E. (2007): An information theoretic method for developing modular architectures using genetic algorithms. In: *Research in Engineering Design* 18 (2), S. 91–109. DOI: 10.1007/s00163-007-0030-1.

## ZÄH 2003

Zäh, M. F. (2003): Rapid Manufacturing – Strategie für die wirtschaftliche Kleinserienherstellung. In: G. Reinhart und M. F. Zäh (Hg.): *Marktchance Individualisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 234–249.

## ZAMIROWSKI &amp; OTTO 1999

Zamirowski, E. J.; Otto, K. N. (1999): Identifying Product Portfolio Architecture Modularity Using Function and Variety Heuristics. In: ASME (Hg.): *Proceedings of the Design Engineering Technical Conferences*. Las Vegas, Nevada, USA, 12.-15.09.1999, S. 187–197.

## ZÄPFEL 1996

Zäpfel, G. (1996): Auftragsgetriebene Produktion zur Bewältigung der Nachfrageunsicherheit. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 66 (7), S. 861–877.

## 8. Anhang

### 8.1 Lösungsansatz

In den nachfolgenden Abschnitten werden Grundlagen für die Entwicklung des Lösungsansatzes dargestellt, die aufgrund ihres Umfangs in Kapitel 4 nicht dargestellt werden.

#### 8.1.1 Softwarebasierte Lösungen zur Modellierung und Analyse von Produktstrukturen

In diesem Abschnitt sind die Quellcodes der softwarebasierten Lösungen (Workflows) zur automatischen Modellierung und Analyse von Produktstrukturen dargestellt, die mit Hilfe der Entwicklungsumgebung „Soley Studio“ generiert wurden. Diese Workflows unterstützen die Durchführung der Produktstrukturanalyse (Teil der Situationsanalyse – vgl. Abschnitt 4.3.2) sowie die Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten (Teil der Produktstrukturanpassung – vgl. Abschnitt 4.6.1).

#### Quellcode zum Workflow „Datenimport\_Gesamt“

```
/*
```

```
Created with Soley Studio Personal
```

```
User: Benedikt Gehring
```

```
Date: 02.05.2016
```

```
Time: 02:46
```

Die Sequenz „Datenimport\_Gesamt“ führt alle Sequenzen unterhalb des Querstrichs nacheinander aus. Datenquelle ist die Datei "Datenimport\_Vorlage" im Ordner "Data", welche der in Abschnitt 4.3.2 beschriebenen Datenstruktur entsprechend muss. Importiert werden: alle Nodes inklusive ihrer Attribute (Komponenten, Baugruppen, Module) sowie alle Edges (Berührung, Energiefluss, Materialfluss, Änderungspfade).

```
*/
```

```
sequence DatenimportGesamt{importierealleNodes|importierealleEdges}
```

```
//
```

```
// Import aller Nodes (Komponenten, Baugruppen, Module) inklusive ihrer Attribute
```

```
sequence importierealleNodes{
```

```
  ImportNodeListAttrMapping(
```

```
    "../..//Data//Datenimport_Vorlage.xlsx", 2, 1, -1, 9, "Nodes gesamt", "", map<int, string>{
```

```
      2 -> "IntNr",
```

```
      3 -> "KompID",
```

```
      4 -> "Bezeichnung",
```

```
      5 -> "Typ",
```

```
      6 -> "Parent",
```

```
      7 -> "IndPot",
```

```

    8 -> "KundenPrio",
    9 -> "AenderungWsGes"
  }
)
}

```

// Diese Sequenz bündelt die Rules für den Edge-Import und führt diese in der angegebenen Reihenfolge automatisch aus.

**sequence** importierealleEdges

```
{importiereBeruehrungsEdges|importiereEnergieflussEdges|importiereStoffflussEdges|importiereAenderungspfade}
```

// Import der Berührungs-Edges aus der entsprechenden DSM der Datei "Datenimport\_Vorlage" im Ordner "Data".

**sequence** importiereBeruehrungsEdges{

/\*

Parameters:

```

  FILE_NAME : string,
  FIRST_ROW : int,
  FIRST_COLUMN : int,
  LAST_ROW : int,
  LAST_COLUMN : int,
  TABLE_NAME : string,
  SEPARATOR : string,
  ONLY_FIRST_EDGE : boolean,
  EDGE_CLASS : string,
  SRC_N_CLASS : string,
  SRC_ATTR : string,
  TRG_N_CLASS : string,
  TRG_ATTR : string.

```

\*/

```

ImportTypedFixedAdjMatrix ("../../Data/Datenimport_Vorlage.xlsx", 1, 1, -1, -1, "Beruehrung", "", false, "Beruehrung", "Komponente", "IntNr", "Komponente", "IntNr")
}

```

// Import der Energiefluss-Edges aus der entsprechenden DSM der Datei "Datenimport\_Vorlage" im Ordner "Data".

**sequence** importiereEnergieflussEdges{

/\*

Parameters:

```
FILE_NAME : string,
FIRST_ROW : int,
FIRST_COLUMN : int,
LAST_ROW : int,
LAST_COLUMN : int,
TABLE_NAME : string,
SEPARATOR : string,
ONLY_FIRST_EDGE : boolean,
EDGE_CLASS : string,
SRC_N_CLASS : string,
SRC_ATTR : string,
TRG_N_CLASS : string,
TRG_ATTR : string.
*/

ImportTypedFixedAdjMatrix ("../../Data/Datenimport_Vorlage.xlsx", 1, 1, -1, -1, "Energiefluss", "", false, "Energiefluss", "Komponente", "IntNr", "Komponente", "IntNr")

// Import der Stofffluss-Edges aus der entsprechenden DSM der Datei "Datenimport_Vorlage"
im Ordner "Data".

sequence importiereStoffflussEdges{

/*
Parameters:
FILE_NAME : string,
FIRST_ROW : int,
FIRST_COLUMN : int,
LAST_ROW : int,
LAST_COLUMN : int,
TABLE_NAME : string,
SEPARATOR : string,
ONLY_FIRST_EDGE : boolean,
EDGE_CLASS : string,
SRC_N_CLASS : string,
SRC_ATTR : string,
TRG_N_CLASS : string,
TRG_ATTR : string.
*/

ImportTypedFixedAdjMatrix ("../../Data/Datenimport_Vorlage.xlsx", 1, 1, -1, -1,
"Stofffluss", "", false, "Stofffluss", "Komponente", "IntNr", "Komponente", "IntNr")

// Import der Änderungspfad-Edges aus der entsprechenden DSM der Datei "Datenim-
port_Vorlage" im Ordner "Data".
```

```
sequence importiereAenderungspfade{
```

```
/*
```

```
Parameters:
```

```
    FILE_NAME : string,
    FIRST_ROW : int,
    FIRST_COLUMN : int,
    LAST_ROW : int,
    LAST_COLUMN : int,
    TABLE_NAME : string,
    SEPARATOR : string,
    ONLY_FIRST_EDGE : boolean,
    EDGE_CLASS : string,
    SRC_N_CLASS : string,
    SRC_ATTR : string,
    TRG_N_CLASS : string,
    TRG_ATTR : string,
    ATTR : string.
```

```
*/
```

```
ImportTypedFixedAttributedAdjMatrix("../..//Data//Datenimport_Vorlage.xlsx", 1, 1, -1, -1,
"Aenderungspfade", "", false, "Aenderungspfad", "Komponente", "IntNr", "Komponente",
"IntNr", "AusbrWs")}
```

### **Quellcode zum Workflow „Bilde\_Hierarchie“**

```
/*
```

```
Created with Soley Studio Personal
```

```
User: Benedikt Gehring
```

```
Date: 03.05.2016
```

```
Time: 00:36
```

Diese Sequenz führt die folgenden Rules in der angegebenen Reihenfolge automatisch aus und generiert damit die graphbasierte, hierarchische Darstellung der Produktstruktur, bestehend aus Komponenten, Baugruppen und Modulen.

```
*/
```

```
sequence bildeHierarchieModBGKomp{
[bildeBGbeinhaltetKomp][[bildeModulbeinhaltetKomp][[bildeModulbeinhaltetBG]]}
```

```
/* Die Rule „bildeBGbeinhaltetKomp“ identifiziert die übergeordnete Baugruppe einer Komponente und generiert im Graph automatisch eine entsprechende „Beinhaltet-Edge“ zwischen dieser Komponente und der identifizierten Baugruppe.
```

```
*/
```

```

rule bildeBGbeinhaltetKomp{
  baugruppe:Baugruppe;
  komponente:Komponente;
  if{komponente.Parent==baugruppe.IntNr;}
    modify{baugruppe-:beinhaltet->komponente;}
}

```

```

/*

```

Die Rule „bildeModulbeinhaltetKomp“ identifiziert das übergeordnete Modul einer Komponente und generiert im Graph automatisch eine entsprechende „Beinhaltet-Edge“ zwischen dieser Komponente und dem identifizierten Modul.

```

*/

```

```

rule bildeModulbeinhaltetKomp{
  modul:Modul;
  komponente:Komponente;
  if{komponente.Parent==modul.IntNr;}
    modify{modul-:beinhaltet->komponente;}
}

```

```

/*

```

Die Rule „bildeModulbeinhaltetKomp“ identifiziert das übergeordnete Modul einer Baugruppe und generiert im Graph automatisch eine entsprechende „Beinhaltet-Edge“ zwischen dieser Baugruppe und dem identifizierten Modul.

```

*/

```

```

rule bildeModulbeinhaltetBG{
  modul:Modul;
  baugruppe:Baugruppe;
  if{baugruppe.Parent==modul.IntNr;}
    modify{modul-:beinhaltet->baugruppe;}
}

```

### Quellcode zum Workflow „FaerbenKompTyp“

```

/*

```

Created with Soley Studio Personal

User: Benedikt Gehring

Date: 27.04.2016

Time: 18:40

```

*/

```

```

sequence faerbenKompTyp{[faerbenTyp]}

```

```
/*
```

Die Rule „faerbenTyp“ färbt die Komponenten in Abhängigkeit ihres Typs wie folgt ein:

- Typ IW --> Die Komponente wird blau gefärbt. Der Blauton wird in Abhängigkeit des Parameters KPrio (Kundenpriorität) gewählt. Hierfür wird die Funktion „faerbenTypIW“ aufgerufen
- Typ ST --> Orange
- Typ N --> Hellgrau

```
*/
```

```
rule faerbenTyp{
komponente:Komponente;
  modify{
  eval{
  switch(komponente.Typ){

  case "IW"{
  def var KPrio:double =komponente.KundenPrio;
  komponente.Farbe=faerbenTypIW(KPrio);
  }

  case "ST"{
  komponente.Farbe="#FFFFC000";
  }

  case "N" {
  komponente.Farbe="#FFD8D8D8";
  }}}
  }
}
```

```
/*
```

Die Function „faerbenTypIW“ legt die Farbe der Komponenten vom Typ „IW“ in Abhängigkeit des Parameters „KPrio“ (Kundenpriorität) fest. Je dunkler der Blauton, desto höher die Kundenpriorität der Komponente.

```
*/
```

```
function faerbenTypIW (var KPrio: double):string{
  if (KPrio<2.0){
  return ("#FFEEF8FC");
  }

  else if (KPrio<=2.0 && KPrio<4.0){
  return ("#FFCEEDFB");
  }

  else if (KPrio<=4.0 && KPrio<6.0){
  return ("#FFADCAFE");
  }
}
```

```
else if (KPrio<=6.0 && KPrio<8.0){
return ("#FF7FABFA");
}

else if (KPrio<=8.0 && KPrio<10.0){
return ("#FF3F84FE");
}

else if (KPrio<=10.0 && KPrio<12.0){
return ("#FF1861E1");
}

else if (KPrio<=12.0 && KPrio<14.0){
return ("#FF1C4AB0");
}

else if (KPrio<=14.0 && KPrio<16.0){
return ("#FF0B3886");
}

else if (KPrio<=16.0 && KPrio<18.0){
return ("#FF082659");
}

else if (KPrio<=18.0 && KPrio<20.0){
return ("#FF051634");
}

else if (KPrio>=20.0){
return ("#FF020A19");
}

else {emit ("KundenPriorität nicht erkannt");
return ("Fehler");
}
}
```

### Quellcode zum Workflow „Identifiziere\_Nachbarn\_und\_Absorber“

/\*

Created with Soley Studio Personal

User: Benedikt Gehring

Date: 12.05.2016

Time: 13:19

Diese Sequenz führt die nachfolgend dargestellten Rules in der angegebenen Reihenfolge automatisch aus.

\*/

```
sequence identifiziereNachbarnundAbsorber{
[findedirekteNachbarnvonIW]}
```

```
[findeNachbarnmitStoffflussEdges][findeNachbarnmitStoffflussEdges2]|
[findeNachbarnmitEnergieflussEdges][findeNachbarnmitEnergieflussEdges2]|
[identifizierepotenzielleAbsorber][faerberestlicheOutlinesschwarz]|
[passelW SchriftFarbe an][faerbeBeruehrungsNachbarkantenrot]|
[faerbeEnergieflussNachbarkantenrot]|
[faerbeEnergieflussNachbarkantenrot2][faerbeStoffflussNachbarkantenrot]|
[faerbeStoffflussNachbarkantenrot2}]
```

```
/*
```

Die Rule „findedirekteNachbarnvonIW“ identifiziert alle Komponenten vom Typ „N“, die zu einer Komponente vom Typ „IW“ eine Berührungs-Edge aufweisen. Die identifizierten Komponenten werden mit einer roten Formkontur und einer roten Schriftfarbe im Graph visuell hervorgehoben.

```
*/
```

```
rule findedirekteNachbarnvonIW{
komponente1:Komponente-:Beruehrung- komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="IW"&& komponente2.Typ=="N";}

  modify{
    eval{
      komponente2.outlineFarbe="#FFFF0000";
      komponente2.LabelFontFarbe="#FFFF0000";
      komponente2.outlineDicke=3;}
  }
}
```

```
/*
```

Die Rule „findeNachbarnmitStoffflussEdges“ identifiziert alle Komponenten vom Typ „N“, die zu einer Komponente vom Typ „IW“ eine Stofffluss-Edge besitzen. Die relevante Richtung der Edge ist „IW“ zu „N“. Die identifizierten Komponenten werden mit einer roten Formkontur und einer roten Schriftfarbe im Graph visuell hervorgehoben.

```
*/
```

```
rule findeNachbarnmitStoffflussEdges{
komponente1:Komponente-:Stofffluss->komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="IW"&& komponente2.Typ=="N";}

  modify{
    eval{
      komponente2.outlineFarbe="#FFFF0000";
      komponente2.LabelFontFarbe="#FFFF0000";
      komponente2.outlineDicke=3;
    }
  }
}
```

}

/\*

Die Rule „findeNachbarnmitStoffflussEdges2“ identifiziert alle Komponenten vom Typ „N“, die zu einer Komponente vom Typ „IW“ eine Stofffluss-Edge aufweisen. Die relevante Richtung der Edge ist „N“ zu „IW“. Die identifizierten Komponenten werden mit einer roten Formkontur und einer roten Schriftfarbe im Graph visuell hervorgehoben.

\*/

```
rule findeNachbarnmitStoffflussEdges2{
komponente1:Komponente-:Stofffluss->komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="N"&& komponente2.Typ=="IW";}
  modify{
    eval{
      komponente1.outlineFarbe="#FFFF0000";
      komponente1.LabelFontFarbe="#FFFF0000";
      komponente1.outlineDicke=3;
    }
  }
}
```

/\*

Die Rule „findeNachbarnmitEnergieflussEdges“ identifiziert alle Komponenten vom Typ „N“, die zu einer Komponente vom Typ „IW“ eine Energiefluss-Edge aufweisen. Die relevante Richtung der Edge ist „IW“ zu „N“. Die identifizierten Komponenten werden mit einer roten Formkontur und einer roten Schriftfarbe im Graph visuell hervorgehoben.

\*/

```
rule findeNachbarnmitEnergieflussEdges{
komponente1:Komponente-:Energiefluss->komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="IW"&& komponente2.Typ=="N";}
  modify{
    eval{
      komponente2.outlineFarbe="#FFFF0000";
      komponente2.LabelFontFarbe="#FFFF0000";
      komponente2.outlineDicke=3;
    }
  }
}
```

/\*

Die Rule „findeNachbarnmitEnergieflussEdges2“ identifiziert alle Komponenten vom Typ „N“, die zu einer Komponente vom Typ „IW“ eine Energiefluss-Edge aufweisen. Die relevante Richtung der Edge ist „N“ zu „IW“. Die identifizierten Komponenten werden mit einer

roten Formkontur und einer roten Schriftfarbe im Graph visuell hervorgehoben.

\*/

```
rule findeNachbarnmitEnergieflussEdges2{
komponente1:Komponente->Energiefluss->komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="N"&& komponente2.Typ=="IW";}
  modify{
    eval{
      komponente1.outlineFarbe="#FFFF0000";
      komponente1.LabelFontFarbe="#FFFF0000";
      komponente1.outlineDicke=3;
    }
  }
}
```

/\*

Die Rule „faerbeBeruehrungsNachbarkantenrot“ identifiziert alle Berührungskanten einer „IW“-Komponente zu den verbundenen „N“-Komponenten und hebt diese im Graph durch eine rote Formkontur visuell hervor.

\*/

```
rule faerbeBeruehrungsNachbarkantenrot{
komponente1:Komponente-BeruehrungKantezuIWNachbar:Beruehrung-komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="IW"&& komponente2.Typ=="N";}
  modify{
    eval{
      BeruehrungKantezuIWNachbar.outlineFarbeKante="#FFFF0000";
      BeruehrungKantezuIWNachbar.LabelFontFarbeKante="#FFFF0000";
    }
  }
}
```

/\*

Die Rule „faerbeEnergieflussNachbarkantenrot“ identifiziert alle Energiefluss-Edges zwischen „IW“- und „N“-Komponenten (relevante Richtung: „IW“ zu „N“) und hebt diese im Graph durch eine rote Formkontur visuell hervor.

\*/

```
rule faerbeEnergieflussNachbarkantenrot{
komponente1:Komponente-EnergieflussKantezuIWNachbar:Energiefluss->
komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="IW" && komponente2.Typ=="N";}
}
```

```

modify{
  eval{
    EnergieflussKantezuIWNachbar.outlineFarbeKante="#FFFF0000";
    EnergieflussKantezuIWNachbar.LabelFontFarbeKante="#FFFF0000";
  }
}

```

```
/*
```

Die Rule „faerbeEnergieflussNachbarkantenrot“ identifiziert alle Energiefluss-Edges zwischen „IW“- und „N“-Komponenten (relevante Richtung: „N“ zu „IW“) und hebt diese im Graph durch eine rote Formkontur visuell hervor.

```
*/
```

```

rule faerbeEnergieflussNachbarkantenrot2{
komponente1:Komponente -EnergieflussKantezuIWNachbar2:Energiefluss->
komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="N" && komponente2.Typ=="IW";}

```

```

  modify{
    eval{
      EnergieflussKantezuIWNachbar2.outlineFarbeKante="#FFFF0000";
      EnergieflussKantezuIWNachbar2.LabelFontFarbeKante="#FFFF0000";
    }
  }
}

```

```
/*
```

Die Rule „faerbeStoffflussNachbarkantenrot“ identifiziert alle Stofffluss-Edges zwischen „IW“- und „N“-Komponenten (relevante Richtung: „IW“ zu „N“) und hebt diese im Graph durch eine rote Formkontur visuell hervor.

```
*/
```

```

rule faerbeStoffflussNachbarkantenrot{
komponente1:Komponente-StoffflussKantezuIWNachbar:Stofffluss->komponente2:
Komponente;

```

```

if{komponente1.Typ=="IW" && komponente2.Typ=="N";}
  modify{
    eval{
      StoffflussKantezuIWNachbar.outlineFarbeKante="#FFFF0000";
      StoffflussKantezuIWNachbar.LabelFontFarbeKante="#FFFF0000";
    }
  }
}

```

```

}
/*
identifiziert alle Stofffluss-Edges zwischen „IW“- und „N“-Komponenten (relevante Richtung: „N“ zu „IW“) und hebt diese im Graph durch eine rote Formkontur visuell hervor.
*/

rule faerbeStoffflussNachbarkantenrot2{
komponente1:Komponente-StoffflussKantezuIWNachbar2:Stofffluss->
komponente2:Komponente;
if{komponente1.Typ=="N" && komponente2.Typ=="IW";}
  modify{
    eval{
      StoffflussKantezuIWNachbar2.outlineFarbeKante="#FFFF0000";
      StoffflussKantezuIWNachbar2.LabelFontFarbeKante="#FFFF0000";
    }
  }
}
/*
Diese Rule sucht in Abhängigkeit des Komponententyps das folgende Muster im Graph [IW]-[N]-[N]. Die mittlere N-Komponente wird als potenzieller Absorber deklariert und wird mit einer grünen Formkontur und einer grünen Schriftfarbe im Graph visuell hervorgehoben.
*/

rule identifizierepotenzielleAbsorber{
komponente1:Komponente-:Beruehrung- komponente2:Komponente-:Beruehrung-komponente3:Komponente;
if{komponente1.Typ=="IW" && komponente2.Typ=="N" && komponente3.Typ=="N";}
  modify{
    eval{
      komponente2.outlineFarbe="#FF00B050";
      komponente2.LabelFontFarbe="#FF00B050";
      komponente2.outlineDicke=5;
    }
  }
}
/*
Die Rule „faerberestlicheOutlinesschwarz“ definiert die Schrift- und Konturrahmenfarbe alle Komponenten-Nodes, die weder Nachbar einer „IW“-Komponente noch Absorber sind.
*/

rule faerberestlicheOutlinesschwarz{
komponente:Komponente;

```

```
if{komponente.outlineFarbe=="";}
```

```
  modify{
```

```
    eval{
```

```
      komponente.outlineFarbe="#FF000000";
```

```
      komponente.LabelFontFarbe="#FF000000";
```

```
      komponente.outlineDicke=2;
```

```
    }
```

```
  }
```

```
}
```

```
/*
```

Diese Rule setzt für die Komponenten vom Typ „IW“, welche infolge hoher Kundenpriorität ( $\geq 10$ ) dunkelblau gefärbt sind, die Schriftfarbe Weiß (Variable LabelFontFarbe).

```
*/
```

```
rule passeIWSchriftFarbean{
```

```
komponente:Komponente;
```

```
if{komponente.Typ=="IW" && komponente.KundenPrio $\geq$ 10;}
```

```
  modify{
```

```
    eval{
```

```
      komponente.outlineFarbe="#FF000000";
```

```
      komponente.LabelFontFarbe="#FFFFFFF";
```

```
      komponente.outlineDicke=2;
```

```
    }
```

```
  }
```

```
}
```

## 8.1.2 Ergebnis der Bewertung existierender Flexibilitätsprinzipien

In Tabelle 8-1 und Tabelle 8-2 sind die existierenden Flexibilitätsprinzipien verschiedener Autoren hinsichtlich ihrer Eignung für die Entwicklung des Lösungsansatzes bewertet.

Tabelle 8-1: Ergebnisse der Bewertung existierender Flexibilitätsprinzipien hinsichtlich ihrer Eignung für das Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturanpassung (Teil 1 von 2)

Erläuterung der Flexibilitätsprinzipien	Quelle	Bewertungskriterien		
		Produktstruktur als fokussierte Handlungsebene	Anpassung existierender Produkt-komponenten	Anpassung der Schnittstellen
[1] Verwendung separater Module zur Ausführung verschiedenartiger Funktionen	KEESE ET AL. 2007 QURESHI ET AL. 2006	X	X	X
[2] Begrenzung von Funktionen auf einzelne Module		X	X	X
[3] Begrenzung von Funktionen auf so wenig Komponenten wie möglich		X		X
[4] Aufteilung von Modulen in identische kleinere Module		X	X	
[5] Zusammenfassung von Komponenten in einem Modul, für die zukünftig keine Änderungen zu erwarten sind		X	X	X
[6] Zusammenfassung von Komponenten in einem Modul, die Funktionen der gleichen Energie-Domäne ausführen		X	X	X
[7] Zuordnung von Funktionen zu einem Modul oder einer Komponente, wenn die Funktionen eng verwandt sind		X	X	X
[8] Weitgehende Verwendung identischer Komponenten ohne die Anzahl der Komponenten zu erhöhen			X	
[9] Generierung von zusätzlichem Bauraum an der Außenseite des Produktes, um interne Module herum und um Komponenten, die eine Nutzerschnittstelle besitzen			X	
[10] Bereitstellung freier Schnittstellen sowie umfangreiche, frei zugängliche Oberflächen für neue Schnittstellen		X	X	X
[12] Erweiterung des verfügbaren Bauraums für die Übertragungskomponenten des Produktes			X	
[13] Anordnung der Komponenten mit zu erwartenden Änderungen in der Nähe der Außenseite des Produktes			X	X
[14] Standardisierung oder Reduzierung der Anzahl unterschiedlicher Verbinder zwischen den Modulen		X	X	X
[15] Reduzierung der Anzahl oder vollständige Eliminierung von Verbindungen		X	X	X
[16] Reduzierung der Kontaktpunkte zwischen Modulen		X	X	X
[17] Vereinfachung der Geometrie modularer Schnittstellen			X	X
[18] Leitung der Energie-, Informations- und Materialflüsse, die eine Umgehung jedes Modules ermöglicht		X	X	X
[19] Generierung trennbarer Module		X	X	X
[20] Verwendung eines Rahmenkonzeptes für die Befestigung der Module		X	X	X
[21] Verwendung konformer Materialien			X	
[22] Vereinfachung der Geometrie jeder Komponente			X	
[23] Kontrollieren der Abstimmung von Entwicklungsparametern			X	
[24] Vorhalten der Fähigkeit zur Speicherung oder Einspeisung überschüssiger Energie			X	

X - Bewertungskriterium ist erfüllt

Ein Flexibilitätsprinzip wurde als geeignet bewertet, wenn es sowohl die Produktstruktur als Handlungsebene als auch die Anpassung der Schnittstellen existierender Produktkomponenten adressiert. Im Folgenden werden die vier Prinzipien sowie jeweils die zu Grunde liegenden, existierenden Flexibilitätsprinzipien aufgeführt.

- **Reduzierung der Schnittstellenanzahl durch Funktionsübertragung** – zu Grunde liegende Prinzipien: [1], [2], [5], [6], [7], [15], [19], [20], [25], [27], [32], [37], [39]
- **Reduzierung der Schnittstellenanzahl durch Integration** – zu Grunde liegende Prinzipien: [14], [16]
- **Generierung freier Schnittstellen** – zu Grunde liegende Prinzipien: [10]
- **Separierung der Material-, Energie- und Informationsflüsse** – zu Grunde liegende Prinzipien: [18]

Tabelle 8-2: Ergebnisse der Bewertung existierender Flexibilitätsprinzipien hinsichtlich ihrer Eignung für das Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturanpassung (Teil 2 von 2)

Erläuterung der Flexibilitätsprinzipien	Quelle	Bewertungskriterien		
		Produktstruktur als fokussierte Handlungsebene	Anpassung existierender Produktkomponenten	Anpassung der Schnittstellen
[25] Einfachheit / Idealität – Reduzierung der Produktkomplexität in Folge der Reduzierung der Schnittstellen	FRICKE & SCHULZ 2005	X	X	X
[26] Unabhängigkeit – Minimierung des Einflusses von Designparametern			X	
[27] Modularisierung / Einkapselung – Aufteilung der Produktfunktionen auf verschiedene Module		X	X	X
[28] Integrierbarkeit – Verwendung generischer, einheitlicher Schnittstellen, die für alle Komponenten gültig sind			X	X
[29] Autonomie – Generierung autonomer Komponenten, die über Basisfunktionalitäten verfügen			X	
[30] Skalierbarkeit – Ermöglichung der Skalierbarkeit eines Produktes durch den Zusammenschluss mehrerer identischer Komponenten			X	
[31] Redundanz – Ausführung einer Produktfunktion durch mehrere Komponenten realisieren		X		X
[32] Verbesserung der Entwicklungsflexibilität durch Modularisierung	PALANI RAJAN ET AL. 2003	X	X	X
[33] Reduzierung von Änderungsauswirkungen durch Verringerung des Einflusses jeder einzelnen Komponente		X		
[34] Reduzierung von Änderungsauswirkungen durch Vergrößerung der Anzahl oder Größe von Pufferzonen			X	
[35] Reduzierung des Auftretens von Änderungen durch Standardisierung von Schnittstelle			X	X
[36] Reduzierung des Auftretens von Änderungen durch Verwendung von „zeitlosen“ Technologien			X	
[37] Neuordnung von Funktionen zu Produktkomponenten		MARTIN & ISHII 2002	X	X
[38] „Einfrieren“ von Merkmalsausprägungen			X	
[39] Reduzierung der Vernetzung von Produktkomponenten	X		X	X
[40] Überdimensionierung von Produktkomponenten			X	

X - Bewertungskriterium ist erfüllt

### 8.1.3 Checkliste relevanter Entwicklungsprozessschritte

In Tabelle 8-3, Tabelle 8-4, Tabelle 8-5, Tabelle 8-6 und Tabelle 8-7 sind die Checklisten relevanter Entwicklungsprozessschritte in Abhängigkeit von der festgelegten Änderungsstrategie dargestellt. Neben einer hierarchischen Ordnungsstruktur wird zu jedem Prozessschritt eine Kurzbeschreibung zur Verfügung gestellt.

Tabelle 8-3: Teil 1 von 5 der Checkliste relevanter Entwicklungsprozessschritte des FORFLOW-Prozessmodells (nach ROELOFSEN 2011, S. 201 ff.)

Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Kurzbeschreibung	Relevanz
S 3	S 3.1 Vorhandene Lösungsmöglichkeiten suchen		Vorhandene Lösungsmöglichkeiten für bestehende Teilprobleme suchen. Dieser Schritt dient dazu, bereits vorhandene und passende Lösungen aus anderen Projekten zu finden und zu nutzen.	
	S 3.2 Lösungsprinzipien suchen		In diesem Schritt werden zu den Teilfunktionen passende vorhandene Prinzipien zur Lösung gesucht. Hierbei handelt es sich nicht um Bauteile oder ganze Teilsysteme, sondern um die Auswahl der Träger bzw. der Umsetzung physikalischer Effekte. Diese werden den Teilfunktionen über den morphologischen Kasten zugeordnet.	
	S 3.3 Wirkprinzipien suchen		Unter Wirkprinzipien werden physikalische Effekte, geometrische bzw. stoffliche Merkmale sowie deren Wechselwirkungen untereinander verstanden.	
	S 3.4 Lösungsprinzipien ableiten		Wenn vorher keine Lösungsprinzipien gefunden werden konnten, müssen aus den gefundenen Wirkprinzipien in diesem Schritt Lösungsprinzipien abgeleitet werden.	
	S 3.5 Prüfen, ob alle Anforderungen abgedeckt sind		Hierbei wird der Ist-Zustand des Produktes mit dem Sollzustand (unter Anwendung der Anforderungsliste) verglichen und somit die Anforderungserfüllung überprüft.	
	S 3.6 Teillösungsprinzipien strukturieren		In diesem Schritt werden den vorher identifizierten Anforderungen bzw. Teilfunktionen jeweils denkbare physikalische Effekte zugeordnet, sodass sich ein Ordnungsschema ergibt, das einen Überblick über die möglichen prinzipiellen Lösungen ergibt.	
	S 3.7 Teillösungsprinzipien auswählen und kombinieren		Zu den einzelnen Teilproblemen wird jeweils eine Variante ausgewählt; aus der Kombination dieser Auswahl ergibt sich eine (Gesamt)konzeptalternative	
S 4	S 4.1 Modularisieren	S 4.1.1 Produktschnittstellen festlegen	Hardwareschnittstellen (z.B. Energieübertragung, Signalübertragung, Anschlussmaße), Softwareschnittstellen, Baugruppen definieren.	
		S 4.1.2 Domänenspezifische Verantwortlichkeiten für die Teillösungsprinzipien zuordnen	Verteilung der Arbeitspakete; hier ist bekannt, welche Funktion/Anforderung durch welche Domäne (Maschinenbau, Elektrotechnik, Informatik) umgesetzt wird.	
	S 4.2 Modulare Strukturen auf Konsistenz prüfen		Zusammenführen der Produktschnittstellen und Lösungsprinzipien; Überprüfen ob die modulare Struktur konsistent ist (doppelte Funktionen, unverträgliche Schnittstellen?)	

■ Relevant bei generierendem Ändern

Tabelle 8-4: Teil 2 von 5 der Checkliste relevanter Entwicklungsprozessschritte des FORFLOW-Prozessmodells (nach ROELOFSEN 2011, S. 204 ff.)

Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Kurzbeschreibung	Relevanz
S 4	S 4.3 Grobgestaltung	S 4.3.1 Energieversorgung planen	Energieart festlegen (z.B. elektrisch, mechanisch, chemisch, thermisch), Energiebereitstellung vorsehen (z.B. mobil, stationär)...	
		S 4.3.2 Energiefluss definieren	Energieeingang/-ausgang der einzelnen Module, Energieart, Energiemenge /Leistung, Verteilung etc. definieren.	
		S 4.3.3 Signalfluss definieren	Eingangs-/Ausgangsgrößen der einzelnen Module, Signalart, Leistung, Verteilung, Menge, Qualität etc. definieren.	
		S 4.3.4 Signalverarbeitung festlegen	Unter anderem das Klären folgender Fragen: Regeln oder Steuern? Wo und wie findet Signalverarbeitung statt? Aus der Signalverarbeitungsart: Software, elektronische Schaltungen, mechanisch etc.	
		S 4.3.5 Energiewandlung bestimmen	Eingangs- und Ausgangsenergieart festlegen, Art der Wandlung bestimmen.	
		S 4.3.6 Geometrische Anordnung	Gegenseitige räumliche Positionierung der Bauteile und Module zueinander.	
		S 4.3.7 Materialvorauswahl treffen	Benötigte Materialeigenschaften bewerten und zumindest Materialklassen für Module bzw. einzelne Bauteile auswählen	
		S 4.3.8 Überschlägige Dimensionierung	Auslegung und grobe Gestaltung der Module (Wandstärken, Durchmesser...)	
		S 4.3.9 Fertigungsverfahren Vorauswahl treffen	Verschiedene Fertigungsverfahren bewerten, auswählen (was kann im eigenen Unternehmen gefertigt werden, was müsste je nach Auswahl zugekauft werden?)	
		S 4.3.10 Bauraum aufteilen	Ausgehend vom Gesamtvolumen (Design) des Produktes die zulässigen Volumina für die Module festlegen.	
		S 4.3.11 Softwarekonzept erstellen	Definition der Softwarearchitektur, Definition der Programmiersprache etc.	
	S 4.4 Gesamtkonzepte erstellen und „Make or Buy“-Entscheidung treffen		Spätestens hier muss eine erste Make or Buy Entscheidung fallen, Sammlung der Informationen über mögliche Anbieter, ob Fremdvergabe möglich ist, Wirtschaftliche Abwägungen und fertigungstechnische Kompetenz (auch eigene).	
	S 4.5 Eigenschaften analysieren		Eigenschaften der Gesamtkonzepte ermitteln und untersuchen.	
	S 4.6 Konzepte bewerten		Auf Grundlage der Eigenschaften Anforderungserfüllung überprüfen und bewerten.	
S 4.7 Gesamtkonzept auswählen		Reduktion der Alternativen auf ein Gesamtkonzept auf Basis der Konzeptbewertung.		

■ Relevant bei generierendem Ändern

Tabelle 8-5: Teil 3 von 5 der Checkliste relevanter Entwicklungsprozessschritte des FORFLOW-Prozessmodells (nach ROELOFSEN 2011, S. 206 ff.)

Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Kurzbeschreibung	Relevanz
S 4	S 4.8 Erkenntnisgewinn dokumentieren	S 4.8.1 Lösungsprinzipien dokumentieren	Gefundene Lösungsprinzipien systematisch strukturieren und nachvollziehbar darstellen/erläutern.	
		S 4.8.2 Produktschnittstellen dokumentieren	Endgültige Festlegung der Schnittstellen (Grobkonzept) klare Aufgabenverteilung, Ansprechpartner klar.	
	S 4.6 Konzepte bewerten		Auf Grundlage der Eigenschaften Anforderungserfüllung überprüfen und bewerten.	
	S 4.7 Gesamtkonzept auswählen		Reduktion der Alternativen auf ein Gesamtkonzept auf Basis der Konzeptbewertung.	
	S 4.8 Erkenntnisgewinn dokumentieren	S 4.8.1 Lösungsprinzipien dokumentieren	Gefundene Lösungsprinzipien systematisch strukturieren und nachvollziehbar darstellen/erläutern.	
		S 4.8.2 Produktschnittstellen dokumentieren	Endgültige Festlegung der Schnittstellen (Grobkonzept) klare Aufgabenverteilung, Ansprechpartner klar.	
S 5	S 5.1 Bauteilgestaltung	S 5.1.1 Gestaltung Bauteil	Computergestützte Festlegung von Merkmalen.	
		S 5.1.2 Berechnung Bauteil	Konstruktionsnahe Vorabberechnung des Bauteiles.	
	S 5.2 Eigenschaftsabsicherung Bauteil	S 5.2.1 Funktionserfüllung absichern	Geforderte Funktionen und Eigenschaften anhand einschlägiger Verfahren absichern	
		S 5.2.2 Wechselwirkung Signal, Stoff, Energie berücksichtigen	Überprüfung gewünschter Wechselwirkungen, Analyse und Dokumentation negativer Wechselwirkungen	
		S 5.2.3 Fertigungs- und Liefereigenschaften absichern	Entwicklung eines Produktionssystems, welches eine virtuelle Produktion des Bauteils ermöglicht. Beinhaltet auch die Einbeziehung des Einkaufs sowie der Material- und Fertigungslogistik.	
		S 5.2.4 Kosten absichern	Abgleich der Produktionskosten mit den geforderten Absatzpreisen	
		S 5.2.5 Mechatronische Integrationseigenschaf- ten absichern	Zusammenspiel von mechanischen, elektronischen und mechatronischen Komponenten im dafür vorgesehenen Bauraum.	
		S 5.2.6 Lebenszyklus berücksichtigen	Aspekte des Design for X über den gesamten Lebenszyklus hinweg berücksichtigen.	
		S 5.2.7 Prototyp erstellen	Physisches Funktionsmodell des Bauteils erstellen	
	S 5.3 Bewertung Bauteil		Abgleich des geforderten mit dem tatsächlichen Leistungsprofil des Bauteils. Bei negativem Bewertungsergebnis ist eine Iteration notwendig; die Anzahl der erneut zu durchlaufenden Schritte ist dabei abhängig vom Bewertungsergebnis und der Entwicklungssituation. Bei positivem Ergebnis wird mit der Teil-Systemintegration fortgefahren	

■ Relevant bei generierendem Ändern

■ Relevant bei korrigierendem Ändern

Tabelle 8-6: Teil 4 von 5 der Checkliste relevanter Entwicklungsprozessschritte des FORFLOW-Prozessmodells (nach ROELOFSEN 2011, S. 208 ff.)

Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Kurzbeschreibung	Relevanz
S 5	S 5.4 Teilsystemintegration	S 5.4.1 Programmierung	Erstellung des für die Teilsystemfunktion erforderlichen Softwareanteils	
		S 5.4.2 Berechnung Teilsystem	Konstruktionsnahe Vorabberechnung des Teilsystems	
		S 5.4.3 Zusammenbau Teilsystem	Kombination der Bauteile unter Berücksichtigung der vordefinierten Produktschnittstellen.	
		S 5.4.4 Teilsystem integrieren	Integration von Software- und Mechanikanteil des Teilsystems	
	S 5.5 Eigenschaftsermittlung Teilsystem	S 5.5.1 Funktionserfüllung absichern	Geforderte Funktionen und Eigenschaften des Teilsystems anhand einschlägiger Verfahren absichern	
		S 5.5.2 Wechselwirkung Signal, Stoff, Energie berücksichtigen	Überprüfung gewünschter Wechselwirkungen, Analyse und Dokumentation negativer Wechselwirkungen	
		S 5.5.3 Fertigungs- und Liefereigenschaften absichern	Entwicklung eines Produktionssystems, welches eine virtuelle Produktion des Teilsystems ermöglicht. Beinhaltet auch die Einbeziehung des Einkaufs sowie der Material- und Fertigungslogistik.	
		S 5.5.4 Kosten absichern	Abgleich der Produktionskosten mit den geforderten Absatzpreisen	
		S 5.5.5 Mechatronische Integrations-eigen-schaften absichern	Zusammenspiel von mechanischen, elektronischen und mechatronischen Komponenten im dafür vorgesehenen Bauraum.	
		S 5.5.6 Lebenszyklus berücksichtigen	Aspekte des Design for X über den gesamten Lebenszyklus hinweg berücksichtigen.	
		S 5.5.7 Prototyp erstellen	Physisches Funktionsmodell des Teilsystems erstellen	
		S 5.5.8 Systemverhalten absichern	Überprüfung, ob Reaktion des Systems auf äußere Einflüsse den Anforderungen entspricht.	
	S 5.6 Bewertung Teilsystem		Abgleich des geforderten mit dem tatsächlichen Leistungsprofil des Teilsystems. Bei negativem Bewertungsergebnis ist eine Iteration notwendig; die Anzahl der erneut zu durchlaufenden Schritte ist dabei abhängig vom Bewertungsergebnis. Bei positivem Ergebnis wird mit der Systemintegration fortgefahren	
	S 5.7 Gesamtsysteminte-gration	S 5.7.1 Programmierung	Erstellung des für die Gesamtsystemfunktion erforderlichen Softwareanteils	
		S 5.7.2 Berechnung Gesamtsystem	Konstruktionsnahe Vorabberechnung des Gesamtsystems	
S 5.7.3 Zusammenbau Gesamtsystem		Kombination der Teilsysteme unter Berücksichtigung der vordefinierten Produktschnittstellen.		

■ Relevant bei generierendem Ändern

■ Relevant bei korrigierendem Ändern

Tabelle 8-7: Teil 5 von 5 der Checkliste relevanter Entwicklungsprozessschritte des FORFLOW-Prozessmodells (nach ROELOFSEN 2011, S. 209 f.)

Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Kurzbeschreibung	Relevanz
S 5	S 5.7 Gesamtsystemintegration	S 5.7.4 Gesamtsystem integrieren	Integration von Software- und Mechanikanteil des Gesamtsystems	■ ■
	S 5.8 Eigenschaftsermittlung Gesamtsystem	S 5.8.1 Funktionserfüllung absichern	Geforderte Funktionen und Eigenschaften des Gesamtsystems anhand einschlägiger Verfahren absichern	■ ■
		S 5.8.2 Wechselwirkung Signal, Stoff, Energie berücksichtigen	Überprüfung gewünschter Wechselwirkungen, Analyse und Dokumentation negativer Wechselwirkungen	■ ■
		S 5.8.3 Fertigungs- und Liefereigenschaften absichern	Entwicklung eines Produktionssystems, welches eine virtuelle Produktion des Gesamtsystems ermöglicht. Beinhaltet auch die Einbeziehung des Einkaufs sowie der Material- und Fertigungslogistik.	■ ■
		S 5.8.4 Kosten absichern	Abgleich der Produktionskosten mit den geforderten Absatzpreisen	■ ■
		S 5.8.5 Mechatronische Integrationseigenschaften absichern	Zusammenspiel von mechanischen, elektronischen und mechatronischen Komponenten im dafür vorgesehenen Bauraum.	■ ■
		S 5.8.6 Lebenszyklus berücksichtigen	Aspekte des Design for X über den gesamten Lebenszyklus hinweg berücksichtigen.	■ ■
		S 5.8.7 Prototyp erstellen	Physisches Funktionsmodell des Gesamtsystems erstellen	■ ■
		S 5.8.8 Systemverhalten absichern	Überprüfung, ob Reaktion des Systems auf äußere Einflüsse den Anforderungen entspricht.	■ ■
	S 5.9 Bewertung Gesamtsystem		Abgleich des geforderten mit dem tatsächlichen Leistungsprofil des Bauteils. Bei negativem Bewertungsergebnis ist eine Iteration notwendig; die Anzahl der erneut zu durchlaufenden Schritte ist dabei abhängig vom Bewertungsergebnis. Bei positivem Ergebnis kann mit der Produktion fortgefahren werden	■ ■

■ Relevant bei generierendem Ändern

■ Relevant bei korrigierendem Ändern

## 8.2 Fallbeispiel „Kaffeevollautomat“

In den nachfolgenden Abschnitten sind die Ergebnisse aus der Anwendung des Lösungsansatzes für das Fallbeispiel des Kaffeevollautomaten dargestellt, die aufgrund ihres Umfangs in Kapitel 4 nicht dargestellt werden. Die Ergebnisse beziehen sich auf die zweite und vierte Handlungsphase des Lösungsansatzes.

### 8.2.1 Ergebnisse der Handlungsphase 2 (Kundenanalyse)

In Tabelle 8-8 und Tabelle 8-9 sind die aufbereiteten Ergebnisse des Ideenwettbewerbs zur Erhebung und Analyse der Kundenbedarfe dargestellt.

Tabelle 8-8: Teil 1 von 2 der aufbereiteten Ergebnisse des Ideenwettbewerbs inklusive der resultierenden Bewertung auf einer Skala zwischen 0 und 5 ( INNOCYFER 2016)

ID	Kurzbeschreibung	Bewertung (0-5)
6	Aufsatz Stecksystem auf den eigentlichen Bohntank	3,89
12	Blumenhalter am Automaten	3,42
13	Wassertank Click-Mechanismus/Knopfschaltung für ruckelfreies Einrasten	2,83
15	Individualisierte Variante für Blende Auslauf	3,58
22	Individualisierte Variante für Blende Abtropfschale	4,00
31	Selbstständige Wasserregulierung mit Anschluss an Wasserhahn	3,17
34	Füllstandsanzeige für Milchbehälter	3,33
36	Kreidetafel an Automat zum Nachrichten schreiben	3,33
43	Milchpackungen werden über Verschluss direkt an den Automaten angeschraubt	2,00
44	Duale Stromversorgung des Automaten mit Kabel und Akku	2,00
45	Selbstreinigung zeitlich selber festlegbar	1,00
47	Tassenwärmer für Kaffeetassen	5,00
48	Kannenfüllfunktion	4,00
49	Koffeingehalt wird autom. an Benutzer angepasst - Daten werden über "Wearables" erfasst	3,00
50	Aufnahme für Teelöffel	3,00
50	Vorwärmfunktion für Tassen	3,00
50	Informationen über Zutatenstand	3,00
50	Füllstandsanzeige für Tropfschale	3,00
50	Beleuchtung wichtiger Funktionseinheiten	3,00
50	automatischer Tassennachzug	5,00
51	große Anzeige + einfache Bedienung für ältere Leute	1,00
51	Sprachsteuerung der Bedienung	1,00
51	Hilfsmenü als Anzeige für "FAQ's"	1,00
52	automatische Tassenheizung für Kaffeetassen	2,00
53	Durchsichtige Verkleidung der Maschine um Prozess zu sehen	2,00
53	Zucker automatisch im Brühprozess zumischen für gleichmäßige Verteilung in der Tasse	2,00
53	Wasserfilter um niedrige Wasserqualität abzufangen	2,00
54	Tragehenkel für Transport	1,00
54	Drehbarkeit des Auslaufes	1,00
55	Parameter-Anzeige für "Experimente" mit Kaffeezusammensetzung	4,00

*Tabelle 8-9: Teil 2 von 2 der aufbereiteten Ergebnisse des Ideenwettbewerbs inklusive der resultierenden Bewertung auf einer Skala zwischen 0 und 5 ( INNOCYFER 2016)*

<b>ID</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Bewertung (0-5)</b>
56	Intelligentes Wassererhitzen für spezifische Wassermenge	4,00
59	Kaffeeautomat kann auch Tee aus Teeblättern aufbrühen	2,00
60	Andere Materialien für Automatenverkleidung (z.B. Holz, etc.)	3,00
61	Automatischer Milchschaumer für Milchkaffee	4,00
62	Konsistenz des Kaffee's einstellbar	2,00
63	Funktion für Filterkaffee	2,00
64	Autom. Einstellung des Mahlgrads angepasst an Kaffee-/Wassermenge und Extraktionsdauer	3,00
64	Doppelter Auslauf für 2 Tassen aus Chrom	3,00
64	Entnehmbarer Bohnenbehälter zur Reinigung	3,00
65	Anzeige des Energiebedarfs	1,00
65	autom. Abschaltung von Komponenten um Energie zu sparen	1,00
65	Integrierungsmodul für Smartgrid	1,00

## 8.2.2 Ergebnisse der Handlungsphase 4 (Produktstrukturanpassung)

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse der geplanten Produktstrukturanpassungen für die Module „Design“, „Getränk ausgeben“ und „Kaffeemehl erzeugen“ des Kaffeevollautomaten dargestellt<sup>50</sup>. Diese wurden gemeinsam mit der BSH Hausgeräte GmbH im Rahmen von einem Arbeitstreffen am 06.06.2016 in Traunreut sowie einer Telefonkonferenz am 13.06.2016 festgelegt. Die BSH Hausgeräte GmbH wurde in beiden Fällen durch Therese Brantsved (PCP-TDB 12M) und Nicole Crump (PCP-TDBM) vertreten.

### Entkopplung selbstindividualisierbarer Produktkomponenten

Geplante Produktstrukturanpassungen (Teil 2 von 8) für das Modul „Design“:

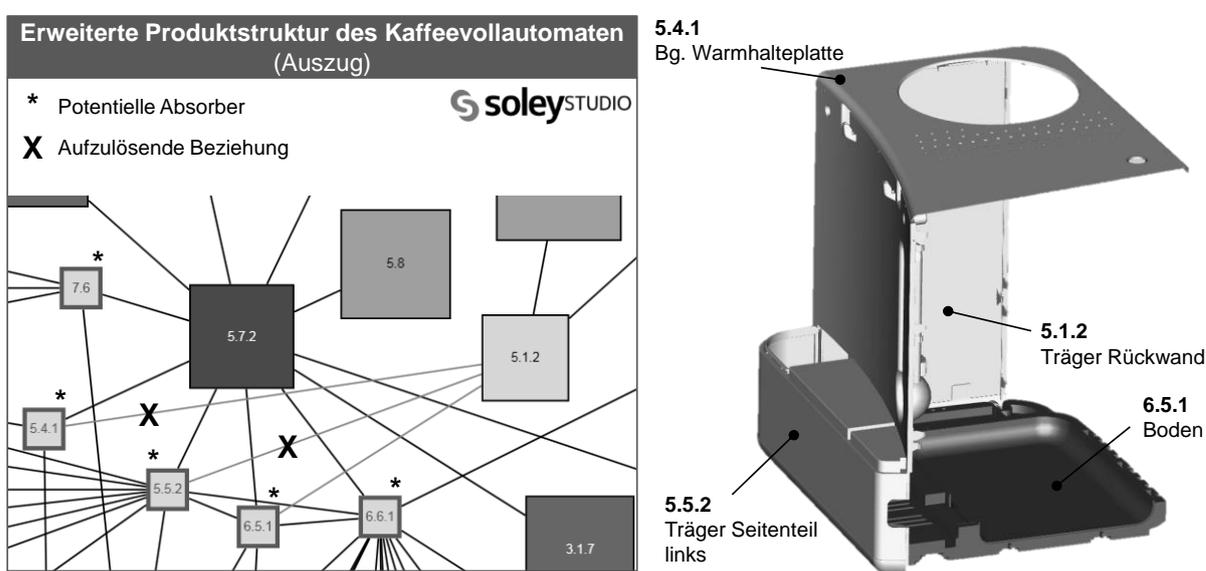


Abbildung 8-1: Ergebnis der geplanten Produktstrukturanpassungen; im rechten Teil der Abbildung ist das zugehörige CAD-Modell dargestellt (Teil 2 von 8)

<sup>50</sup> Der erste Teil der geplanten Produktstrukturanpassungen ist bereits in Abschnitt 5.2.4 dargestellt.

Geplante Produktstrukturanpassungen (Teil 3 von 8) für das Modul „Design“:

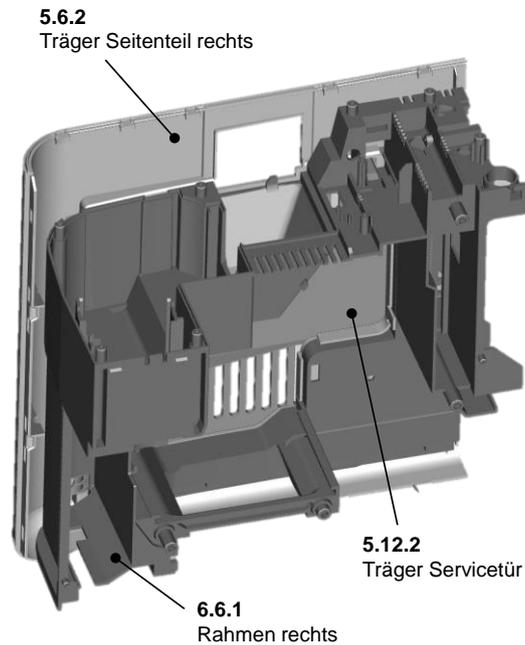
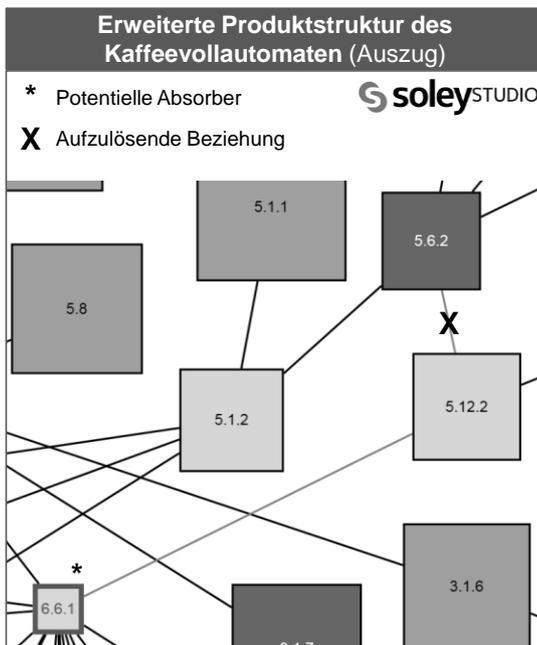


Abbildung 8-2: Ergebnis der geplanten Produktstrukturanpassungen; im rechten Teil der Abbildung ist das zugehörige CAD-Modell dargestellt (Teil 3 von 8)

Geplante Produktstrukturanpassungen (Teil 4 von 8) für das Modul „Design“:

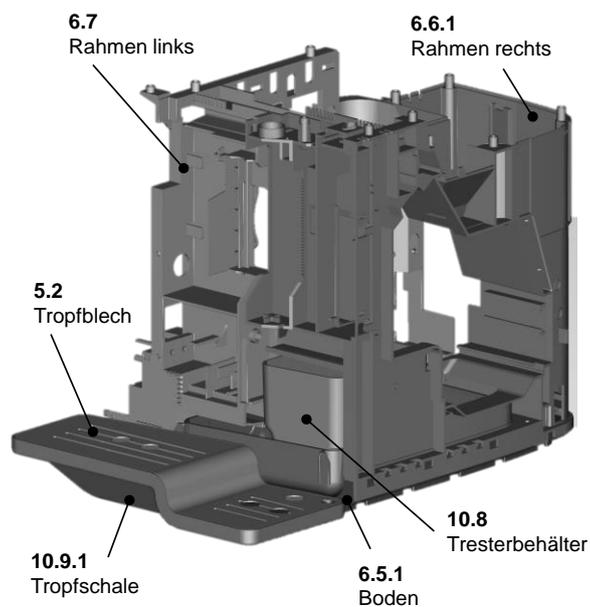
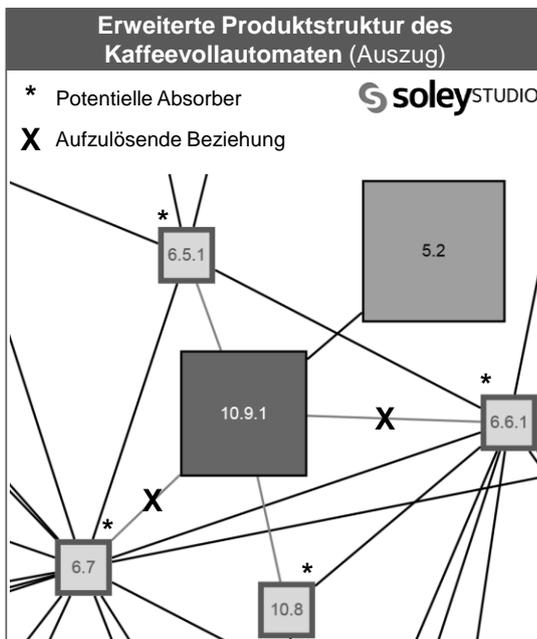


Abbildung 8-3: Ergebnis der geplanten Produktstrukturanpassungen; im rechten Teil der Abbildung ist das zugehörige CAD-Modell dargestellt (Teil 4 von 8)

Geplante Produktstrukturanpassungen (Teil 5 von 8) für das Modul „Getränk ausgeben“:

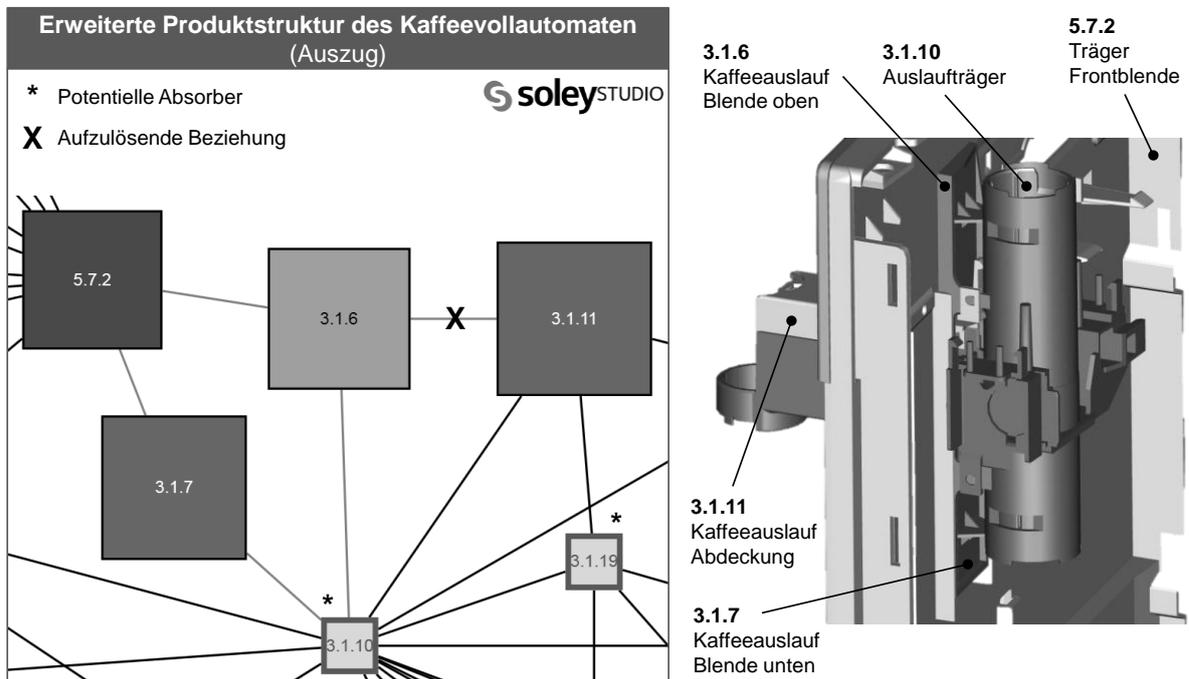


Abbildung 8-4: Ergebnis der geplanten Produktstrukturanpassungen; im rechten Teil der Abbildung ist das zugehörige CAD-Modell dargestellt (Teil 5 von 8)

Geplante Produktstrukturanpassungen (Teil 6 von 8) für das Modul „Getränk ausgeben“:

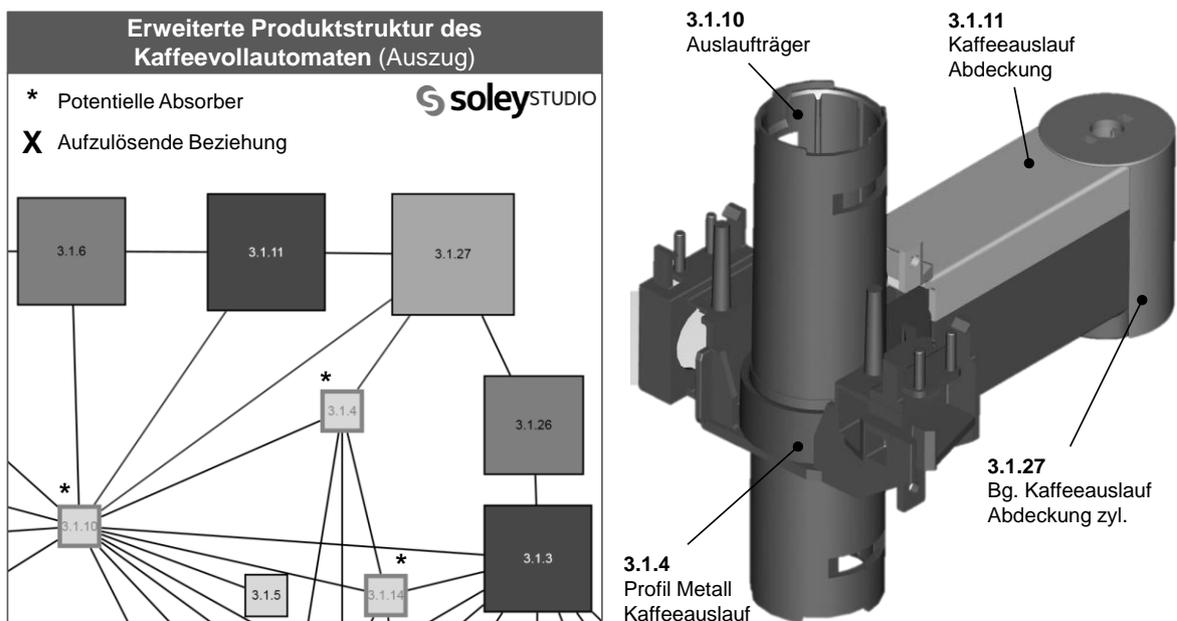


Abbildung 8-5: Ergebnis der geplanten Produktstrukturanpassungen; im rechten Teil der Abbildung ist das zugehörige CAD-Modell dargestellt (Teil 6 von 8)

Geplante Produktstrukturanpassungen (Teil 7 von 8) für das Modul „Getränk ausgeben“:

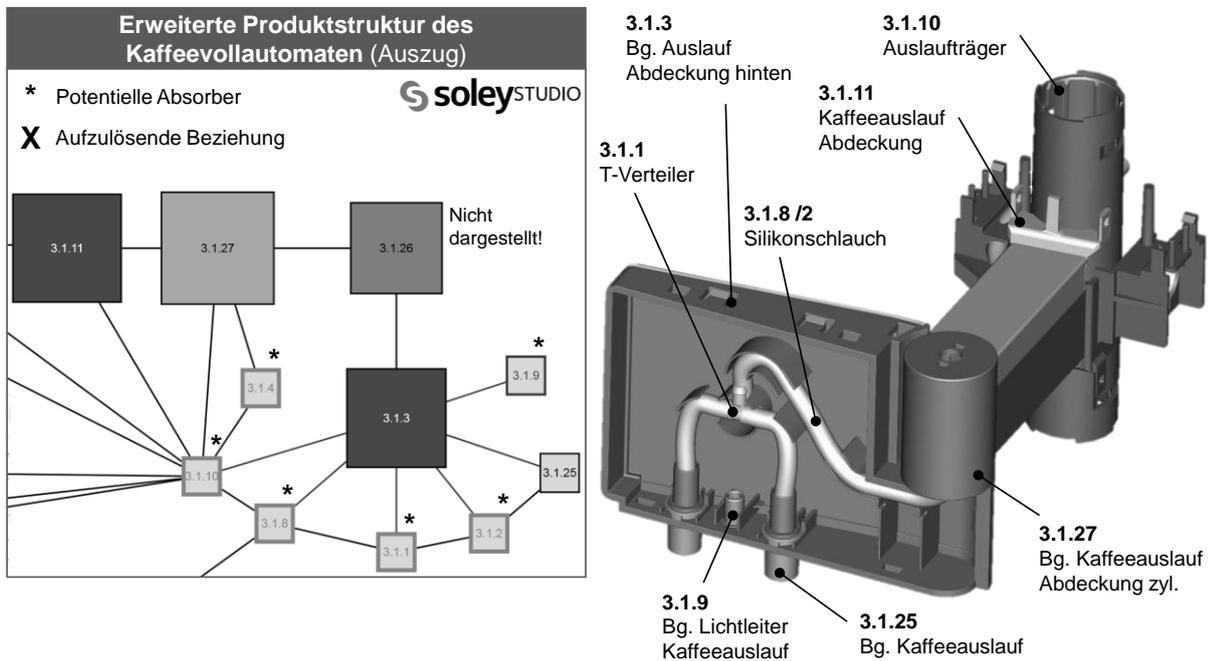


Abbildung 8-6: Ergebnis der geplanten Produktstrukturanpassungen; im rechten Teil der Abbildung ist das zugehörige CAD-Modell dargestellt (7 von 8)

Geplante Produktstrukturanpassungen (Teil 8 von 8) für das Modul „Kaffeemehl erzeugen“:

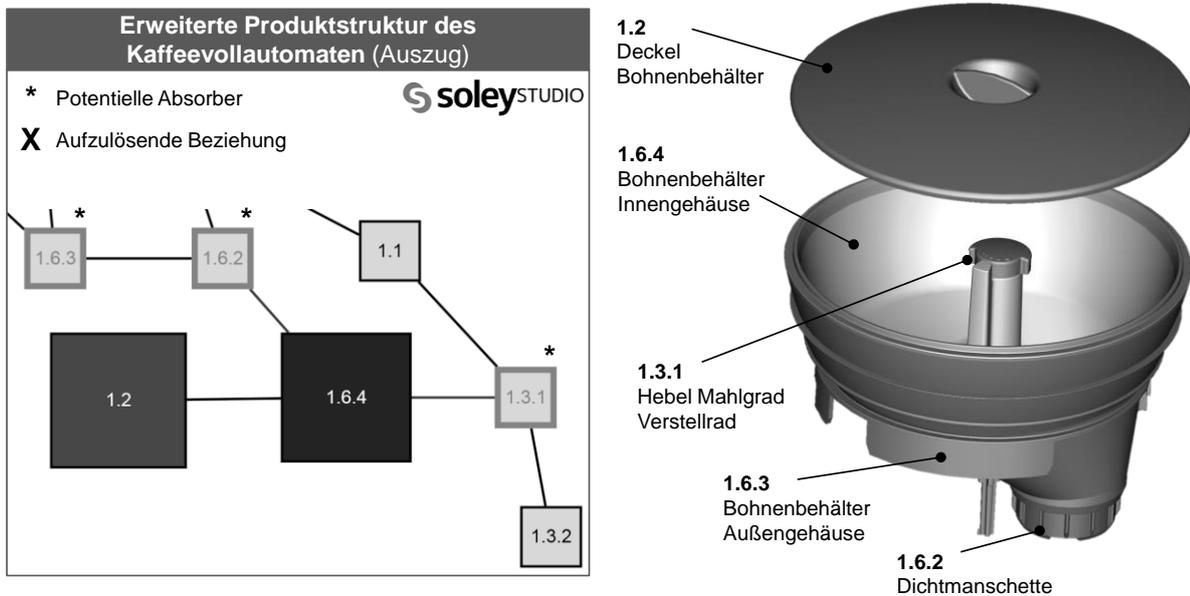


Abbildung 8-7: Ergebnis der geplanten Produktstrukturanpassungen; im rechten Teil der Abbildung ist das zugehörige CAD-Modell dargestellt (Teil 8 von 8)



## 8.3 Fallbeispiel „Wasserspender“

Im Folgenden sind die Ergebnisse aus der Anwendung des Lösungsansatzes für das Fallbeispiel des Wasserspenders dargestellt, die aufgrund ihres Umfangs in Kapitel 5 nicht dargestellt werden.

### 8.3.1 Ergebnisse der Handlungsphase 4 (Produktstrukturanpassung)

In Tabelle 8-10 sind die Ergebnisse der Dokumentation geplanter Produktstrukturanpassungen dargestellt (Teil 1).

Tabelle 8-10: Teil 1 von 2 der Dokumentation geplanter Produktstrukturanpassungen (Ergänzung zu Tabelle 5-2)

Beschreibung der Produktstrukturanpassungen				
Id.-Nr.	Bezeichnung	Kurzbeschreibung	Betroffene Produktkomponenten	Ansprechpartner
03	Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Funktion „Gehäuse befestigen“ wird vollständig auf die geometrische Verbindung zw. „Rahmen“ und „Gehäuse vorn“ übertragen</li> <li>Geometrische Schnittstelle zw. „Gehäuse hinten“ und „Rahmen“ wird aufgelöst</li> <li>Geometrische Schnittstelle zw. „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ neu auslegen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse hinten</li> <li>Gehäuse vorn</li> <li>Rahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person A</li> <li>Person F</li> </ul>
04	Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Funktion „Netzteil befestigen“ wird vom Gehäuse hinten auf den Rahmen übertragen</li> <li>Geometrische Schnittstelle Gehäuse hinten- Netzteil wird aufgelöst</li> <li>Neue geometrische Schnittstelle Rahmen-Netzteil wird erzeugt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse hinten</li> <li>Netzteil</li> <li>Rahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person C</li> <li>Person F</li> </ul>
05	Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Funktion „ Lüfter befestigen“ wird vom „Gehäuse hinten“ auf „Rahmen“ übertragen</li> <li>Geometrische Schnittstelle zw. „Gehäuse hinten“ und „Lüfter“ wird aufgelöst</li> <li>Neue geometrische Schnittstelle zw. „Rahmen“ und „Lüfter“ wird generiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse hinten</li> <li>Rahmen</li> <li>Lüfter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person F</li> <li>Person C</li> </ul>
06	Aufteilung Energiefluss	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Funktion „Gehäuse vorn und „Gehäuse hinten mit Spannung versorgen“ wird von „Netzteil“ auf den „Rahmen“ übertragen (zentrale Spannungsversorgung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rahmen</li> <li>Netzteil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person F</li> <li>Person C</li> </ul>
07	Entkopplung „Gehäuse vorn“ (Teil 3) und „Gehäuse hinten“ (Teil 4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Funktion „Gehäuse vorn und Gehäuse hinten mit Spannung versorgen“ wird vom Netzteil auf den Rahmen übertragen (zentrale Spannungsversorgung)</li> <li>Stromfluss über die Schnittstelle „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ wird aufgelöst</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse hinten</li> <li>Gehäuse vorn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person A</li> </ul>

In Tabelle 8-11 sind die Ergebnisse der Dokumentation geplanter Produktstrukturanpassungen dargestellt (Teil 2).

Tabelle 8-11: Teil 2 von 2 der Dokumentation geplanter Produktstrukturanpassungen (Ergänzung zu Tabelle 5-2)

<b>Beschreibung der Produktstrukturanpassungen</b>				
<b>Id.-Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	<b>Betroffene Produktkomponenten</b>	<b>Ansprechpartner</b>
08	Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Funktion „Gehäuse mit Spannung versorgen“ wird vom Netzteil auf den Rahmen übertragen (zentrale Spannungsversorgung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse hinten</li> <li>Netzteil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person C</li> </ul>
09	Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Funktion „Gehäuse vorn und Gehäuse hinten mit Spannung versorgen“ wird vom Netzteil auf den Rahmen übertragen (zentrale Spannungsversorgung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse hinten</li> <li>Rahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person F</li> </ul>
10	Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Funktion „Gehäuse vorn und Gehäuse hinten mit Spannung versorgen“ wird vom Netzteil auf den Rahmen übertragen (zentrale Spannungsversorgung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse vorn</li> <li>Rahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person F</li> </ul>
11	Freie Schnittstellen an „Rahmen“	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorsehen von alternativen Befestigungspunkten an „Rahmen“ für die II-Komponenten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse vorn</li> <li>Rahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person F</li> </ul>
12	Schnittstellenintegration „Gehäuse vorn“	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Schnittstelle zw. „Rahmen“ und „Gehäuse vorn“ so gestalten, dass sowohl die Funktion „Gehäuse vorn befestigen“ als auch die Funktion „Gehäuse vorn mit Spannung versorgen“ in eine gemeinsame Schnittstelle integriert wird</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gehäuse vorn</li> <li>Rahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Person A</li> <li>Person F</li> </ul>

### 8.3.2 Ergebnisse der Handlungsphase 5 (Umsetzungsplanung)

Prozessbaustein 1 von 29:

Auslegen von „Gehäuse vorn“ (K1.1)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person A		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Id.-Nr. 01: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 1)</li> <li>Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v3</li> <li>Info. K1.1: Durchmesser des Tankstutzens (Ausparung „Gehäuse vorn“)</li> <li>Info. K1.2: Durchmesser „Zapfhahn“ (Ausparung „Gehäuse vorn“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gestalten der Aussparungen für „Tank“ und „Zapfhahn“</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v4</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Gehäuse vorn“ (II)</li> <li>Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-9: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Gehäuse vorn“

Prozessbaustein 2 von 29:

Konstruieren von „Gehäuse vorn“ (K1.2)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person A		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>Id.-Nr. 07: Entkopplung „Gehäuse vorn“ (Teil 3) und „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse hinten“</li> <li>Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v4</li> <li>Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“</li> <li>Info. K1.3: Anforderungen an „Gehäuse vorn“</li> <li>Info. K1.4: Anforderungen an „Gehäuse vorn“</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Integrierte Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Rahmen“ gestalten</li> <li>Energiefluss-Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ auflösen</li> <li>Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ anpassen</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v5</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Gehäuse vorn“ (II)</li> <li>Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-10: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Gehäuse vorn“

## Prozessbaustein 3 von 29:

Auslegen von „Gehäuse vorn“ (K1.2)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person A		
<p align="center"><b>Allgemeine Prozessparameter</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 07: Entkopplung „Gehäuse vorn“ (Teil 3) und „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<p align="center"><b>Eingang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v5</li> <li>• Info. K1.3: Anforderungen an „Gehäuse vorn“</li> <li>• Info. K1.4: Anforderungen an „Gehäuse vorn“</li> </ul>	<p align="center"><b>Tätigkeiten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Rahmen“ inkl. Verbindungselemente entsprechend der Anforderungen auslegen</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Gehäuse hinten“ inkl. Verbindungselemente entsprechend der Anforderungen auslegen</li> </ul> <p align="center"><b>Methoden und Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>	<p align="center"><b>Ausgang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v6</li> </ul>
<p align="center"><b>Spezielle Prozessparameter</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Gehäuse vorn“ (II)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-11: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Gehäuse vorn“

## Prozessbausteine 4 von 29:

Absichern von „Gehäuse vorn“ (K1)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person A		
<p align="center"><b>Allgemeine Prozessparameter</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 01: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 07: Entkopplung „Gehäuse vorn“ (Teil 3) und „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Absichern</li> </ul>		
<p align="center"><b>Eingang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Info. K1.1: Durchmesser des Tankstutzens</li> <li>• Info. K1.2: Durchmesser „Zapfhahn“</li> <li>• Info. K1.3: Anforderungen an „Gehäuse vorn“</li> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse vorn“-v6</li> </ul>	<p align="center"><b>Tätigkeiten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrierte Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Rahmen“ absichern</li> <li>• Muster bauen</li> <li>• Untersuchung Nr. 031/57A</li> <li>• Untersuchung Nr. 042/05A</li> </ul> <p align="center"><b>Methoden und Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>	<p align="center"><b>Ausgang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung „Gehäuse vorn“: i.O./ n.i.O.</li> <li>• Aktualisierte PDM-Daten</li> </ul>
<p align="center"><b>Spezielle Prozessparameter</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Gehäuse vorn“ (II)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-12: Spezifizierter Prozessbaustein für die Absicherung der Produktkomponente „Gehäuse vorn“

## Prozessbausteine 5 von 29:

<b>Konstruieren von „Gehäuse hinten“ (K2)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person A		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 04: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 2)</li> <li>• Id.-Nr. 05: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 3)</li> <li>• Id.-Nr. 07: Entkopplung „Gehäuse vorn“ (Teil 3) und „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 08: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 5)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<p style="text-align: center;"><b>Eingang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung / CAD-Modell „Gehäuse hinten“</li> <li>• Info. K2.1: Anforderungen an „Gehäuse hinten“</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Tätigkeiten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse hinten“ und „Rahmen“ auflösen</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse hinten“ und „Netzteil“ auflösen</li> <li>• Energieflussschnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Gehäuse hinten“ auflösen</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse hinten“ und „Lüfter“ auflösen</li> <li>• Energieflussschnittstelle zwischen „Gehäuse hinten“ und „Gehäuse vorn“ auflösen</li> <li>• Energieflussschnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Gehäuse hinten“ konzipieren</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Ausgang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse hinten“-v2</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Methoden und Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Gehäuse hinten“ (II)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-13: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Gehäuse hinten“

## Prozessbausteine 6 von 29:

<b>Auslegen von „Gehäuse hinten“ (K2)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person A		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 04: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 2)</li> <li>• Id.-Nr. 05: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 3)</li> <li>• Id.-Nr. 07: Entkopplung „Gehäuse vorn“ (Teil 3) und „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 08: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 5)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<p style="text-align: center;"><b>Eingang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse hinten“-v2</li> <li>• Info. K2.1: Anforderungen an „Gehäuse hinten“</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Tätigkeiten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Gehäuse hinten“ gestalten</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse hinten“ und „Gehäuse vorn“ gestalten</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Ausgang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse hinten“-v3</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Methoden und Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Gehäuse hinten“ (II)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-14: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Gehäuse hinten“

## Prozessbausteine 7 von 29:

<b>Absichern von „Gehäuse hinten“ (K2)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b>		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 04: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 2)</li> <li>• Id.-Nr. 05: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 3)</li> <li>• Id.-Nr. 07: Entkopplung „Gehäuse vorn“ (Teil 3) und „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 08: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 5)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Absichern</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Gehäuse hinten“-v3</li> <li>• Info. K2.1: Anforderungen an „Gehäuse hinten“</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieflussschnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Gehäuse hinten“ prüfen und absichern</li> <li>• Muster bauen</li> <li>• Untersuchung Nr. 035/72A</li> <li>• Untersuchung Nr. 041/16B</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung „Gehäuse hinten“: i.O./ n.i.O.</li> <li>• Aktualisierte PDM-Daten</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Gehäuse hinten“ (II)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-15: Spezifizierter Prozessbaustein für die Absicherung der Produktkomponente „Gehäuse hinten“

## Prozessbausteine 8 von 29:

<b>Konstruieren von „Rahmen“ (K3.1)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person F		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 11: Freie Schnittstellen an „Rahmen“</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“</li> <li>• Info. K3.1: Anforderungen an „Rahmen“</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrierte Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Gehäuse vorn“ konzipieren</li> <li>• Freie Schnittstellen an „Rahmen“ konzipieren</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Gehäuse hinten“ konzipieren</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v2</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Rahmen“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-16: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Rahmen“

## Prozessbausteine 9 von 29:

<b>Auslegen von „Rahmen“ (K3.1)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person F		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 11: Freie Schnittstellen an „Rahmen“</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v2</li> <li>• Info. K3.1: Anforderungen an „Rahmen“</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrierte Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Gehäuse vorn“ gestalten</li> <li>• Freie Schnittstellen an „Rahmen“ gestalten</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Gehäuse hinten“ gestalten</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v3</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Rahmen“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-17: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Rahmen“

## Prozessbausteine 10 von 29:

<b>Konstruieren von „Rahmen“ (K3.2)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person F		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 11: Freie Schnittstellen an „Rahmen“</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Tank“</li> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v3</li> <li>• Info. K3.2: Anforderungen an „Rahmen“</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Tank“ konzipieren</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v4</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Rahmen“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-18: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Rahmen“

## Prozessbausteine 11 von 29:

Auslegen von „Rahmen“ (K3.2)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person F		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 11: Freie Schnittstellen an „Rahmen“</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Tank“</li> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v4</li> <li>• Info. K3.2: Anforderungen an „Rahmen“</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Tank“ gestalten</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v5</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Rahmen“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-19: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Rahmen“

## Prozessbausteine 12 von 29:

Konstruieren von „Rahmen“ (K3.3)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person F		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 11: Freie Schnittstellen an „Rahmen“</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v5</li> <li>• Info. K3.3: Anforderungen an „Rahmen“</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Netzteil“ konzipieren</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle (nicht integriert) „Netzteil“ und „Rahmen“ konzipieren</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Lüfter“ konzipieren</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v6</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Rahmen“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-20: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Rahmen“

## Prozessbausteine 13 von 29:

<b>Auslegen von „Rahmen“ (K3.3)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person F		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 11: Freie Schnittstellen an „Rahmen“</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b>	<b>Tätigkeiten</b>	<b>Ausgang</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v6</li> <li>• Info. K3.3: Anforderungen an „Rahmen“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Netzteil“ gestalten</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle (nicht integriert) „Netzteil“ und „Rahmen“ gestalten</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Lüfter“ gestalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v7</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Rahmen“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-21: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Rahmen“

## Prozessbausteine 14 von 29:

<b>Absichern von „Rahmen“ (K3)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person F		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 03: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 1)</li> <li>• Id.-Nr. 09: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 6)</li> <li>• Id.-Nr. 10: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 4)</li> <li>• Id.-Nr. 11: Freie Schnittstellen an „Rahmen“</li> <li>• Id.-Nr. 12: Schnittstellen-integration „Gehäuse vorn“</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Absichern</li> </ul>		
<b>Eingang</b>	<b>Tätigkeiten</b>	<b>Ausgang</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Info. K3.1: Anforderungen an „Rahmen“</li> <li>• Info. K3.2: Anforderungen an „Rahmen“</li> <li>• Info. K3.3: Anforderungen an „Rahmen“</li> <li>• Fertigungszeichnung/ CAD-Modell „Rahmen“-v7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrierte Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Rahmen“ absichern</li> <li>• Muster bauen</li> <li>• Untersuchung Nr. 031/57A</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Gehäuse hinten“ absichern</li> <li>• Untersuchung Nr. 063/09B</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Netzteil“ absichern</li> <li>• Untersuchung Nr. 015/01</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“ absichern</li> <li>• Untersuchung Nr. 032/45C</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Lüfter“ absichern</li> <li>• Untersuchung Nr. 017/12</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung „Rahmen“: i.O./ n.i.O.</li> <li>• Aktualisierte PDM-Daten</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Rahmen“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-22: Spezifizierter Prozessbaustein für die Absicherung der Produktkomponente „Rahmen“

## Prozessbaustein 15 von 29:

<b>Konstruieren von „Tank“ (K4)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person B		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 01: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 1)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b>	<b>Tätigkeiten</b>	<b>Ausgang</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Tank“</li> <li>• Info. K4.1: Anforderungen an „Tank“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Tank“)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Tank“ auflösen</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Tank“ und „Rahmen“ konzipieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Tank“-v2</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Tank“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-23: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Tank“

## Prozessbaustein 16 von 29:

<b>Auslegen von „Tank“ (K4)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person B		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 01: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 1)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b>	<b>Tätigkeiten</b>	<b>Ausgang</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Tank“-v2</li> <li>• Info. K4.1: Anforderungen an „Tank“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Tank“)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Tank“ und „Rahmen“ gestalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Tank“-v3</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Tank“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-24: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Tank“

## Prozessbaustein 17 von 29:

<b>Absichern von „Tank“ (K4)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person B		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 01: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 1)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Absichern</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Tank“-v3</li> <li>• Info. K4.1: Anforderungen an „Tank“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Rahmen“ und „Tank“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Gehäuse vorn“ und „Tank“ absichern</li> <li>• Muster bauen</li> <li>• Untersuchung Nr. 036/08A</li> <li>• Untersuchung Nr. 032/22A</li> <li>• Absicherung der Einhaltung aller PSÄ</li> <li>• Absicherung der Einhaltung aller Anforderungen an „Tank“</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung „Tank“: i.O./ n.i.O.</li> <li>• Aktualisierte PDM-Daten</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Tank“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-25: Spezifizierter Prozessbaustein für die Absicherung der Produktkomponente „Tank“

## Prozessbaustein 18 von 29:

<b>Konstruieren von „Zapfhahn“ (K5)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person E		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Zapfhahn“</li> <li>• Info. K5.1: Anforderungen an „Zapfhahn“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Gehäuse vorn“ auflösen</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“ konzipieren</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Zapfhahn“-v2</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Zapfhahn“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-26: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Zapfhahn“

## Prozessbaustein 19 von 29:

<b>Auslegen von „Zapfhahn“ (K5)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person E		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b>	<b>Tätigkeiten</b>	<b>Ausgang</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Zapfhahn“-v2</li> <li>• Info. K5.1: Anforderungen an „Zapfhahn“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“ gestalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Zapfhahn“-v3</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Zapfhahn“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-27: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Zapfhahn“

## Prozessbaustein 20 von 29:

<b>Absichern von „Zapfhahn“ (K5)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person E		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Absichern</li> </ul>		
<b>Eingang</b>	<b>Tätigkeiten</b>	<b>Ausgang</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Zapfhahn“-v3</li> <li>• Info. K5.1: Anforderungen an „Zapfhahn“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“ absichern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung „Zapfhahn“: i.O./ n.i.O.</li> <li>• Aktualisierte PDM-Daten</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Zapfhahn“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-28: Spezifizierter Prozessbaustein für die Absicherung der Produktkomponente „Zapfhahn“

## Prozessbaustein 21 von 29:

<b>Konstruieren von „Kühlbehälter“ (K6)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person E		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Kühlbehälter“</li> <li>• Info. K6.1: Anforderungen an „Kühlbehälter“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“ konzipieren</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Kühlbehälter“-v2</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Kühlbehälter“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-29: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Kühlbehälter“

## Prozessbaustein 22 von 29:

<b>Auslegen von „Kühlbehälter“ (K6)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person E		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Kühlbehälter“-v2</li> <li>• Info. K6.1: Anforderungen an „Kühlbehälter“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“ gestalten</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Kühlbehälter“-v3</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Kühlbehälter“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-30: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Kühlbehälter“

## Prozessbaustein 23 von 29:

<b>Absichern von „Kühlbehälter“ (K6)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person E		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 02: Funktionsübertragung „Gehäuse vorn“ (Teil 2)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Absichern</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Kühlbehälter“-v3</li> <li>• Info. K6.1: Anforderungen an „Kühlbehälter“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Zapfhahn“ und „Kühlbehälter“ absichern</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung „Kühlbehälter“: i.O./ n.i.O.</li> <li>• Aktualisierte PDM-Daten</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Kühlbehälter“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-31: Spezifizierter Prozessbaustein für die Absicherung der Produktkomponente „Kühlbehälter“

## Prozessbaustein 24 von 29:

<b>Konstruieren von „Netzteil“ (K7)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person C		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 04: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 2)</li> <li>• Id.-Nr. 06: Aufteilung Energiefluss</li> <li>• Id.-Nr. 08: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 5)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Netzteil“</li> <li>• Info. K7.1: Anforderungen an „Netzteil“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Gehäuse hinten“ auflösen</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Gehäuse hinten“ auflösen</li> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“ konzipieren</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“ konzipieren</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Netzteil“-v2</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Netzteil“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-32: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Netzteil“

## Prozessbaustein 25 von 29:

<b>Auslegen von „Netzteil“ (K7)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person C		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 04: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 2)</li> <li>• Id.-Nr. 06: Aufteilung Energiefluss</li> <li>• Id.-Nr. 08: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 5)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Netzteil“-v2</li> <li>• Info. K7.1: Anforderungen an „Netzteil“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“ gestalten</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“ gestalten</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Netzteil“-v3</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Netzteil“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-33: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Netzteil“

## Prozessbaustein 26 von 29:

<b>Absichern von „Netzteil“ (K7)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person C		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 04: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 2)</li> <li>• Id.-Nr. 06: Aufteilung Energiefluss</li> <li>• Id.-Nr. 08: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 5)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Absichern</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Netzteil“-v3</li> <li>• Info. K7.1: Anforderungen an „Netzteil“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“ absichern</li> <li>• Energiefluss-Schnittstelle zwischen „Netzteil“ und „Rahmen“ absichern</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung „Netzteil“: i.O./ n.i.O.</li> <li>• Aktualisierte PDM-Daten</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Netzteil“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-34: Spezifizierter Prozessbaustein für die Absicherung der Produktkomponente „Netzteil“

## Prozessbaustein 27 von 29:

Konstruieren von „Lüfter“ (K8)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person C		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Id.-Nr. 05: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 3)</li> <li>Entwicklungsprozessschritt: Konzipieren</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Lüfter“</li> <li>Info. K8.1: Anforderungen an „Lüfter“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Lüfter“ und „Rahmen“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Geometrische Schnittstelle zwischen „Lüfter“ und „Gehäuse hinten“ auflösen</li> <li>Geometrische Schnittstelle zwischen „Lüfter“ und „Rahmen“ konzipieren</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Lüfter“-v2</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Lüfter“ (SI)</li> <li>Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-35: Spezifizierter Prozessbaustein für die Konstruktion der Produktkomponente „Lüfter“

## Prozessbaustein 28 von 29:

Auslegen von „Lüfter“ (K8)		
Verantwortliche Organisationseinheit: Person C		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Id.-Nr. 05: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 3)</li> <li>Entwicklungsprozessschritt: Gestalten</li> </ul>		
<b>Eingang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Lüfter“-v2</li> <li>Info. K8.1: Anforderungen an „Lüfter“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Lüfter“ und „Rahmen“)</li> </ul>	<b>Tätigkeiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Geometrische Schnittstelle zwischen „Lüfter“ und „Rahmen“ gestalten</li> </ul>	<b>Ausgang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Lüfter“-v3</li> </ul>
<b>Methoden und Hilfsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CAD-Software / PDM-System</li> </ul>		
<b>Spezielle Prozessparameter</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Lüfter“ (SI)</li> <li>Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-36: Spezifizierter Prozessbaustein für die Auslegung der Produktkomponente „Lüfter“

## Prozessbaustein 29 von 29:

<b>Absichern von „Lüfter“ (K8)</b>		
<b>Verantwortliche Organisationseinheit:</b> Person C		
<b>Allgemeine Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Id.-Nr. 05: Entkopplung „Gehäuse hinten“ (Teil 3)</li> <li>• Entwicklungsprozessschritt: Absichern</li> </ul>		
<p style="text-align: center;"><b>Eingang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungszeichnung /CAD-Modell „Lüfter“-v3</li> <li>• Info. K8.1: Anforderungen an „Lüfter“ (Geometrische Schnittstelle zwischen „Lüfter“ und „Rahmen“)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Tätigkeiten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Schnittstelle zwischen „Lüfter“ und „Rahmen“ absichern</li> </ul> <hr/> <p style="text-align: center;"><b>Methoden und Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Software / PDM-System</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Ausgang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewertung „Lüfter“: i.O./ n.i.O.</li> <li>• Aktualisierte PDM-Daten</li> </ul>
<b>Spezielle Prozessparameter</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betroffene Produktkomponenten (Klassifizierung): „Lüfter“ (SI)</li> <li>• Änderungsstrategie: korrigierend</li> </ul>		

Abbildung 8-37: Spezifizierter Prozessbaustein für die Absicherung der Produktkomponente „Lüfter“

In Abbildung 8-38 sind die erforderlichen Prozessbausteine zur konstruktiven Umsetzung geplanter Produktstrukturanpassungen für das Fallbeispiel des Wasserspenders dargestellt.

Produktkomponente	Erforderliche Prozessschritte für die konstruktive Umsetzung der Produktstrukturanpassung
Rahmen (SI)	
Tank(SI)	
Zapfhahn (SI)	
Kühlbehälter (SI)	
Netzteil (SI)	
Lüfter (SI)	

Abbildung 8-38: Erforderliche Prozessschritte zur konstruktiven Umsetzung geplanter Produktstrukturanpassungen für das Fallbeispiel des Wasserspenders (Ergänzung zu Abbildung 5-21)

## 9. Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung

Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

Dissertationen betreut von

Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker,

Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel und

Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:  
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode. München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:  
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.  
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:  
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.  
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:  
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.  
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:  
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.  
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:  
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.  
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:  
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.  
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:  
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.  
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:  
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.  
München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:  
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1978.

- D11 HEISIG, R.:  
Längencodierer mit Hilfsbewegung.  
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:  
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:  
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.  
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60).  
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:  
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.  
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:  
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.  
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:  
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.  
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:  
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:  
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.  
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:  
Kostenanalyse von Stirnzahnradern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.  
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:  
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.  
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985. Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:  
Konstruieren als gedanklicher Prozess.  
München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMANN, H. J.:  
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.  
München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:  
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gussgehäusen.  
München: TU, Diss. 1987.
- D24 JOHN, T.:  
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.  
München: TU, Diss. 1987.

- D25 FIGEL, K.:  
Optimieren beim Konstruieren.  
München: Hanser 1988. Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

## Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:  
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems.  
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1). Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.
- D27 PICKEL, H.:  
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.  
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2). Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITSTEINER, H.-J.:  
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.  
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3). Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:  
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluss an ein CAD-System.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:  
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.:  
Datenbankgestützte Teilverwaltung und Wiederholteilsuche.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:  
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D33 SCHAAL, S.:  
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.  
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D34 BRAUNSPERGER, M.:  
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie.  
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:  
Systematischer Entwicklungsprozess am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:  
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D37 WACH, J. J.:  
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

- D38 LENK, E.:  
Zur Problematik der technischen Bewertung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:  
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D40 SCHIEBELER, R.:  
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D41 BRUCKNER, J.:  
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:  
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D43 SCHLÜTER, A.:  
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:  
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D45 STOLZ, P.:  
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:  
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:  
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:  
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.  
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D49 DANNER, S.:  
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:  
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25). Zugl. München: TU, Diss. 1996 u. d. T.: MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem
- D51 AMBROSY, S.:  
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D52 GIAPOULIS, A.:  
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27). Zugl. München: TU, Diss. 1996.

- D53 STEINMEIER, E.:  
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D54 KLEEDÖRFER, R.:  
Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D55 GÜNTHER, J.:  
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIERSACK, H.:  
Methode für Kraftereinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.  
München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:  
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:  
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖSSER, R.:  
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:  
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:  
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:  
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

## Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:  
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D64 ASSMANN, G.:  
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:  
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D66 DEMERS, M. T.  
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

- D67 STETTER, R.:  
Method Implementation in Integrated Product Development.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D68 VIERTLBÖCK, M.:  
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D69 COLLIN, H.:  
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:  
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:  
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:  
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:  
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:  
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D75 SCHWANKL, L.:  
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:  
Elementarmethoden zur Lösungssuche.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:  
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D78 GERST, M.:  
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 52). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D79 AMFT, M.:  
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.  
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung München, Band 53). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D80 FÖRSTER, M.:  
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.  
München: TU, Diss. 2003.
- D81 GRAMANN, J.:  
Problemmodelle und Bionik als Methode.  
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 55). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D82 PULM, U.:  
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56). Zugl. München: TU, Diss. 2004.

- D83 HUTTERER, P.:  
Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 57). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D84 FUCHS, D.:  
Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 58). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D85 PACHE, M.:  
Sketching for Conceptual Design.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 59). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D86 BRAUN, T.:  
Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D87 JUNG, C.:  
Anforderungsklä rung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 61). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D88 HEBLING, T.:  
Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 62). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D89 STRICKER, H.:  
Bionik in der Produktentwicklung unter der Berücksichtigung menschlichen Verhaltens.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 63). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D90 NIßL, A.:  
Modell zur Integration der Zielkostenverfolgung in den Produktentwicklungsprozess.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 64). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D91 MÜLLER, F.:  
Intuitive digitale Geometriemodellierung in frühen Entwicklungsphasen.  
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 65). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D92 ERDELL, E.:  
Methodenanwendung in der Hochbauplanung – Ergebnisse einer Schwachstellenanalyse.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 66). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D93 GAHR, A.:  
Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D94 RENNER, I.:  
Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D95 PONN, J.:  
Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D96 HERFELD, U.:  
Matrix-basierte Verknüpfung von Komponenten und Funktionen zur Integration von Konstruktion und numerischer Simulation.  
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 70). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D97 SCHNEIDER, S.:  
Model for the evaluation of engineering design methods.  
München: Dr. Hut 2008 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.

- D98 FELGEN, L.:  
Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D99 GRIEB, J.:  
Auswahl von Werkzeugen und Methoden für verteilte Produktentwicklungsprozesse.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D100 MAURER, M.:  
Structural Awareness in Complex Product Design.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D101 BAUMBERGER, C.:  
Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D102 KEIJZER, W.:  
Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken – ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D103 LORENZ, M.:  
Handling of Strategic Uncertainties in Integrated Product Development.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2008.
- D104 KREIMEYER, M.:  
Structural Measurement System for Engineering Design Processes.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D105 DIEHL, H.:  
Systemorientierte Visualisierung disziplinübergreifender Entwicklungsabhängigkeiten mechatronischer Automobilsysteme.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D106 DICK, B.:  
Untersuchung und Modell zur Beschreibung des Einsatzes bildlicher Produktmodelle durch Entwicklerteams in der Lösungssuche.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D107 GAAG, A.:  
Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D108 ZIRKLER, S.:  
Transdisziplinäres Zielkostenmanagement komplexer mechatronischer Produkte.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D109 LAUER, W.:  
Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D110 MEIWALD, T.:  
Konzepte zum Schutz vor Produktpiraterie und unerwünschtem Know-how-Abfluss.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D111 ROELOFSEN, J.:  
Situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D112 PETERMANN, M.:  
Schutz von Technologiewissen in der Investitionsgüterindustrie.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.

- D113 GORBEA, C.:  
Vehicle Architecture and Lifecycle Cost Analysis in a New Age of Architectural Competition.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D114 FILOUS, M.:  
Lizenzierungsgerechte Produktentwicklung – Ein Leitfaden zur Integration lizenzierungsrelevanter Aktivitäten in Produktentstehungsprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D115 ANTON, T.:  
Entwicklungs- und Einführungsmethodik für das Projektierungswerkzeug Pneumatiksimulation.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D116 KESPER, H.:  
Gestaltung von Produktvariantenspektren mittels matrixbasierter Methoden.  
München: Dr. Hut 2012 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2012.
- D117 KIRSCHNER, R.:  
Methodische Offene Produktentwicklung.  
München: TU, Diss. 2012.
- D118 HEPPELE, C.:  
Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel.  
München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2013.
- D119 HELLENBRAND, D.:  
Transdisziplinäre Planung und Synchronisation mechatronischer Produktentwicklungsprozesse.  
München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2013.
- D120 EBERL, T.:  
Charakterisierung und Gestaltung des Fahr-Erlebens der Längsführung von Elektrofahrzeugen.  
München: TU, Diss. 2014.
- D121 KAIN, A.:  
Methodik zur Umsetzung der Offenen Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D122 ILIE, D.:  
Systematisiertes Ziele- und Anforderungsmanagement in der Fahrzeugentwicklung.  
München: Dr. Hut 2013 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2013.
- D123 HELTEN, K.:  
Einführung von Lean Development in mittelständische Unternehmen - Beschreibung, Erklärungsansatz und Handlungsempfehlungen.  
München: Dr. Hut 2015 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D124 SCHRÖER, B.:  
Lösungskomponente Mensch. Nutzerseitige Handlungsmöglichkeiten als Bausteine für die kreative Entwicklung von Interaktionslösungen.  
München: TU, Diss. 2014.
- D125 KORTLER, S.:  
Absicherung von Eigenschaften komplexer und variantenreicher Produkte in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D126 KOHN, A.:  
Entwicklung einer Wissensbasis für die Arbeit mit Produktmodellen.  
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D127 FRANKE, S.:  
Strategieorientierte Vorentwicklung komplexer Produkte – Prozesse und Methoden zur zielgerichteten Komponententwicklung am Beispiel Pkw.  
Göttingen: Cuvillier, E 2014. Zugl. München: TU, Diss. 2014.

- D128 HOOSHMAND, A.:  
Solving Engineering Design Problems through a Combination of Generative Grammars and Simulations.  
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D129 KISSEL, M.:  
Mustererkennung in komplexen Produktportfolios.  
München: TU, Diss. 2014.
- D130 NIES, B.:  
Nutzungsgerechte Dimensionierung des elektrischen Antriebssystems für Plug-In Hybride.  
München: TU, Diss. 2014.
- D131 KIRNER, K.:  
Zusammenhang zwischen Leistung in der Produktentwicklung und Variantenmanagement – Einflussmodell und Analyseverfahren.  
München: Dr. Hut 2014 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D132 BIEDERMANN, W.:  
A minimal set of network metrics for analysing mechatronic product concepts.  
München: TU, Diss. 2015.
- D133 SCHENKL, S.:  
Wissensorientierte Entwicklung von Produkt-Service-Systemen.  
München: TU, Diss. 2015.
- D134 SCHRIEVERHOFF, P.:  
Valuation of Adaptability in System Architecture.  
München: Dr. Hut 2015 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2014.
- D135 METZLER, T.:  
Models and Methods for the Systematic Integration of Cognitive Functions into Product Concepts.  
München: Dr. Hut 2016 (Reihe Produktentwicklung).
- D136 DEUBZER, F.:  
A Method for Product Architecture Management in Early Phases of Product Development.  
München: TU, Diss. 2016.
- D137 SCHÖTTL, F.:  
Komplexität in sozio-technischen Systemen - Methodik für die komplexitätsgerechte Systemgestaltung in der Automobilproduktion.  
München: Dr. Hut 2016 (Reihe Produktentwicklung).
- D138 BRANDT, L. S.:  
Architekturgesteuerte Elektrik/Elektronik Baukastenentwicklung im Automobil  
München: TU, Diss. 2017.
- D139 BAUER, W.:  
Planung und Entwicklung änderungsrobuster Plattformarchitekturen  
München: Dr. Hut 2016 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2016.
- D140 ELEZI, F.:  
Supporting the Design of Management Control Systems In Engineering Companies from Management Cybernetics Perspective  
München: TU, Diss. 2015.
- D141 BEHNCKE, F. G. H.:  
Beschaffungsgerechte Produktentwicklung – Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Entwicklung  
München: TU, Diss. 2017.
- D142 ÖLMEZ, M.:  
Individuelle Unterstützung von Entscheidungsprozessen bei der Entwicklung innovativer Produkte.  
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).

- D143 SAUCKEN, C. C. V.:  
Entwicklerzentrierte Hilfsmittel zum Gestalten von Nutzererlebnissen.  
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).
- D144 KASPEREK, D.:  
Structure-based System Dynamics Analysis of Engineering Design Processes  
München: TU, Diss. 2016.
- D145 LANGER, S. F.:  
Kritische Änderungen in der Produktentwicklung – Analyse und Maßnahmenableitung  
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).
- D146 HERBERG, A. P.:  
Planung und Entwicklung multifunktionaler Kernmodule in komplexen Systemarchitekturen und –portfolios – Methodik zur Einnahme einer konsequent modulzentrierten Perspektive  
München: TU, Diss. 2017.
- D147 HASHEMI FARZANEH, H.:  
Bio-inspired design: Ideation in collaboration between mechanical engineers and biologists  
München: TU, Diss. 2017.
- D148 HELMS, M. K.:  
Biologische Publikationen als Ideengeber für das Lösen technischer Probleme in der Bionik  
München: TU, Diss. 2017.
- D149 GÜRTLER, M. R.:  
Situational Open Innovation – Enabling Boundary-Spanning Collaboration in Small and Medium-sized Enterprises  
München: TU, Diss. 2016.
- D150 WICKEL, M. C.:  
Änderungen besser managen – Eine datenbasierte Methodik zur Analyse technischer Änderungen  
München: TU, Diss. 2017.
- D151 DANILIDIS, C.:  
Planungsleitfaden für die systematische Analyse und Verbesserung von Produktarchitekturen  
München: TU, Diss. 2017.
- D152 MICHALIDOU, I.:  
Design the experience first: A scenario-based methodology for the design of complex, tangible consumer products  
München: TU, Diss. 2017.
- D153 SCHMIDT, D.M.:  
Increasing Customer Acceptance in Planning Product-Service Systems  
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2017.
- D154 ROTH, M.:  
Efficient Safety Method Kit for User-driven Customization  
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).
- D155 PLÖTNER, M.:  
Integriertes Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung  
München: TU, Diss. 2018.
- D156 HERBST, L.-M.:  
Entwicklung einer Methodik zur Ermittlung raumfunktionaler Kundenanforderungen in der Automobilentwicklung  
München: Dr. Hut 2017 (Reihe Produktentwicklung).
- D157 KAMMERL, D. M. A.:  
Modellbasierte Planung von Produkt-Service-Systemen  
München: Dr. Hut 2018 (Reihe Produktentwicklung).

- D158 MÜNZBERG, C. H. W.:  
Krisen in der Produktentwicklung und ihre operative Bewältigung  
München: TU, Diss. 2018.
- D159 HEIMBERGER, N.:  
Strukturbasierte Koordinationsplanung in komplexen Entwicklungsprojekten  
München: TU, Diss. 2018.
- D160 LANG, A.:  
Im Spannungsfeld zwischen Risiken und Chancen – Eine Methode zur Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Öffnung der Produktentwicklung  
München: Dr. Hut 2018 (Reihe Produktentwicklung).
- D161 ALLAVERDI, D.:  
Systematic identification of Flexible Design Opportunities in offshore drilling systems  
München: Dr. Hut 2018 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2018.



Für meine Eltern