

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Lehrstuhl für Produktentwicklung

# **Beschaffungsgerechte Produktentwicklung**

## **Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Entwicklung**

**Florian Georg Hans Behncke**

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

### **Doktor-Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann  
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause  
Technische Universität Hamburg-Harburg

Die Dissertation wurde am 12.11.2015 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen  
am 31.08.2016 angenommen.



# VORWORT DES HERAUSGEBERS

## **Problemstellung**

Die Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks produzierender Unternehmen mit geringem eigenem Wertschöpfungsanteil bestimmt über deren wirtschaftlichen Erfolg inmitten des Wandels der Weltwirtschaft und der resultierenden Intensivierung wettbewerbsstrategischer Faktoren. In frühen Phasen der Produktentwicklung stellen Unternehmen die Weichen in diesem turbulenten Umfeld und reagieren mit einer Fragmentierung des Liefernetzwerks sowie der Dekomposition des technischen Produkts. Die zielgerichtete Gestaltung und Abstimmung der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks in diesen Entwicklungsphasen verspricht eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks.

Die Gestaltung und Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk ist in beiden Domänen durch begrenzte Informationen während früher Entwicklungsphasen charakterisiert und erfordert eine Verankerung in den Geschäftsprozessen der Entwicklung wie auch der Beschaffung.

## **Zielsetzung**

Diese Arbeit liefert einen Beitrag im Forschungsfeld der beschaffungsgerechten Produktentwicklung und fokussiert sich auf die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks aus der Herstellerperspektive stellt die übergeordnete Zielsetzung dieser Arbeit dar, welche von der Zusammensetzung des Liefernetzwerks und der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk bestimmt wird. Die handlungsleitende Zielsetzung der vorliegenden Dissertation ist daher die methodische Unterstützung der Abstimmung und der Bewertung der Gestaltung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk.

## **Ergebnisse**

Ergebnis dieser Arbeit ist ein Lösungsansatz zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen. Dieser besteht aus drei vernetzten Bausteinen, welche auf die Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks als übergeordnete Zielsetzung dieser Arbeit abzielen.

Die Methodik zur Abstimmung stellt den Kern der Bausteine dar. Sie fokussiert die Abstimmung in frühen Entwicklungsphasen. Dafür zieht die Methodik ausschließlich Strukturinformationen heran, welche in einem Systemmodell dokumentiert werden. Für die Abstimmung werden sämtliche Szenarios für die Produktarchitektur und das Liefernetzwerk berücksichtigt. Diese Szenarios werden abschließend über einen Konformitätsindex gegenübergestellt.

Die methodische Grundlage für die Methodik zur Abstimmung stellt das Clusterverfahren für Matrixmethoden bereit. Das Verfahren bereitet sämtliche Szenarios in Form von Clusteralternativen mittels Kombinatorik auf. Zudem werden die Szenarios über Strukturmetriken bewertet. Das Verfahren erlaubt die umfassende Untersuchung des Lösungsraums und priorisiert die Einschränkung des Lösungsraums gegenüber einer kurzen Bearbeitungszeit.

Mit dem Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung werden relevante Aktivitäten zur Abstimmung in den Geschäftsprozessen verankert. Die Aktivitäten umfassen die Gestaltung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk über die Entwicklungsphasen von der Produktplanung bis zur Systementwicklung. Der essentielle Teil des Leitfadens stellt eine Methode zur Bewertung der Zusammensetzung des Liefernetzwerks dar.

### **Folgerung für die industrielle Praxis**

Die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen ist eine Herausforderung für produzierende Unternehmen mit geringem eigenem Wertschöpfungsanteil. Die Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks entscheidet bei diesen Unternehmen maßgeblich über den wirtschaftlichen Erfolg. Der erarbeitete Lösungsansatz dieser Dissertation forciert durch die Methodik zur Abstimmung bereits in frühen Entwicklungsphasen einen Konsens zwischen den Stoßrichtungen von Entwicklung und Beschaffung, welche sich in der Produktarchitektur und dem Liefernetzwerk manifestieren. Mit dem Leitfaden und der Methodik wird die Kompromissbildung zwischen Entwicklung und Beschaffung für den spezifischen Anwendungsfall im Unternehmen ermöglicht. Als Vorbereitung für die Entscheidungsfindung an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Beschaffung und als Ergänzung der Arbeit in SE-Teams bereiten die Methodik zur Abstimmung und das Clusterverfahren verschiedene Lösungsalternativen auf. Dies erlaubt die Berücksichtigung weiterer Domänen, welche nicht explizit von dem Lösungsansatz adressiert werden oder nicht durch den Anwender formalisiert zu erfassen sind.

### **Folgerung für Forschung und Wissenschaft**

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur Gestaltung beschaffungsgerechter Produkte mit Fokus auf die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Mit der Methodik wird über die Nutzung von Strukturinformationen die Abstimmung im Vergleich zu bisherigen Ansätzen bereits in frühen Entwicklungsphasen ermöglicht. Zudem werden Ansätze des strukturellen Komplexitätsmanagements für dieses Anwendungsfeld instanziiert.

Der Leitfaden fasst relevante Aktivitäten für die Abstimmung in Entwicklung und Beschaffung zusammen und formalisiert deren Einfluss auf die Ausgestaltung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Die Methode zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv bricht bestehende Vorgehensweisen in der Lieferantenauswahl auf und stellt die Bemessung der Lieferleistung von Lieferanten in Abhängigkeit von der spezifischen Konfiguration des Liefernetzwerks dar.

Das Clusterverfahren ergänzt das bestehende Repertoire an Verfahren mit Schwerpunkt auf der umfassenden Untersuchung des gesamten Lösungsraums an Clusteralternativen und eröffnet neue Wege für das Clustering komplexer Strukturen unter Polytelie.

Garching, September 2017

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

## DANKSAGUNG

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München im Zeitraum von November 2010 bis Dezember 2015.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann. Die wissenschaftliche Freiheit in Verbindung mit konstruktiver Kritik bildete die Grundlage für das Gelingen meiner Arbeit. Sein Vertrauen, die gestalterischen Freiräume und seine Unterstützung erlaubten mir, den Spagat zwischen Beruf, Dissertation und Familie erfolgreich zu meistern.

Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause vom Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg danke ich für die Übernahme der Zweitberichterstattung. Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission und die Abwicklung des Promotionsverfahrens danke ich Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh vom Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München.

Meinem Mentor Dr.-Ing. Markus Mörtl gilt besonderer Dank für sein Feedback und bedingungslose Unterstützung. Herrn Nikolaus Gerhardt danke ich stellvertretend für die projektbeteiligten Mitarbeiter der Webasto Thermo & Comfort SE für die Unterstützung der Evaluation. Gemeinsam mit den Projektkollegen Harrys Daniilidis und Fatos Elezi haben sie mit der anregenden und offenen Arbeitsatmosphäre maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Meinen Kolleginnen und Kollegen möchte ich für die familiäre Atmosphäre und gute Zusammenarbeit danken. Die Persönlichkeit, Expertise und Inspiration von Stefan Langer und Clemens Hepperle brachten mich an den Lehrstuhl und waren steter Ansporn am Lehrstuhl und in der Geschäftsführung des SFB 768 der DFG. Bei Andreas Kohn und Maik Holle bedanke ich mich für die angenehme Zeit als Bürokollegen. Für die fruchtbaren Diskussionen bedanke ich mich bei Nepomuk Chucholowski, Katharina Helms, Daniel Kammerl, Christopher Münzberg und Martina Wickel. Meinen Studierenden danke ich für ihr Engagement und möchte stellvertretend Doris Maurer, Lukas Schrenk und Julian Wilberg nennen.

Besonderer Dank gilt Sebastian Maisenbacher, Sebastian Schenkl und Florian Schöttl, welche nicht zuletzt durch die anspornende Zusammenarbeit in einer fordernd-feindseligen Arbeitsatmosphäre keinen Zweifel an der Exzellenz der Ergebnisse aufkommen ließen und meiner Arbeit als unerbittlich ehrliche Feedbackgeber den letzten Feinschliff verliehen haben.

Meinem Vater verdanke ich meine Faszination für Technik, welche durch die stete Förderung und den Rückhalt meiner Mutter während meiner Ausbildung die Grundlage für diese Arbeit bildet. Meiner Verlobten möchte ich von Herzen für die selbstlose Unterstützung, die unendliche Geduld und den bedingungslosen Rückhalt danken, welche das Gelingen dieser Arbeit ermöglichte. Zuletzt danke ich meinem geliebten Sohn, welcher mir Gedankenschwere beim Schreiben dieser Arbeit mit einem Lächeln in Sekundenschnelle zu nehmen wusste.

Garching, November 2015

Florian G. H. Behncke



## VORVERÖFFENTLICHUNGEN:

- Behncke, F. G. H.; Abele, K.; Lindemann, U.: Impact of product design decisions within product development on the supplier selection process at the automotive industry. The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2011). Singapur 2011.
- Behncke, F. G. H.; Daniilidis, H.; Elezi, F.: Projektabschlussbericht – Optimierung von Produktarchitekturen am Beispiel des Heizgeräts TT-EVO. Unveröffentlichter Abschlussbericht. München 2013.
- Behncke, F. G. H.; Ehrhardt, J.; Lindemann, U.: Models for the Optimization of Supply Chains A Literature Review. The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2013). Bangkok, Thailand 2013.
- Behncke, F. G. H.; Kübel, T.; Lindemann, U.: Supplier evaluation based on a product's architecture. 15th International Dependency and Structure Modelling Conference (DSM 2013). Melbourne, Australien 2013.
- Behncke, F. G. H.; Eichinger, J.; Lindemann, U.: Involvement of procurement in the product creation process: A systematization scheme of measures. *Procedia CIRP Variety Management in Manufacturing* 17 (2014), S. 356–361.
- Behncke, F. G. H.; Holstein, J.; Lindemann, U.: Method for the Supplier Selection in Supply Chain Networks An Approach of Structural Complexity Management. 8th Annual IEEE Systems Conference (SysCon 2014). Ottawa, Kanada 2014.
- Behncke, F. G. H.; Maurer, D.; Schrenk, L.; Schmidt, D. M.; Lindemann, U.: Clustering Technique for DSMs. 16th International Dependency and Structure Modelling Conference (DSM 14). Paris, Frankreich 2014.
- Behncke, F. G. H.; Walter, F.; Lindemann, U.: Procedure to Match the Supply Chain Network Design with a Products' Architecture. *Procedia CIRP Variety Management in Manufacturing* 17 (2014), S. 272–277.
- Behncke, F. G. H.; Kayser, L.; Lindemann, U.: Matching product architecture and supply network – Systematic review and future research. 20th International Conference on Engineering Design (ICED15). Mailand, Italien 2015.
- Behncke, F. G. H.; Thimet, P.; Barton, B.; Lindemann, U.: Influence of Design-for-X guidelines on the matching between the product architecture and supply network. 20th International Conference on Engineering Design (ICED15). Mailand, Italien 2015.



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Handlungsfelder und Zielsetzung	3
1.3 Thematische Einordnung und Abgrenzung	4
1.4 Forschungsmethodischer Ansatz	6
1.5 Erfahrungs- und Datengrundlage	8
1.6 Struktur und Aufbau	10
<b>2. Theoretische Einführung</b>	<b>13</b>
2.1 Einführung in die Produktentwicklung	13
2.1.1 Produktarchitektur: Terminologisch-thematische Einführung	13
2.1.2 Produktarchitektur: Evolution im Produktentwicklungsprozess	19
2.2 Einführung in die Beschaffung	22
2.2.1 Liefernetzwerk: Terminologisch-thematische Einführung	22
2.2.2 Liefernetzwerk: Evolution im Beschaffungsprozess	26
2.3 Implikationen aus der theoretischen Einführung	30
<b>3. Methodische Grundlagen</b>	<b>31</b>
3.1 Methodische Grundlagen zur Produktarchitektur	31
3.1.1 Produktarchitektur: Ansätze zur Modellierung	31
3.1.2 Produktarchitektur: Einfluss auf die Ausgestaltung	36
3.2 Methodische Grundlagen zum Liefernetzwerk	41
3.2.1 Liefernetzwerk: Ansätze zur Modellierung	41
3.2.2 Liefernetzwerk: Einfluss auf die Ausgestaltung	44
3.3 Implikationen aus den methodischen Grundlagen	50
<b>4. Stand der Forschung und Technik</b>	<b>51</b>
4.1 Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung	51
4.1.1 Gestaltungsrichtlinien: Auswahl relevanter Ansätze	51
4.1.2 Gestaltungsrichtlinien: Beschreibung relevanter Ansätze	52

4.1.3	Gestaltungsrichtlinien: Gegenüberstellung relevanter Ansätze	55
4.2	Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk	58
4.2.1	Abstimmung: Auswahl relevanter Ansätze	58
4.2.2	Abstimmung: Beschreibung relevanter Ansätze	59
4.2.3	Abstimmung: Gegenüberstellung relevanter Ansätze	63
4.3	Clusterverfahren für Matrixmethoden	67
4.3.1	Clusterverfahren: Auswahl relevanter Ansätze	67
4.3.2	Clusterverfahren: Beschreibung relevanter Ansätze	68
4.3.3	Clusterverfahren: Gegenüberstellung relevanter Ansätze	71
4.4	Implikationen aus dem Stand der Forschung und Technik	74
<b>5.</b>	<b>Problematik und Anforderungen</b>	<b>75</b>
5.1	Handlungsleitende Problematik für den Lösungsansatz	75
5.2	Handlungsleitende Anforderungen an den Lösungsansatz	77
<b>6.</b>	<b>Lösungsansatz zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk</b>	<b>81</b>
6.1	Einführung zum Lösungsansatz	81
6.1.1	Lösungsansatz: Überblick und Struktur	81
6.1.2	Lösungsansatz: Voraussetzungen und Grundlagen	83
6.1.3	Lösungsansatz: Anwendungsbeispiel	88
6.2	Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung	90
6.2.1	Leitfaden: Klärung des Anwendungsgebiets	90
6.2.2	Leitfaden: Anwendung und Beschreibung	91
6.2.3	Leitfaden: Zusammenfassung und Ergebnisbeitrag	104
6.3	Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk	105
6.3.1	Methodik: Klärung des Anwendungsgebiets	105
6.3.2	Methodik: Beschreibung der Anwendung	106
6.3.3	Methodik: Zusammenfassung des Ergebnisbeitrags	120
6.4	Clusterverfahren für Matrixmethoden	122
6.4.1	Clusterverfahren: Klärung des Anwendungsgebiets	122
6.4.2	Clusterverfahren: Anwendung und Beschreibung	123
6.4.3	Clusterverfahren: Zusammenfassung und Ergebnisbeitrag	134
6.5	Zusammenfassung des Lösungsansatzes	135

---

<b>7. Evaluation des Lösungsansatzes</b>	<b>137</b>
7.1 Konzept zur Evaluation des Lösungsansatzes	137
7.2 Leitfaden: Anwendungsevaluation	139
7.3 Methodik: Anwendungsevaluation	144
7.4 Clusterverfahren: Erfolgsevaluation	150
7.5 Ergebnisbeitrag und Grenzen des Lösungsansatzes	154
<b>8. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>155</b>
8.1 Zusammenfassung und Implikationen	155
8.2 Ausblick und Forschungsdirektiven	157
<b>9. Verzeichnisse</b>	<b>159</b>
9.1 Abkürzungsverzeichnis	159
9.2 Literaturverzeichnis	161
9.3 Studienarbeitenverzeichnis	196
<b>10. Anhang</b>	<b>199</b>
10.1 Ergänzung zu der theoretischen Einführung	199
10.2 Ergänzung zu den methodischen Grundlagen	202
10.3 Ergänzung zum Stand der Forschung und Technik	216
10.4 Ergänzung zum Lösungsansatz	220
10.5 Ergänzung zur Evaluation des Lösungsansatzes	232
<b>11. Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung</b>	<b>237</b>



# 1. Einleitung

*Dieses Kapitel führt in das Forschungsvorhaben zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung ein. Aus der Ausgangssituation wird für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk motiviert und die handlungsleitende Zielsetzung der vorliegenden Dissertation abgeleitet. Diese wird in Kapitel 5 konkretisiert und manifestiert sich in der thematischen Einordnung und Abgrenzung des Forschungsvorhabens. Um die Nachvollziehbarkeit der Forschungsergebnisse zu gewährleisten, werden der forschungsmethodische Ansatz sowie die Erfahrungs- und Datengrundlage des Forschungsvorhabens erläutert. Im abschließenden Kapitel werden die resultierende Struktur und der Aufbau der vorliegenden Dissertation vorgestellt.*

## 1.1 Ausgangssituation und Motivation

Der Wandel der Weltwirtschaft manifestiert sich über die zunehmende Globalisierung von Absatz- und Beschaffungsmärkten und der steigenden Dynamik des Unternehmensumfelds in der Intensivierung des Wettbewerbs in der produzierenden Industrie [RADTKE ET AL. 2004, S. 15ff.; HOFBAUER ET AL. 2009, S. 4]. In gesättigten Märkten unterscheiden sich konkurrierende Produkte unwesentlich in technischen Leistungsmerkmalen, sodass sich produzierende Unternehmen einem erhöhten Preis- und Kostendruck gegenübersehen [RADTKE ET AL. 2004, S. 15ff.].

Mit der Sättigung der Märkte hat sich zudem der Wandel von Verkäufer- zu Käufermärkten vollzogen, weshalb die Befriedigung der individuellen Kundenwünsche höchste Priorität genießen [KRAUSE 2012, S. 659; PICOT ET AL. 2003, S. 30–37]. In der Konsequenz fokussieren sich produzierende Unternehmen auf die kundenindividuelle Massenfertigung, welche die Komplexität und Dynamik der Leistungserbringung verschärfen [PILLER 2006, S. 53ff.; FEITZINGER & LEE 1997]. PILLER [2006, S. 54] fasst die Situation in der industriellen Praxis als wettbewerbsstrategische Faktoren zusammen. Diese Faktoren rufen einen elementaren Wandel in der Entwicklung und der Beschaffung hervor.

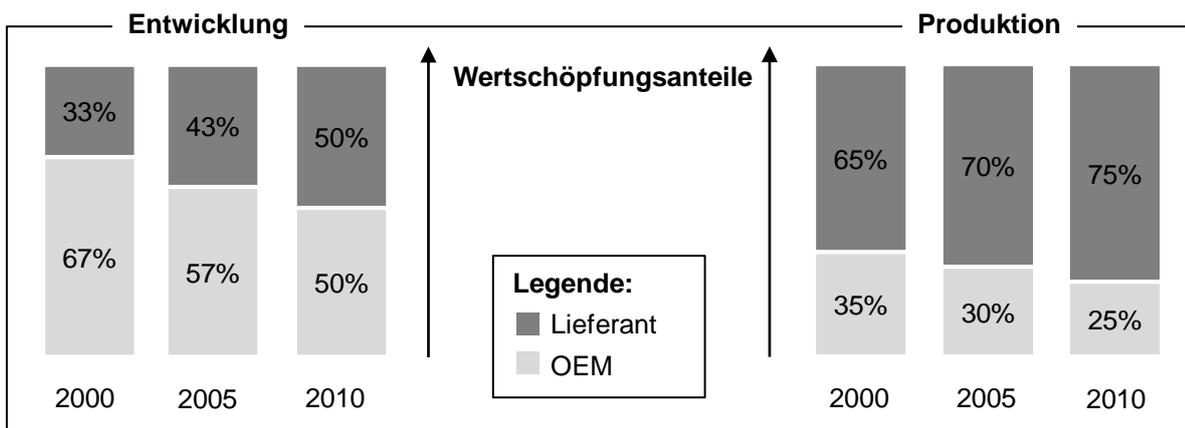
**Wandel in der Entwicklung:** Produzierende Unternehmen reagieren auf diese wettbewerbsstrategischen Faktoren mit der Entwicklung einer hohen Anzahl an Varianten in ihrem Produktprogramm [STOCKMAR 2004, S. 17ff.]. Die resultierende Varianz gefährdet die Kostensituation des Unternehmens durch die inhärente Komplexität [BROSCH 2014, S. 8ff.; ALDERS 2006, S. 221ff.], sodass die strategische Stoßrichtung als Abdeckung der geforderten Variantenvielfalt vom Markt durch eine möglichst geringe Produktvielfalt im Unternehmen zu formulieren ist. Diese Stoßrichtung wird von KRAUSE ET AL. [2014] mit dem integrierten PKT-Ansatz<sup>1</sup> zur Entwicklung modularer Produktfamilien adressiert und ist Sinnbild für die Reaktion innovativer Branchen wie dem Maschinenbau oder der Automobilindustrie. In diesen Branchen wird den wettbewerbsstrategischen Faktoren mit modularen Produktfamilien begegnet. Diese führen zur zunehmenden Dekomposition des einzelnen Produkts in funktional und geometrisch unabhängige Module und Systeme [WILHELM 2001, S. 13].

---

<sup>1</sup> Ansatz des Instituts für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der TU Hamburg-Harburg.

Ferner bewegen die wettbewerbsstrategischen Faktoren Unternehmen zu einer Verkürzung der Produktlebenszyklen, was sich einerseits in einer Verkürzung des Zeitfensters für die Gewinnerzielung und andererseits in einer Parallelisierung von Aktivitäten im Entwicklungsprozess manifestiert [EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 207ff.; WILDEMANN 2013, S. 9]. Unter dem Begriff des Simultaneous Engineering werden betroffene Funktionsbereiche frühzeitig in die Entwicklung eingebunden und richten sich auf die Arbeit mit der Produktarchitektur aus [CAMPAGNOLO & CAMUFFO 2009]. Die Unternehmensführung visiert insbesondere die frühzeitige Einbindung der Beschaffung in die Entwicklung an [SCHREINER ET AL. 2012, S. 19 und 26].

**Wandel in der Beschaffung:** Die wettbewerbsstrategischen Faktoren bei Originalteilherstellern (OEM) des produzierenden Gewerbes fördern die Konzentration auf Kernkompetenzen und bedingen den Erwerb von Kompetenzen am Beschaffungsmarkt [PRAHALAD ET AL. 2000]. In der Folge haben Originalteilhersteller erhebliche Anteile der industriellen Wertschöpfung in Entwicklung und Produktion zu den Lieferanten verlagert [BARDI 2002, S. 10; VDA 2012]. In Abbildung 1-1 wird diese Verlagerung am Beispiel der Automobilindustrie dargestellt und ist Manifest der Relevanz der Beschaffung für den Unternehmenserfolg [WILDEMANN 2008, S. 2ff.]. SCHREINER ET AL. [2012, S. 12] zeigen in ihrer Industriestudie die steigende Bedeutung der beschaffungsgerechten Produktgestaltung in der Praxis auf.



**Abbildung 1-1: Verlagerung der Wertschöpfungsanteile in Entwicklung und Produktion**

(In Anlehnung an BARDI [2002, S. 10])

Mit der Verlagerung der Wertschöpfungsanteile an die Lieferanten hat sich zudem eine zunehmende Fragmentierung des Liefernetzwerks ergeben, bei der Originalteilhersteller mit weniger Lieferanten direkt in Kontakt stehen [KUREK 2004, S. 21ff.]. Systemlieferanten bündeln Beschaffungsumfänge und übernehmen Verantwortung für die Entwicklung und Produktion von gesamten Modulen und Systemen [FELDHUSEN & GROTE 2013A, S. 7; STRUB 1998, S. 444–446]. Der Originalteilhersteller fokussiert sich hingegen auf die Integration der Beschaffungsumfänge und die Gestaltung des Liefernetzwerks [KUREK 2004, S. 22–23]. Dabei nimmt die Komplexität des Liefernetzwerks zu [SERDARASAN 2013]. Der wirtschaftliche Erfolg des Originalteilherstellers hängt in der Folge von der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks ab [D'AVANZO ET AL. 2003].

## 1.2 Handlungsfelder und Zielsetzung

Der Unternehmenserfolg ist die übergeordnete Zielsetzung unternehmerischen Handelns. Die vorliegende Dissertation adressiert diese Zielsetzung durch eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks produzierender Unternehmen innovativer Branchen im Wandel der Entwicklung und Beschaffung. Für die Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks ergeben sich aus der Fachliteratur drei Handlungsfelder:

- Individuelle Leistungsfähigkeit der Lieferanten [JANKER 2008, S. 362],
- Zusammensetzung und Struktur des Liefernetzwerks [ROSEIRA ET AL. 2010],
- Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk [GAN & GRUNOW 2013].

Die **individuelle Leistungsfähigkeit der Lieferanten** beeinflusst das Liefernetzwerk und stellt den Fokus des ersten Handlungsfelds dar [SARKAR & MOHAPATRA 2006, S. 148]. Für dieses bietet die Fachliteratur bereits umfassende Methoden und Ansätze, welche BEAMON [1998] und aktueller BEHNCKE ET AL. [2013B] zusammenfassen. Die individuelle Leistungsfähigkeit der Lieferanten stellt demzufolge keinen Betrachtungsgegenstand dieser Dissertation dar.

Das zweite Handlungsfeld umfasst den Einfluss der **Zusammensetzung und Struktur des Liefernetzwerks** auf dessen Leistungsfähigkeit. Mit der Verlagerung großer Teile der Wertschöpfung des Originalteilherstellers zu Lieferanten werden bis zu 75 % des Produkts über das Liefernetzwerk bereitgestellt [BARDI 2002, S. 10]. Durch etwaige Geschäftsbeziehungen zwischen den Lieferanten wird die Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks beeinträchtigt [ARNOLDS ET AL. 2001, S. 134ff.]. Damit rückt die kollaborative Verbesserung des Liefernetzwerks bereits in frühen Phasen der Entwicklung in den Fokus [SCHARLACH ET AL. 2014, S. 13]. Die Fachliteratur bietet für diese Perspektive auf das Liefernetzwerk nur unzureichende Unterstützung [BEHNCKE ET AL. 2013B] und wird daher in diesem Forschungsvorhaben aufgegriffen.

Das dritte Handlungsfeld zielt auf die **Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk** ab und stellt den Schulterschluss zwischen dem Funktionsbereich der Entwicklung und der Beschaffung dar. Die frühzeitige Abstimmung erlaubt einerseits eine Verkürzung des Entwicklungsprozesses durch Parallelisierung von Aktivitäten und andererseits eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch Vermeidung lokal-optimaler Entscheidungen aus Entwicklung und Beschaffung [GUNASEKARAN 1998]. Für die Abstimmung in frühen Entwicklungsphasen empfehlen GAN & GRUNOW [2013] die Nutzung von Strukturattributen der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks. Die bestehende Fachliteratur unterstützt auch dieses Handlungsfeld nur unzureichend und ist somit handlungsleitend für die vorliegende Dissertation.

Aus den zwei fokussierten Handlungsfeldern ergeben sich folglich **drei Forschungsfragen**, welche das Forschungsprogramm der vorliegenden Dissertation vorzeichnen:

- **Forschungsfrage 1:** Wie kann die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Produktentwicklung methodisch unterstützt werden?
- **Forschungsfrage 2:** Wie kann die Abstimmung als Bestandteil der beschaffungsgerechten Produktentwicklung in die Geschäftsprozesse von Unternehmen verankert werden?
- **Forschungsfrage 3:** Wie kann die Zusammensetzung und Struktur von Liefernetzwerken bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung bewertet werden?

### 1.3 Thematische Einordnung und Abgrenzung

In diesem Kapitel erfolgt die thematische Einordnung der vorliegenden Dissertation, welche sich mit einem Lösungsansatz für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk für frühe Phasen der Entwicklung befasst. Zudem wird das Forschungsvorhaben thematisch gegenüber mediaten Forschungsfeldern abgegrenzt. Im Zentrum dieser Dissertation stehen die Produktarchitektur und das Liefernetzwerk, welche über ihre mediaten Forschungsfelder abgegrenzt werden und damit den Fokus des Forschungsvorhabens definieren (Abbildung 1-2).

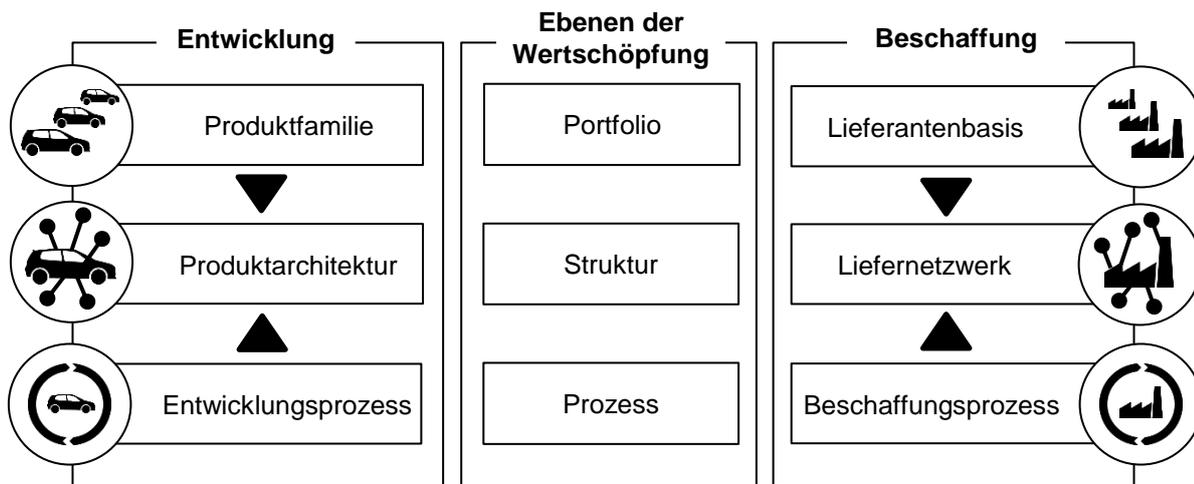


Abbildung 1-2: Thematische Einordnung und Abgrenzung

Die **Produktarchitektur** wird mit der Publikation von ULRICH [1995] im Kosmos der Entwicklung technischer Produkte verortet. Durch die zentrale Rolle der Architektur in der Entwicklung greifen zahlreiche Publikationen diese auf. Die Architektur fand somit zunächst innerhalb dieses Forschungsfelds umfassende Anwendung. Durch den Paradigmenwechsel in der Produktentwicklung von einer sequenziellen Abfolge zergliederter Prozesse (Taylorismus) hin zu einer integrierten Erstellung des Produkts verschiebt sich der Schwerpunkt bei der Beforschung der Produktarchitektur [EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 161ff.].

Das Concurrent Engineering<sup>2</sup> fokussiert eine integrierte Entwicklung. FINE [1998, S. 127ff.] hebt eine Abstimmung zwischen den Domänen Entwicklung, Produktion und Beschaffung hervor (3D-Concurrent Engineering), welche von der Literaturstudie von KRISHNAN ET AL. [2001] zu Entscheidungen in der Produktentwicklung ebenfalls ausgewiesen werden. Als zentralen Erfolgsfaktor des 3D-Concurrent Engineerings sieht FINE [1998, S. 127ff.] die Abstimmung der Domänen über die inhärenten Strukturen (Produktarchitektur, Produktionsstruktur und Liefernetzwerk) und nutzt für die Abstimmung demnach diese Facette in Addition zu Prozessen. Diese werden von YASSINE & WISSMANN [2007, S. 121] um das Produktportfolio erweitert, sodass die drei Facetten der industriellen Wertschöpfung abgedeckt werden (Management des Portfolios, Begründung von Strukturen und Ausführung von Unternehmensprozessen). Das

<sup>2</sup> Bei dieser Vorgehensweise werden betroffene Funktionsbereiche frühzeitig in die Produktentstehung mittels überlappender Tätigkeiten eingebunden und deren spezifisches Wissen eingebracht [LINCKE 1995, S. 33].

Portfolio deckt sämtliche Produkte eines Unternehmens ab. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation werden lediglich Produktfamilien fokussiert. Produktfamilien stellen Varianten eines spezifischen Produkts dar [RUPP 1980, S. 34–35].

Als eine weitere Domäne greifen YASSINE & WISSMANN [2007, S. 122] und CAMPAGNOLO & CAMUFFO [2009, S. 273ff.]<sup>3</sup> die Unternehmung auf, welche den organisatorischen Rahmen für die Facetten der Wertschöpfung bilden. Abbildung 1-2 fasst die Facetten der industriellen Wertschöpfung und die Domänen der integrierten Entwicklung für die thematische Abgrenzung von Forschungsfeldern zu der Produktarchitektur zusammen.

Neben der Produktarchitektur wird Im Folgenden das **Liefernetzwerk** thematisch eingeordnet. Die vitale Beziehung zwischen dem Liefernetzwerk und angrenzenden Forschungsfeldern ist Konsequenz der Veränderungen in der industriellen Wertschöpfungsstruktur, welche die Beschaffung in der industriellen Praxis ins Zentrum unternehmerischer Aktivitäten verschiebt. Mit dem Paradigmenwechsel der Beschaffung zum Innovationstreiber [APPELFELLER & BUCHHOLZ 2011, S. 1] und dem Verständnis des Liefernetzwerks als Repräsentant der Entscheidungen im Beschaffungsprozess [LAMBERT & COOPER 2000, S. 69] avancierte das Liefernetzwerk zum Gravitationsfeld für mediate Forschungsfelder der Beschaffung.

In der thematischen Abgrenzung der Produktarchitektur wird der Ordnungsrahmen für die Abgrenzung zu mediaten Forschungsfeldern des Liefernetzwerks geliefert (Abbildung 1-2). Dieser Rahmen stellt die Facetten der industriellen Wertschöpfung und die drei Domänen der integrierten Produktentwicklung (Entwicklung, Produktion und Beschaffung) mit ihren inhärenten Strukturen (Produktarchitektur, Produktionsstruktur und Liefernetzwerk) dar.

Die Facette der Ausführung von Unternehmensprozessen wird in der Domäne der Beschaffung durch den Beschaffungsprozess beschrieben, welcher mit seinen Entscheidungen ursächlich für die Ausgestaltung des Liefernetzwerks ist [LAMBERT & COOPER 2000, S. 69ff.]. Damit nimmt der Beschaffungsprozess für das Liefernetzwerk die gleiche Rolle ein wie der Entwicklungsprozess für die Produktarchitektur. Als Äquivalent zum Produktportfolio in der thematischen Abgrenzung der Produktarchitektur ergibt sich für das Liefernetzwerk das Lieferantennetzwerk als Facette der industriellen Wertschöpfung (Management des Portfolios) in der Beschaffung. In dem Lieferantennetzwerk sind aktive und inaktive Lieferanten enthalten [GRANT ET AL. 2013, S. 16] und bilden damit die Lieferantenbasis einer Unternehmung ab [APPELFELLER & BUCHHOLZ 2011, S. 112ff.]. Diese Lieferanten werden schließlich für die Gestaltung des Liefernetzwerks herangezogen [ZHANG ET AL. 2009]. Abbildung 1-2 fasst die Facetten der industriellen Wertschöpfung und die Domänen der integrierten Entwicklung für die thematische Abgrenzung von Forschungsfeldern zum Liefernetzwerk zusammen.

Im Fokus der vorliegenden Dissertation liegt folglich die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk über die drei Ebenen der industriellen Wertschöpfung. Weitere angrenzende Forschungsfelder wie die Produktplanung, Produktion und Logistik werden zugunsten eines definierten Schwerpunkts des Forschungsvorhabens nicht aufgegriffen. Eine Einführung zu den mediaten Forschungsfeldern der vorliegenden Dissertation stellt Kapitel 2 dar.

---

<sup>3</sup> In ihrem umfassenden Literaturüberblick zu Modularität (spezifische Ausprägung der Produktarchitektur) fokussieren sich CAMPAGNOLO & CAMUFFO [2009] auf die Domänen Entwicklung, Produktion und Organisation.

## 1.4 Forschungsmethodischer Ansatz

Der wissenschaftliche Ansatz zielt auf die Objektivierung der Forschungsergebnisse durch die Forschungsmethodik ab. Diese kombiniert Vorgehen und Methoden, welche zur systematischen Bearbeitung des Forschungsvorhabens herangezogen werden [KOTHARI 2012, S. 8]. Für den Nachweis der Gültigkeit von Forschungsergebnissen und -erkenntnissen ist die Transparenz bezüglich der verwendeten Forschungsmethodik essenziell [PONN 2007, S. 21].

Das vorliegende Forschungsvorhaben wird über die thematische Einordnung und Abgrenzung in Kapitel 1.3 an der Schnittstelle zur Produktentwicklung verortet. Für die Forschung in diesem Bereich ergeben sich empirische, denklagische und experimentelle Ansätze [WALLACE & BLESSING 2000]. Die drei Kategorien adressieren – mit variierendem Schwerpunkt – die Schaffung von Verständnis oder die Unterstützung der Produktentwicklung [BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 5]. Die Beforschung dieses Themengebiets besitzt spezifische Herausforderungen<sup>4</sup>, aus welchen sich verschiedene Forschungsmethodiken ergeben. BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 38ff.] bieten einen Überblick der verschiedenen Methodiken, auf deren Grundlage für diese Dissertation die „Design Research Methodology“ ausgewählt wird.

Abbildung 1-3 zeigt das Vorgehen der „Design Research Methodology“ mit den vier grundlegenden Schritten, welche den individuellen Bedürfnissen des Forschungsvorhabens anzupassen sind. BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 60ff.] fassen diese Anpassung in sieben Typen von Forschungsvorhaben zusammen, welche sich hinsichtlich der durchlaufenen Schritte und der Intensität der Durchführung dieser unterscheiden.

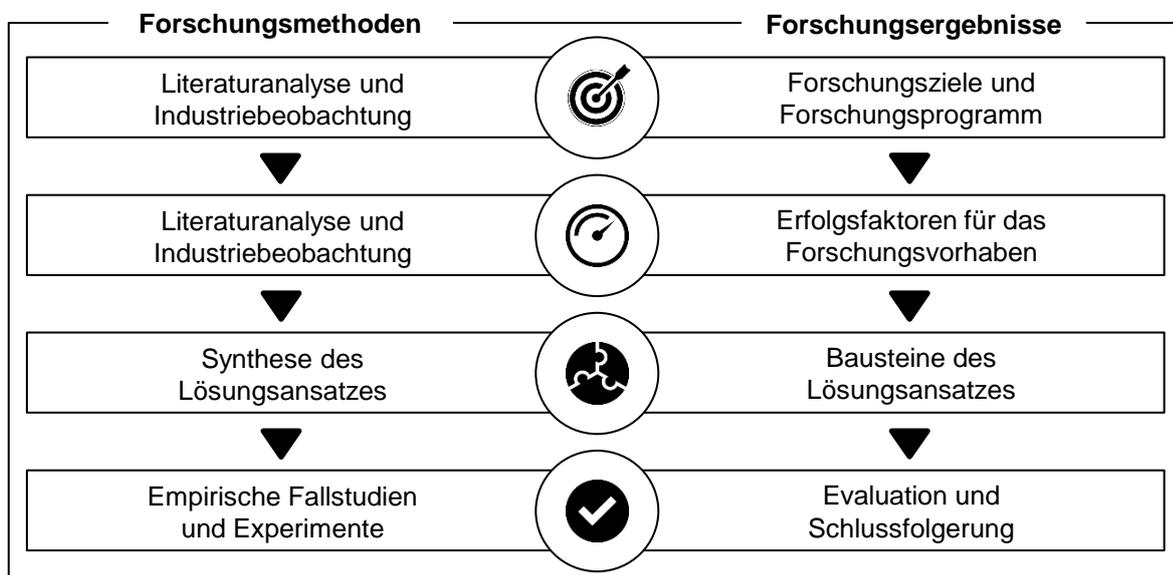


Abbildung 1-3: Forschungsmethodisches Vorgehen der „Design Research Methodology“

<sup>4</sup> Herausforderungen bei der Beforschung der Produktentwicklung umfassen den Praxisbezug des Untersuchungsgegenstands, die Einzigartigkeit der betrachteten Entwicklungsprojekte, die Polytelie aus den Umgebungseinflüssen und die Vielzahl involvierter Fachdisziplinen [BIGGS & BÜCHLER 2007; CANTAMESSA 2003].

Das grundlegende Forschungsparadigma der vorliegenden Dissertation folgt dem Interpretivismus. Dieser fußt auf der Interpretation von qualitativen Daten in einem spezifischen Untersuchungskontext [COLLIS & HUSSEY 2014, S. 44ff.] und bestimmt die Intensität der Durchführung der Vorgehensschritte. Diese Dissertation zieht jedoch für die drei Bausteine des Lösungsansatzes verschiedene Forschungstypen heran. Die Auswahl der Typen ist der Verfügbarkeit von Informationen geschuldet und wird in Kapitel 7.1 erläutert. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der „Design Research Methodology“ für diese Dissertation erläutert. In Abbildung 1-3 werden die Forschungsmethoden den Vorgehensschritten zugewiesen.

**Research Clarification:** Mit der Klärung der Forschungsziele wird ein grundlegendes Verständnis für die Problemstellung und das handlungsleitende Forschungsprogramm der vorliegenden Dissertation erarbeitet. Über die einschlägige Fachliteratur und die Erfahrungsgrundlage des Verfassers wird der Fokus bei der Beforschung der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Produktentwicklung definiert. Dafür stellt Kapitel 2 eine thematische Einführung und Kapitel 1.3 eine Einordnung und Abgrenzung des Forschungsvorhabens bereit.

**Descriptive Study I:** Der zweite Schritt identifiziert über eine umfassende Analyse der Fachliteratur (Kapitel 4) und Beobachtungen in der industriellen Praxis (Kapitel 1.5) Erfolgsfaktoren für das vorliegende Forschungsvorhaben. Zudem wird durch die Aufbereitung der methodischen Grundlagen (Kapitel 3) das Fundament für die Entwicklung des Lösungsansatzes mit seinen drei Bausteinen geschaffen. Zum Abschluss der deskriptiven Studie I formuliert Kapitel 5.2 die handlungsleitenden Anforderungen an den Lösungsansatz.

**Prescriptive Study:** Der dritte Schritt widmet sich der Entwicklung des Lösungsansatzes für das vorliegende Forschungsvorhaben, welcher drei Bausteine für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Produktentwicklung adressiert. Die einzelnen Bausteine sind in Kapitel 6 beschrieben und greifen auf die methodischen Grundlagen (Kapitel 3) zurück. Der Baustein zum Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) resultiert aus der Überarbeitung des initialen Lösungsansatzes auf Basis der Ergebnisse einer ersten Anwendung im industriellen und wissenschaftlichen Kontext. Für die Entwicklung der Bausteine des Lösungsansatzes werden folglich verschiedene Forschungstypen verwendet. Die Bausteine zum Leitfaden (Kapitel 6.2) und der Methodik zur Abstimmung (Kapitel 6.3) ziehen den Forschungstyp IV heran. Durch die Überarbeitung des initialen Lösungsansatzes für den Baustein zu Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) wird für diesen Baustein der Forschungstyp VI verwendet.

**Descriptive Study II:** Der abschließende Schritt stellt die Ergebnisse aus der umfassenden Anwendung des Lösungsansatzes dar und führt eine Evaluation durch (Kapitel 0). Hierfür wird der Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung ebenso wie die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in Fallstudien evaluiert. Beim Clusterverfahren für Matrixmethoden erfolgt die Evaluation schließlich über einen mathematischen Nachweis. Die deskriptive Studie II stellt somit lediglich eine Partialevaluation des Lösungsansatzes dar.

## 1.5 Erfahrungs- und Datengrundlage

Der Einfluss des individuellen Erfahrungsschatzes des Verfassers auf die Forschungsergebnisse ist trotz des vorgestellten forschungsmethodischen Ansatzes nicht gänzlich auszuschließen. Um die Nachvollziehbarkeit der erarbeiteten Ergebnisse zu gewährleisten, wird deshalb die Erfahrungsgrundlage des Verfassers der vorliegenden Dissertation dargestellt. Die relevante Datengrundlage für die Erarbeitung der Forschungsergebnisse bildet die Betreuung von Projekten in Industrie und Forschung. Die Projekte mit merklichem Einfluss werden nachfolgend erläutert.

**Industrieprojekt zur Optimierung von Produktarchitekturen:** Eine essenzielle Erfahrungsgrundlage stellt die Leitung und Bearbeitung des forschungsnahen Industrieprojekts mit der Webasto Thermo & Comfort SE dar. Im Projekt zur Gestaltung von Produktarchitekturen am Beispiel des Heizgeräts diskutierte der Verfasser wesentliche Inhalte im intensiven Austausch mit Fachkollegen aus der industriellen Praxis. Zudem wurden wertvolle empirische Daten erhoben, welche in der fallstudienbasierten Evaluation des Leitfadens zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (Kapitel 7.2) und der Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk (Kapitel 7.3) mündeten.

**Forschungsprojekt zur Kostenanalyse und -optimierung:** Im DFG Forschungsprojekt zur „Kostenanalyse und -optimierung mechatronischer Produkte mittels Bewertung und Gestaltung von Produktstrukturen“ konnte sich der Verfasser eine umfassende Erfahrungsgrundlage bezüglich der Modellierung und Gestaltung von Produktarchitekturen erarbeiten. Diese fußt auf dem intensiven Austausch mit acht Projektpartnern aus der Automobilindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau. Bei der Bearbeitung von Fallstudien mit den Fachkollegen aus der industriellen Praxis wurde die herausragende Bedeutung früher Entwicklungsphasen unterstrichen. Die projektbegleitende Studie zum strategischen Produktkostenmanagement hebt zudem die Beschaffung als Bindeglied der Unternehmung zum Beschaffungsmarkt als Stellhebel des Kostenmanagements hervor [BEHNCKE ET AL. 2015].

**Beratungsprojekt zum Integrated Value Engineering:** In Ergänzung zum Forschungsprojekt Kostenanalyse und -optimierung begleitete der Verfasser in einem Beratungsprojekt bei der Linde Material Handling GmbH die kommerzielle Anwendung des Ansatzes zum Integrated Value Engineering. Dieser Ansatz greift wesentliche Grundlagen des Lösungsansatzes der vorliegenden Dissertation auf. Zudem wurde die Bedeutung der organisatorischen Einbettung eines derartigen Ansatzes hervorgehoben und vom Verfasser in eine handlungsleitende Anforderung an den Lösungsansatz übertragen. Obschon der Beratungsauftrag das wissenschaftliche Vorgehen nicht fokussierte, stellt dieses Projekt eine wichtige Erfahrungsgrundlage dar.

**Betreuung von Vorlesungen zum Kosten- und Komplexitätsmanagement:** Die jahrelange Betreuung der Vorlesungen zum „Kostenmanagement in der Produktentwicklung“ und „Komplexitätsmanagement für die industrielle Praxis“ am Lehrstuhl für Produktentwicklung stellt eine umfassende Erfahrungsgrundlage dar. Über die Vorlesungsbetreuung zum Komplexitätsmanagement lernte der Verfasser zahlreiche kommerzielle und wissenschaftliche Clusterverfahren kennen. Diese Verfahren konnten unter kontrollierten Rahmenbedingungen auf bekannte Anwendungsbeispiele aus Forschung und Praxis appliziert und korrespondierende De-

fizite der Verfahren beobachtet werden. Über die Vorlesungsbetreuung zum Kostenmanagement erhielt der Verfasser einen Überblick über relevante Kostentreiber bei der Produktentwicklung. Zudem wurde die Relevanz der Beschaffung für die Wettbewerbssituation von Unternehmen mit geringer, eigener Wertschöpfungstiefe durch den Lehrkanon bestätigt.

**Betreuung von Studentenprojekten im Dissertationskontext:** Eine weitere Erfahrunggrundlage stellt die Betreuung von Studentenprojekten im fokussierten Forschungsfeld dar. Der Verfasser hat die Studienarbeiten durch eine Aufgabenstellung inhaltlich ausgerichtet und über regelmäßiges Feedback angeleitet. In wöchentlichen Abstimmungstreffen mit den Studierenden wurden die Ergebnisse und die Vorgehensweise plausibilisiert. Die Studentenprojekte haben zur Entstehung der vorliegenden Dissertation beigetragen und sind in Tabelle 1-1 mit ihrem Ergebnisbeitrag dargestellt. Kapitel 9.3 enthält ein Verzeichnis mit den bibliografischen Daten der Studienarbeiten. Die Studienarbeiten werden entgegen der wissenschaftlichen Praxis aufgeführt, um den Beitrag der Studierenden zu würdigen.

**Tabelle 1-1: Betreute Studienarbeiten im Kontext der vorliegenden Dissertation**

<b>Stand der Forschung und Technik für den Lösungsansatz</b>	
PE-BARTON 2014	Gestaltung der Abstimmung: Gestaltungsrichtlinien (Kapitel 3.1.2)
PE-EHRHARDT 2013	Optimierung von Liefernetzwerken: Methoden und Modelle (Kapitel 3.2.2)
PE-KAYSER 2014	Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk: Ansätze (Kapitel 4.2)
PE-SCHERER 2014	Strukturanalyse von Liefernetzwerken: Kennzahlen (Kapitel 3.2.2)
PE-SEBALD 2014	Analyse von Liefernetzwerken: Methoden und Modelle (Kapitel 3.2.2)
PE-THIMET 2014	Gestaltung der Abstimmung: Gestaltungsrichtlinien (Kapitel 3.1.2)
<b>Grundlagen für die Bestandteile des Lösungsansatzes</b>	
PE-EICHINGER 2013	Systematisierung von Maßnahmen für die Abstimmung (Kapitel 6.2)
PE-KÜBEL 2012	Methodik zur Analyse von Liefernetzwerken (Kapitel 6.2)
PE-LI 2012	Methode zum Lieferantenscouting mittels Patentrecherche (Kapitel 6.2)
PE-HOLSTEIN 2013	Methode zur Bewertung von Lieferanten in Liefernetzwerken (Kapitel 6.2)
PE-KRETZSCHMAR 2014	Methode zur Bewertung von Liefernetzwerken (Kapitel 6.2)
PE-SCHRENK 2013	Verfahren zur Konfiguration von Liefernetzwerken (Kapitel 6.3)
PE-WALTER 2013	Initiale Methodik zur Abstimmung (Kapitel 6.3)
PE-WALZ 2014	Clustertechnik für überlappende Cluster (Kapitel 6.4)
PE-WEHRLE 2013	Strategien zur Vernetzung von Entwicklung und Beschaffung (Kapitel 6.2)

## 1.6 Struktur und Aufbau

Die Forschungsmethodik aus Kapitel 1.4 konstituiert die inhaltliche Struktur und spiegelt sich zugleich im Aufbau der vorliegenden Dissertation wider. Der Beitrag der einzelnen Kapitel wird nachfolgend erläutert und in Abbildung 1-4 grafisch zusammengefasst.

Das einleitende **Kapitel 1** motiviert für das Forschungsvorhaben und skizziert die Ausgangssituation der industriellen Praxis. Aus den resultierenden Handlungsfeldern leitet sich die Zielsetzung der vorliegenden Dissertation ab und stellt eine thematische Einordnung des Forschungsvorhabens dar. Über die Formulierung des forschungsmethodischen Ansatzes wird schließlich die handlungsleitende Zielsetzung operationalisiert und die Phase der „Research Clarification“ abgeschlossen. Ferner wird die Erfahrungs- und Datengrundlage des Verfassers dargestellt, um die Nachvollziehbarkeit der Forschungsergebnisse zu gewährleisten.

**Kapitel 2** stellt die theoretische Einführung für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung mit Fokus auf der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk dar. Dafür werden die terminologische Grundlage geschaffen und die relevanten Begrifflichkeiten definiert. Zudem erfolgt die Eingrenzung des Betrachtungsgegenstands über die Unternehmensprozesse in der Entwicklung und Beschaffung als Facetten der industriellen Wertschöpfung.

Mit **Kapitel 3** werden die methodischen Grundlagen für die Abstimmung in frühen Phasen der Produktentwicklung geschaffen und die weiteren Facetten der industriellen Wertschöpfung (Management des Portfolios und Begründung von Strukturen) adressiert. Die Grundlagen umfassen die Modellierung und Gestaltung der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks. Zudem stellen diese Grundlagen eine weitere Eingrenzung des Betrachtungsgegenstands dar.

**Kapitel 4** bereitet den relevanten Stand der Forschung und Technik für die vorliegende Dissertation auf. Für diesen ergeben sich aus den Implikationen der methodischen Grundlagen drei Schwerpunkte. Diese umfassen Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung, Ansätze zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk sowie Clusterverfahren für Matrixmethoden. Damit schließt die Phase der „Descriptive Study I“.

In **Kapitel 5** werden aus den Defiziten der drei Schwerpunkte im Stand der Forschung und Technik die Problemstellung der vorliegenden Dissertation erarbeitet und die handlungsleitenden Anforderungen abgeleitet. Diese zeichnen die Gestalt und die Form der drei Bausteine des Lösungsansatzes für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung mit Fokus auf die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk vor.

**Kapitel 6** zeigt den Lösungsansatz mit seinen drei essenziellen Bausteinen und beschreibt somit die Phase der „Prescriptive Study“ aus dem forschungsmethodischen Ansatz. Die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk stellt den zentralen Baustein des Lösungsansatzes dar, welcher durch den Leitfaden für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung eine organisatorische Verankerung in der industriellen Praxis erfährt. Der dritte Baustein des Lösungsansatzes ist das Clusterverfahren für Matrixmethoden, welches zugleich die methodische Grundlage für die vorgestellte Methodik zur Abstimmung beschreibt.

In **Kapitel 7** erfolgt die Partialevaluation der Bausteine des Lösungsansatzes. Zugleich wird die Phase der „Descriptive Study II“ abgeschlossen. Für den Leitfaden zur beschaffungsgerech-

ten Produktentwicklung und die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk erfolgt der Nachweis über die Anwendbarkeit über experimentelle Fallstudien aus der industriellen Praxis. Für das Clusterverfahren für Matrixmethoden wird hingegen eine umfassende Erfolgsevaluation durchgeführt. Zudem diskutiert Kapitel 7 den Ergebnisbeitrag und die Grenzen des Lösungsansatzes.

Das abschließende **Kapitel 8** fasst den Ergebnisbeitrag der vorliegenden Dissertation zusammen. Zudem werden Implikationen formuliert, um die Bedeutung der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk als Bestandteil der beschaffungsgerechten Produktentwicklung für Industrie und Forschung zu artikulieren. Abschließend werden die Handlungsbedarfe im Ausblick für die industrielle und wissenschaftliche Praxis operationalisiert.

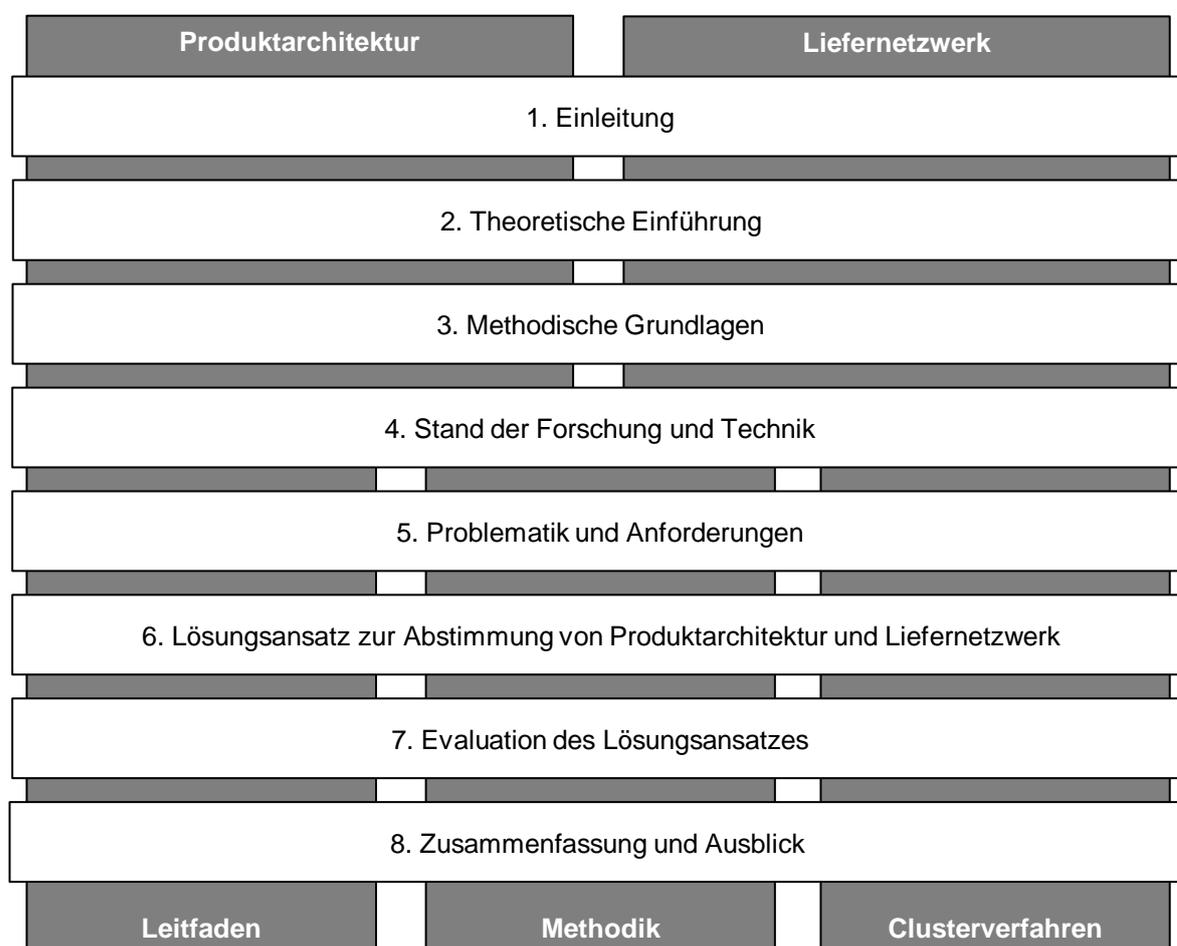


Abbildung 1-4: Aufbau der Dissertation



## 2. Theoretische Einführung

*In diesem Kapitel erfolgt eine theoretische Einführung zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk mit der Zielsetzung, einen Überblick über den Forschungsgegenstand zu vermitteln. Die Abstimmung erfolgt im Spannungsfeld von Entwicklung und Beschaffung und setzt eine eindeutige Abgrenzung der Begrifflichkeiten voraus. Die terminologische Basis schafft dieses Kapitel für die Produktarchitektur und das Liefernetzwerk. Zudem werden die Schnittstellen zu ihren mediaten Forschungsfeldern diskutiert. Letztere zeichnen das Forschungsprogramm für die methodischen Grundlagen und den Stand der Forschung und Technik vor.*

### 2.1 Einführung in die Produktentwicklung

Die Produktentwicklung „[...] bezeichnet sowohl eine Organisationseinheit als auch einen Prozess im Unternehmen“ [PONN & LINDEMANN 2011, S. 9]. Nach PULM [2004, S. 13] verfolgt der Prozess die Gestaltung produzierbarer und funktionsfähiger Produkte und ist Kernprozess bei der Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit von Industrieunternehmen [EIGNER & STELZER 2009, S. 9; WESTKÄMPER 2006, S. 117]. Strategien in der Produktentwicklung<sup>5</sup> bilden den Handlungsrahmen für die Erreichung dieser übergeordneten Zielsetzung, welche [LINDEMANN 2009, S. 14] auf die Beschleunigung von Unternehmensprozessen, Verbesserung der Produktqualität, Senkung der Kosten und Steigerung der Flexibilität herunterbricht. ANDERLE ET AL. [2012, S. 7] betonen dabei die Bedeutung der Interdisziplinarität, um den gegenwärtigen Anforderungen an die Produktentwicklung gerecht zu werden. Prozessmodelle stellen Aktivitäten der verschiedenen Disziplinen in der Produktentwicklung dar, welche für die Erstellung des Produkts erforderlich sind. Dabei wird eine Vielzahl an Informationen über das Produkt generiert und in Form von Produktmodellen repräsentiert [HANNAH ET AL. 2012]. Die Produktarchitektur stellt ein essenzielles Produktmodell in der Entwicklung von technischen Produkten dar und findet insbesondere in frühen Entwicklungsphasen weitreichende Anwendung [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 165]. Aufbauend auf der Definition und Abgrenzung der Begrifflichkeit Produktarchitektur (Kapitel 2.1.1) werden in Kapitel 2.1.2 die Evolutionsstufen der Produktarchitektur in den Phasen der Produktentwicklung über die zugrunde liegenden Prozessmodelle eruiert.

#### 2.1.1 Produktarchitektur: Terminologisch-thematische Einführung

Zur Schaffung einer terminologischen Basis diskutiert diese Dissertation die Produktarchitektur als Repräsentant des technischen Produkts in der Entwicklung. Zudem wird die Produktarchitektur thematisch zu mediaten Forschungsfeldern abgegrenzt, und unterschiedliche Ausprägungen der Produktarchitektur mit ihren inhärenten Eigenschaften werden erläutert.

---

<sup>5</sup> Beispiele sind die integrierte Produktentwicklung, Projektmanagement, Simultaneous Engineering, Total Quality Management, Lean Thinking und die fraktale Fabrik [LINDEMANN 2009, S. 14].

## Produktarchitektur: Definition und Charakteristiken

Die Begrifflichkeit der Produktarchitektur findet in der deutsch- und englischsprachigen Fachliteratur eine homogene Verwendung<sup>6</sup> und bezieht sich vornehmlich auf die Definitionen nach ULRICH [1995, S. 420], GÖPFERT [2009, S. 79] und OTTO & WOOD [2001, S. 358]<sup>7</sup>. Diese werden in Tabelle 2-1 dargestellt und definieren die Produktarchitektur übereinstimmend als:

- PA.A: Vernetzung der Funktionen eines Produkts (Funktionsstruktur),
- PA.B: Vernetzung der physischen Komponenten des Produkts (Baustuktur)<sup>8</sup> und
- PA.C: Verknüpfung von Funktionen und Komponenten (Transformationsbeziehung).

Bezüglich der Ausgestaltung der Vernetzung der Funktionen (PA.A) und der physischen Komponenten (PA.B) unterscheiden sich die Definitionen. GÖPFERT [2009, S. 79] sieht sowohl in der Funktions- (PA.A) als auch in der Baustuktur (PA.B) einen klaren hierarchischen Aufbau, während ULRICH [1995, S. 420] eine heterarchische Struktur beschreibt.

OTTO & WOOD [2001, S. 358] sehen durch die Aufteilung des Produkts in Komponenten und Baugruppen eine Hierarchie in der Baustuktur (PA.B) analog zu den Ausführungen von GÖPFERT [2009, S. 79]. Eine hierarchische Baustuktur setzt bereits erste Aktivitäten hinsichtlich der Dekomposition und Synthese des Produkts voraus. Die Entscheidung, welche Komponenten zu einer Baugruppe zugeordnet werden (Synthese) oder in welche Komponenten eine Baugruppe aufgelöst wird (Dekomposition), impliziert nach TAYLOR & HENDERSON [1994] bereits eine spezifische Lösungsalternative für die Produktarchitektur. Bei der heterarchischen Struktur ULRICH [1995, S. 420] wird keine vergleichbare Strukturierung des Produkts vorgenommen und somit auch der Lösungsraum nicht beeinträchtigt. Bei der Baustuktur (PA.B) ist damit zwischen einer heterarchischen und hierarchischen Struktur zu unterscheiden. Zudem heben ULRICH [1995, S. 420] und OTTO & WOOD [2001, S. 358] die Bedeutung der physischen Schnittstellen in der Baustuktur hervor, welche jedoch Form- und Lagebeziehungen zwischen Komponenten vernachlässigt [RAPP 2010, S. 9].

Die Vernetzung der Funktionen (PA.A) beschreiben OTTO & WOOD [2001, S. 358] und ULRICH [1995, S. 420] als funktionales Netzwerk (heterarchische Funktionsstruktur). GÖPFERT [2009, S. 79] setzt auch bei der Funktionsstruktur erste Aktivitäten der Produktstrukturierung (Dekomposition und Synthese) durch seine hierarchische Struktur voraus. Damit ist bei der Funktionsstruktur (PA.A) ebenso zwischen einer Heterarchie und Hierarchie zu unterscheiden.

Die Charakteristik der Vernetzung von Funktionen und physischen Komponenten (PA.C) wird von den drei genannten Definitionen nicht näher beschrieben. Tabelle 2-1 fasst die Definitionen und deren Gegenüberstellung hinsichtlich der Charakteristiken (PA.A – PA.C) zusammen.

---

<sup>6</sup> Produktstruktur wird in der Fachliteratur synonym für Produktarchitektur verwendet [RAPP 2010, S. 9ff.].

<sup>7</sup> Die angeführten Publikationen finden in der nationalen und internationalen Forschungsgemeinde die breiteste Anwendung und vereinen den Großteil an Zitationen zum Thema Produktarchitektur auf sich.

<sup>8</sup> In späteren Publikationen von Jan Göpfert wird die Baustuktur auch als Produktstruktur bezeichnet [GÖPFERT 2009, S. 79; GÖPFERT & FELDHUSEN 2013, S. 255].

**Tabelle 2-1: Definitionen und Charakteristiken der Produktarchitektur**

Definition der Produktarchitektur	PA.A	PA.B	PA.C
“[...] the scheme by which the function of the product is allocated to physical components. [...] (1) the arrangement of functional elements; (2) the mapping from functional elements to physical components; (3) the specification of the interfaces among interacting physical components.” [nach ULRICH 1995, S. 420]	●	●	⊙
„Funktionsstruktur, Baustruktur sowie die Transformationsbeziehung zwischen diesen beiden Strukturen definieren die Produktarchitektur und damit den grundlegenden Aufbau eines Produktes.“ [ nach GÖPFERT 2009, S. 79]	○	○	⊙
“[...] mapping from the product function to the product form. It is the division into parts and assemblies of a product and how the functional network matches or cuts across these physical divisions and interfaces.” [nach OTTO & WOOD 2001, S. 358]	●	○	⊙
Legende: ● heterarchisch ○ hierarchisch ⊙ nicht näher beschrieben			

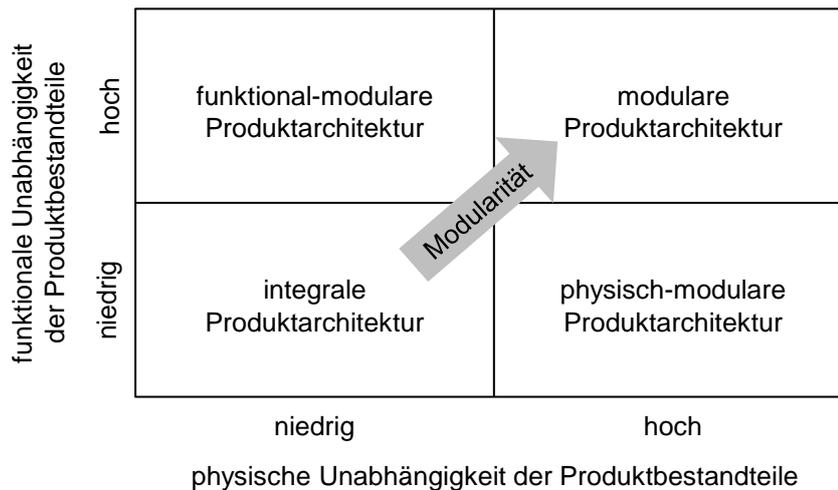
In dieser Dissertation wird die Produktarchitektur in Anlehnung an die Definition von ULRICH [1995, S. 420] verwendet. Eine Hierarchie in Funktions- oder Baustruktur würde erste Aktivitäten zur Produktstrukturierung in frühen Entwicklungsphasen voraussetzen. Daher ergibt sich für die Produktarchitektur folgende Definition:

**Definition:** Die Architektur eines Produkts beschreibt die Anordnung der Funktionen und der physischen Komponenten eines Produkts. Dies beinhaltet (1) die heterarchische Flussbeziehung der Funktionen, (2) die Transformationsbeziehung zwischen Funktionen und Komponenten sowie (3) die physische Beziehung zwischen den Komponenten.

### Produktarchitektur: Ausprägungen und deren spezifische Eigenschaften

Aus den Charakteristiken (Tabelle 2-1) lassen sich spezifische Eigenschaften der Produktarchitektur ableiten. Diese ergeben sich auf Grundlage der funktionalen und physischen Unabhängigkeit von Produktbestandteilen [GÖPFERT & FELDHUSEN 2013, S. 259]. Daraus lassen sich vier Ausprägungen von Produktarchitekturen ableiten (Abbildung 2-1). Mit diesen Ausprägungen sind spezifische Eigenschaften assoziiert, welche Tabelle 10-1 gegenübergestellt.

Die funktional-modulare und die physisch-modulare Produktarchitektur stellen Mischformen der integralen und modularen Produktarchitektur dar und unterscheiden sich hinsichtlich der funktionalen und physischen Abhängigkeiten der Komponenten [GÖPFERT 2009, S. 107ff.]. ULRICH & EPPINGER [2004, S. 166] weisen jedoch darauf hin, dass nur wenige technische Produkte eine ausschließlich modulare oder integrale Produktarchitektur besitzen.



**Abbildung 2-1: Ausprägungen der Produktarchitektur**

(in Anlehnung an GÖPFERT & FELDHUSEN [2013, S. 259])

**Unterscheidung der Mischformen der Produktarchitektur:** Bei der physisch-modularen Produktarchitektur sind die Komponenten physisch weitestgehend unabhängig, während diese jedoch für sich keine Produktfunktion erfüllen. Bei der der funktional-modularen Architektur hingegen sind die Komponenten funktional unabhängig, und die physischen Schnittstellen der Komponenten stehen einer Trennung entgegen. [GÖPFERT 2009, S. 107ff.]

**Integrale Produktarchitektur (Integralität):** „Integrale Produktarchitekturen zeichnen sich durch eine hohe funktionale und physische Abhängigkeit ihrer Komponenten aus“ (Integralität) [GÖPFERT & FELDHUSEN 2013, S. 263]. In dieser Form der Architektur sind sämtliche Produktfunktionen einer oder einer sehr geringen Anzahl an physischen Komponenten zuzuordnen (keine 1:1-Zuordnung). Im Umkehrschluss werden von den physischen Komponenten eine Vielzahl von Funktionen ausgeführt [OTTO & WOOD 2001, S. 360; ULRICH & EPPINGER 2004, S. 166; ULRICH 1995, S. 422]. An den Schnittstellen der physischen Komponenten ergeben sich daraus komplexe Interaktionen [OTTO & WOOD 2001, S. 360], welche zu einer unzureichenden Abstimmung der Schnittstellen führten ULRICH & EPPINGER [2004, S. 166]. OTTO & WOOD [2001, S. 360] merken an, dass bei der integralen Produktarchitektur kein Versuch der Entkopplung der Funktionen in isolierte Komponenten unternommen wird. Die physischen Komponenten sind auf die Erfüllung eines produktspezifischen Satzes an Funktionen ausgerichtet, was einerseits die Wiederverwendung der Komponenten in anderen Produkten erschwert [GÖPFERT & FELDHUSEN 2013, S. 263], andererseits jedoch die größtmögliche Leistung des Produktes ermöglicht [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 166].

**Modulare Produktarchitektur (Modularität):** Diese Form der Produktarchitektur „besteht aus funktional und physisch relativ unabhängigen, abgeschlossenen Einheiten (Modulen)“ (Modularität) [GÖPFERT & FELDHUSEN 2013, S. 259]. Das Vorgehen zur Erstellung einer modularen Produktarchitektur wird als Modularisierung bezeichnet. Diese definiert SCHUH [2005, S. 130] als „[...] Gliederung eines Produktes, indem die Abhängigkeit zwischen den Elementen (Modulen) verringert bzw. die Schnittstellenvarianten reduziert werden“. Insofern zeichnet sich die modulare Produktarchitektur über eine 1:1-Zuordnung der Funktionen zu den physischen

Komponenten des Produktes aus [ULRICH 1995, S. 422]. Ferner legt sie die Schnittstellen zwischen physischen Komponenten fest [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 165] und lässt deren Entkopplung zu [ULRICH 1995, S. 422]. Diese Eigenschaft erlaubt die unabhängige Modifikation von funktionalen Elementen eines Produktes durch die Änderung der entsprechenden physischen Komponente [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 166ff.]. Damit sind in einer modularen Produktarchitektur die Module über definierte Schnittstellen voneinander unabhängig und erlauben einen getrennten Entwurf [BALDWIN & CLARK 2000, S. 63], versprechen jedoch eine geringere Leistungsfähigkeit seitens des technischen Produkts [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 166]. In der Fachliteratur werden ferner verschiedene Merkmale modularer Produkte beschrieben, die sich auf Basis von SALVADOR [2007] und der erweiternden Überarbeitung von KRAUSE [2012, S. 663–664] wie folgt zusammenfassen lassen:

- **Kommunalität der Module:** Diese Art der Modularität ist durch die Gemeinsamkeit von Bauteilen charakterisiert und entspricht dem Einsatz des gleichen Moduls in unterschiedlichen Produkten.
- **Kombinierbarkeit der Module:** Durch den Austausch von Bestandteilen werden einige Komponenten der Grundarchitektur ausgetauscht und ermöglichen die Konfiguration von Produktvarianten über verschiedene Module.
- **Funktionsbindung:** Bei dieser Art der Modularität werden die Funktionen in einzelnen Modulen gekapselt, sodass eine feste Zuordnung von Funktionen zu Modulen vorliegt und keine Kombination von Modulen für die Erfüllung einer Funktion erforderlich ist.
- **Schnittstellenstandardisierung:** Durch die Schnittstellenstandardisierung können unterschiedliche Module mit einer Grundstruktur (auch als Bus bezeichnet) über eine standardisierte Schnittstelle verbunden werden.
- **Entkopplung der Module:** Diese Art bezieht sich auf die Kopplung der Elemente innerhalb und außerhalb des Moduls. Für eine ideale Entkopplung ist bei enger Kopplung der Elemente in dem Modul keine Verknüpfung zu anderen Modulen vorhanden.

Als Erweiterung zu der beschriebenen Typologie der Modularität wird an dieser Stelle auf ULRICH & EPPINGER [2004, S. 166ff.] und PINE [1994, S. 272ff.] verwiesen.

### **Produktarchitektur: Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern**

Aus der thematischen Einordnung und Abgrenzung in Abbildung 1-2 ergeben sich über die Beziehungen der Produktarchitektur zu mediaten Forschungsfeldern vier relevante Schnittstellen. Diese verknüpfen die Produktarchitektur mit der Organisation, dem Entwicklungsprozess, der Produktfamilie sowie dem Liefernetzwerk und der Produktionsstruktur. Die Schnittstellen werden Im Folgenden hinsichtlich ihrer Relevanz für die vorliegende Dissertation bewertet.

Die Schnittstelle zur Organisation wird in der Fachliteratur kontrovers diskutiert, was CAMPAGNOLO & CAMUFFO [2009, S. 273ff.] in ihrer umfangreichen Literaturstudie zusammenfassen. Die ersten Publikationen zu dieser Schnittstelle berichten von der Produktarchitektur als Gestaltungsgrundlage der Organisationsstruktur, während aktuellere Publikationen diesen präskriptiven Charakter der Produktarchitektur nicht unterstützen und lediglich von einem grundsätzlichen Zusammenhang sprechen. Die Schnittstelle besitzt keinen eindeutigen Einfluss

auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur und wird aufgrund ihrer untergeordneten Relevanz für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk nicht betrachtet.

Mit der Schnittstelle zur Produktfamilie wird die Produktarchitektur von der Betrachtung eines singulären Produkts gelöst. In Produktfamilien nutzen die Produkte gemeinsame Funktionen und Komponenten und stellen überdies auf ähnliche Anwendungsbereiche ab [KRAUSE 2012, S. 664ff.]. Durch eine modulare Produktarchitektur wird nach SIMPSON [2004] die Gestaltung einer modulbasierten Produktfamilie ermöglicht und zeugt insofern von der Vitalität dieser Schnittstelle. Im Umkehrschluss nimmt auch die Produktfamilie über Gestaltungsstrategien (bspw. Standardisierung) Einfluss auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur. Dieser Einfluss wird in Kapitel 3.1.2 eruiert und in den Kontext der vorliegenden Dissertation gestellt.

Der Entwicklungsprozess ist nach KRISHNAN ET AL. [2001] geprägt von Entscheidungen. In der Konzeptentwicklung konstituieren diese Entscheidungen die Festlegung der Produktarchitektur und berücksichtigen nach CAMPAGNOLO & CAMUFFO [2009, S. 266ff.] zunehmend auch weitere Lebenszyklusphasen. Vor diesem Hintergrund berichten CAMPAGNOLO & CAMUFFO [2009, S. 266ff.] vom merklichen Einfluss von Gestaltungsrichtlinien (Design-for-X) auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur, welche in Kapitel 3.1.2 ausführlich eruiert wird. In Kapitel 2.1.2 werden zudem die angeführten Entscheidungen hinsichtlich der Produktarchitektur über die zugrunde liegenden Aktivitäten im Produktentwicklungsprozess verortet.

Bei der Schnittstelle zur Produktionsstruktur und dem Liefernetzwerk handelt es sich um den Kern des 3D-Concurrent Engineering mit den Domänen Entwicklung, Produktion und Beschaffung nach FINE [1998, S. 127ff.]. RUNGTUSANATHAM & FORZA [2005] liefern einen Überblick an Gütekriterien für das 3D-Concurrent Engineering, während FORZA ET AL. [2005] die Mechanismen für eine Abstimmung der drei Domänen liefert. Hinsichtlich der Schnittstelle zur Produktionsstruktur berichten FIXSON [2005] vom Einfluss der Produktarchitektur auf Entscheidungen in der Entwicklung und Produktion. Im Umkehrschluss wird über Gestaltungsrichtlinien (Design-for-X) der Einfluss auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur berücksichtigt (Kapitel 3.1.2). Zudem verliert die Eigenproduktion durch die Verlagerung der Wertschöpfung in das Liefernetzwerk an Bedeutung [BARDI 2002, S. 10]. Somit liegt in dieser Dissertation der Fokus auf der Schnittstelle zum Liefernetzwerk (Kapitel 4.2).

### **Schlussfolgerung zur terminologisch-thematischen Einführung**

Die Produktarchitektur umfasst im Verständnis dieser Dissertation eine heterarchische Struktur aus Funktionen und Komponenten sowie eine eindeutige Transformationsbeziehung zwischen den Bestandteilen eines Produkts. Die funktionale und physische Unabhängigkeit von Produktbestandteilen konstituiert mit Modularität und Integralität zwei grundsätzliche Ausprägungen sowie zwei weitere Mischformen der Produktarchitektur. Diese Stereotypen der Produktarchitektur mit ihren spezifischen Eigenschaften werden über drei spezifische Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern beeinflusst und zeichnen das Forschungsprogramm vor. Demnach beschreibt Kapitel 2.1.2 die Evolution der Produktarchitektur im Entwicklungsprozess, während Kapitel 3.1.2 Mechanismen hinter der Ausgestaltung der Produktarchitektur zusammenfasst. Kapitel 4.2 liefert Ansätze zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk.

### 2.1.2 Produktarchitektur: Evolution im Produktentwicklungsprozess

Die Produktarchitektur repräsentiert das technische Produkt und wird im Entwicklungsprozess konkretisiert. In der Entwicklung werden Entscheidungen über die Beauftragung von Lieferanten getroffen, welche sich in der Festlegung des Liefernetzwerks manifestieren.

#### **Produktarchitektur: Auswahl von Aktivitäten im Entwicklungsprozess**

Die Erfüllung der Entwicklungsaufgabe stellt die Zielsetzung der Vorgehens- und Prozessmodelle der Produktentwicklung dar [PONN & LINDEMANN 2011, S.16ff.]. Diese Modelle unterscheiden sich hinsichtlich des Auflösungsgrads der Betrachtung [LINDEMANN 2009, S. 37ff.]. Prozesse werden auf der Ebene elementarer Denk- und Handlungsabläufe (Mikrologik) oder des Gesamtentwicklungsprojekts (Makrologik) beschrieben [HABERFELLNER 1999, S. 47].

Im Rahmen dieser Dissertation wird eine ganzheitliche Unterstützung für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung (Design-for-Procurement) in Form von Hauptzielsetzungen der Produktgestaltung (Design for X) angestrebt [PONN & LINDEMANN 2011, S.181]. Die Hauptzielsetzungen beziehen sich auf unterschiedliche Arbeitsabschnitte und Phasen in einem Entwicklungsprojekt<sup>9</sup> und werden somit von der Makrologik beschrieben [LINDEMANN 2009, S. 39]. In der Fachliteratur werden diese auch als Produktentwicklungsprozesse bezeichnet. Eine initiale Zusammenfassung von BRAUN [2005, S. 29] wird in Tabelle 10-2 durch weitere Vorgehens- und Prozessmodelle ergänzt. Diese stellen das Ergebnis einer umfangreichen Literaturrecherche zu Ansätzen mit dem relevanten Auflösungsgrad der Makrologik dar.

Die resultierende Übersicht (Tabelle 10-2) dient als Grundlage, um Vorgehens- und Prozessmodelle für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung auszuwählen. Die Beurteilung umfasst neben dem Auflösungsgrad der Makrologik noch weitere Kriterien, welche sich aus dem Rahmenwerk für den simultanen Entwurf von Produkt und Liefernetzwerk ableiten [GAN & GRUNOW 2013]. Der Ansatz stimmt Attribute der Gestalt von Produkt und Liefernetzwerk auf drei Ebenen ab: Architektur, Detail und Dynamik. GAN & GRUNOW [2013] ordnen die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk auf der Ebene von Architekturattributen ein:

- Attribute der Gestalt des Produkts: Diese Attribute beschreiben die Ausgestaltung und Zuordnung von Funktionen und Komponenten ebenso wie die Gestaltung der physischen Schnittstellen [ULRICH 1995, S. 420].
- Attribute der Gestalt des Liefernetzwerks: Diese Attribute beschreiben die Ausgestaltung und Einordnung der Lieferanten im Liefernetzwerk. Nach STADTLER ET AL. [2010, S. 69ff.] handelt es sich dabei um Strukturattribute.

Tabelle 10-2 fasst 26 Produktentwicklungsprozesse zusammen, welche mittels der beiden Kriterien beurteilt wurden. Während sämtliche Prozesse Attribute der Gestalt des Produkts beschreiben, werden Attribute der Gestalt des Liefernetzwerks nur bei drei Prozessen umfassend berücksichtigt. Als Ergebnisse resultieren drei Entwicklungsprozesse, welche nachfolgend hinsichtlich der relevanten Aktivitäten in der Entwicklung dargestellt werden.

---

<sup>9</sup> Bei Entwicklungsprojekten unterscheiden ULRICH & EPPINGER [2004, S. 35ff.]: neue Produktplattform, Derivat bestehender Produktplattform, inkrementelle Überarbeitung eines bestehenden oder fundamental neuen Produkts.

## Produktarchitektur: Übersicht relevanter Aktivitäten im Entwicklungsprozess

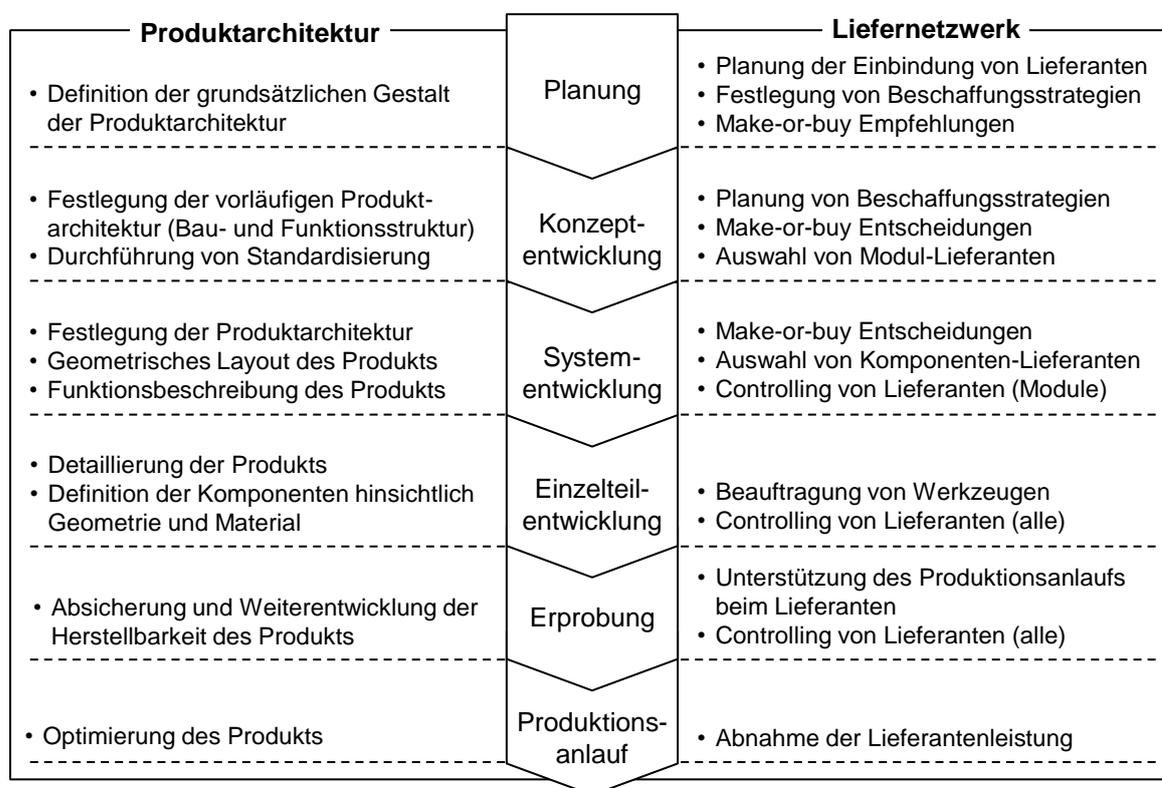
Auf Basis der drei Entwicklungsprozesse [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.; FELDHUSEN & GROTE 2013B; WILDEMANN 2013, S. 266ff.] werden die relevanten Aktivitäten hinsichtlich der Attribute der Produktgestalt und der Gestalt des Liefernetzwerks beschrieben. Die Ausführungen zu den generischen Entwicklungsprozessen mit der Aufteilung der Phasen nach ULRICH & EPPINGER [2004, S. 15ff.] bilden die Grundlage für die Verortung der Aktivitäten. Der sechsstufige Produktentwicklungsprozess beschreibt die Entwicklung von technischen Produkten von der Planung bis zum Produktionsanlauf [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.].

- Die **Planung** stellt einen Trichter für Entwicklungsprojekte dar und entscheidet über die Art des Entwicklungsprojekts. Sie definiert ferner die grundsätzliche Gestalt der Produktfamilie und -architektur [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.]. Es wird die Projektidee zu konkreten Produktvorgaben verarbeitet, welche als Anforderungsliste verabschiedet werden [PAHL ET AL. 2005, S.168ff.; WILDEMANN 2013, S. 266ff.]. Zudem wird die grundsätzliche Beschaffungsstrategie verabschiedet und die Einbindung von Schlüssellieferanten in den Produktentwicklungsprozess geplant [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.]. Nach WILDEMANN [2013, S. 266ff.] erfolgt konsekutiv die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Eigen- oder Fremdfertigung.
- Die **Konzeptentwicklung** generiert und wählt Produktkonzepte für die weitere Entwicklung. Es wird ein Funktionsmodell erstellt und Konzepte mittels des morphologischen Kastens konfiguriert [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.]. Daraus resultiert die vorläufige Produktarchitektur über die Beschreibung der Funktions- und Baustruktur [PAHL ET AL. 2005, S.168ff.]. Zudem erfolgt eine Segmentierung des Produkts durch die Modulbildung, welche von Standardisierungsaktivitäten begleitet wird [WILDEMANN 2013, S. 266ff.]. FELDHUSEN & GROTE [2013C, S. 224ff.] unterstreichen die Bedeutung der frühzeitigen Einbindung der Beschaffung, welche Informationen aus der Strukturstückliste für Beschaffungsaktivitäten nutzt. In der Konzeptentwicklung werden die Handlungsempfehlungen aus der Planung für Beschaffungsentscheidungen auf Modulebene herangezogen und die Beschaffungsstrategien umgesetzt [WILDEMANN 2013, S. 266ff.].
- In der **Systementwicklung** werden Alternativen der Produktarchitektur erstellt und das Produkt in Subsysteme sowie Komponenten aufgeteilt. Damit legt diese Phase die Produktarchitektur, ein grobes geometrisches Layout des Produkts und eine Funktionsbeschreibung der Subsysteme fest [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.]. Hinsichtlich des Liefernetzwerks werden durch die Make-or-buy-Entscheidungen Lieferanten für Schlüsselkomponenten beauftragt [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.].
- Die **Einzelteilentwicklung** detailliert die ausgewählte Produktarchitektur und legt die Komponenten hinsichtlich Geometrie und Material fest [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.]. Damit werden die Fertigungszeichnungen für die Einzelteile erstellt [PAHL ET AL. 2005, S.168ff.]. Die Beschaffung kauft in dieser Phase Standardkomponenten ein und beauftragt die Produktionswerkzeuge [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.]. Zudem erfolgt das Lieferantencontrolling [WILDEMANN 2013, S. 266ff.].
- In der **Erprobung und Weiterentwicklung** werden die Funktionalität, Herstellbarkeit und Zuverlässigkeit des Produktes abgesichert [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.] und abschließend die Fertigungsfreigabe erteilt [PAHL ET AL. 2005, S.168ff.]. Die Beschaffung

unterstützt in dieser Phase den Produktionsanlauf bei den Lieferanten [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.], und es erfolgt ein umfassendes Controlling der Modul- und Komponentenslieferanten [WILDEMANN 2013, S. 266ff.].

- Im **Produktionsanlauf** wird unter Verwendung des Serienproduktionssystems das Endprodukt gefertigt [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 15ff.] und die Serienfreigabe erteilt. Zudem wird die Lieferantenleistung abgenommen [WILDEMANN 2013, S. 266ff.].

Abbildung 2-2 stellt die relevanten Aktivitäten mit Einfluss auf die Strukturattribute der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks schematisch über dem Produktentwicklungsprozess nach ULRICH & EPPINGER [2004, S. 15ff.] dar.



**Abbildung 2-2: Aktivitäten im Produktentwicklungsprozess**

(in Anlehnung an ULRICH & EPPINGER [2004, S. 15ff], FELDHUSEN & GROTE [2013B] und WILDEMANN [2013, S. 266ff.])

### Schlussfolgerung zur Produktarchitektur im Produktentwicklungsprozess

Die Evolution der Produktarchitektur erstreckt sich bis zu deren Festlegung in der Systementwicklung. Mit der Lieferantenauswahl wird in dieser Phase das Liefernetzwerk determiniert. Folglich erfahren die Strukturattribute von Produktarchitektur und Liefernetzwerk lediglich in frühen Phasen der Entwicklung eine Veränderung und sind für die weiteren Ausführungen zu fokussieren. Zudem liefert der vorgestellte Entwicklungsprozess eine Referenz für den Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung. Diesem Prozess sind mit Abbildung 2-2 bereits die relevanten Aktivitäten zur Abstimmung zugeordnet.

## 2.2 Einführung in die Beschaffung

Die Beschaffung ist eine betriebliche Grundfunktion, welche vom Erfüllungsgehilfen zum Innovationstreiber und Steuermann der Lieferkette avancierte [APPELFELLER & BUCHHOLZ 2011, S. 1; MATHAR & SCHEURING 2009, S. 27]. Dieser Paradigmenwechsel ist ursächlich für die Aufteilung in Funktionsbereiche der operativen und strategischen Beschaffung [HOFBAUER ET AL. 2009, S. 5]. Erstere beschreibt den operativen und dispositiven Charakter der Versorgungsfunktion [WERNER 2013, S. 16]. Bei Letzterer herrscht die strategische Ausrichtung vor und umfasst marktbezogene Tätigkeiten [ARNOLD 1997, S. 3]. Diese stellen die Versorgung des Unternehmens mit Sach- und Dienstleistungen sicher [HEB 2008, S. 21; KUMMER ET AL. 2009, S. 93]. Die Beschaffung überschreitet Unternehmensgrenzen, um wertschöpfende Beziehungen auf dem Beschaffungsmarkt zu schaffen und frühzeitig Marktentwicklungen zu indizieren.

Die Beschaffung wird vermehrt in die Entwicklung eingebunden [ARNOLDS ET AL. 2001, S. 1ff.], um die Versorgung der Produktion und die wirtschaftliche Beschaffung sicherzustellen [MATHAR & SCHEURING 2009, S. 52]. Diese Aufgabe kann auf fünf Ziele heruntergebrochen werden: Kosten, Qualität, Flexibilität, Sicherheit und Liquidität [LANDEKA & BEDAY 2002, S. 10]. KUMMER ET AL. [2009, S. 95] ergänzt diese Sach- und Formalziele um Sozial- und Umweltziele und stellt bei der Beschaffung die Nachhaltigkeit der Unternehmung in den Fokus.

In der Beschaffung wird aus der Unternehmenspolitik eine Beschaffungsstrategie entwickelt, welche die Potenziale des Beschaffungsmarkts mit den Bedürfnissen aus dem Produktmanagement abstimmt [BENDER 2008, S. 40; WILDEMANN 2008, S. 392]. Zudem ist die Auswahl geeigneter Lieferanten Aufgabe der Beschaffung und konstituiert die Zusammenstellung des Liefernetzwerks. Zur Schaffung einer thematischen Grundlage wird in Kapitel 2.2.1 der Begriff des Liefernetzwerks abgegrenzt und dessen Konstitution im Beschaffungsprozess (Kapitel 2.2.2) eruiert.

### 2.2.1 Liefernetzwerk: Terminologisch-thematische Einführung

Entscheidungen in der Beschaffung stellen auf die Gestaltung des Liefernetzwerks ab und spiegeln sich in deren Struktur [KRISHNAN ET AL. 2001, S. 8; LAMBERT & COOPER 2000, S. 69]. Mit der Definition des Liefernetzwerks wird das erforderliche Begriffsverständnis geschaffen.

#### **Liefernetzwerk: Definition und Charakteristiken**

Die Begrifflichkeit des Liefernetzwerks wird in der deutsch- und englischsprachigen Fachliteratur heterogen verwendet.<sup>10</sup> Im Rahmen dieser Dissertation werden mit Tabelle 2-2 verschiedene Definitionen für das Liefernetzwerk vorgestellt, welche drei wesentliche Charakteristiken hervorheben und das Verständnis in der Fachliteratur widerspiegeln. Die Auswahl der aufgeführten Definitionen bietet einen Überblick und zeigt die Heterogenität der Begrifflichkeit auf. Die Charakteristiken des Liefernetzwerks beziehen sich auf den Umfang und die Vernetzung der Stakeholder (Lieferanten, Originalteilhersteller und Kunde) und ergeben sich wie folgt:

---

<sup>10</sup> In der deutschsprachigen Fachliteratur wird der Terminus Lieferkette synonym verwendet. In der englischsprachigen Literatur wird von Supply Chain, Supply Chain Network oder Supply Network gesprochen.

- LN.A: Umfang der Stakeholder – Erstreckung des Liefernetzwerks
- LN.B: Vernetzung der Stakeholder – Flussarten im Liefernetzwerk
- LN.C: Umfang und Vernetzung der Stakeholder – Gestalt des Liefernetzwerks

Der Umfang der Stakeholder (LN.A) stellt auf den Transformationsprozess von Rohmaterialien zum fertigen Produkt ab. Zudem werden die Stakeholder festgelegt, wofür die Fachliteratur zwei Ausprägungen bereithält. Nach CHOPRA & MEINDL [2010, S. 20–21] und CRANDALL ET AL. [2009, S. 31] umfasst der Prozess sämtliche Aktivitäten vom Rohmateriallieferanten bis zum Kunden (●). AYERS [2001, S. 4ff.] reduziert den Prozess (○) auf Kundenanforderungen. Die Flussarten in Liefernetzwerken (LN.B) beschreiben die Art der Vernetzung zwischen den Stakeholdern im Transformationsprozess. Diese Vernetzung umfasst übereinstimmend den Material-, Kapital- und Informationsfluss zwischen den Stakeholdern im Liefernetzwerk (●). [CHOPRA & MEINDL 2010, S. 20–21; CRANDALL ET AL. 2009, S. 31; AYERS 2001, S. 4ff.] Die Gestalt des Liefernetzwerks (LN.C) verknüpft die beiden ersten Charakteristika aus Systemperspektive, welche sich in der Vernetzung der Stakeholder im Liefernetzwerk manifestiert. Die Verknüpfung beschreibt ein Netzwerk (●) [CHOPRA & MEINDL 2010, S. 20–21; AYERS 2001, S. 4ff.], welches eine komplexe Struktur besitzt [ROUSE 2005, S. 139]. CRANDALL ET AL. [2009, S. 31] greift diesen Netzwerkcharakter nicht explizit auf (⊙).

**Tabelle 2-2: Definitionen und Charakteristiken des Liefernetzwerks**

Definition des Liefernetzwerks	LN.A	LN.B	LN.C
A supply chain “is dynamic and involves the constant flow of information, product, and funds between different stages. (...) In reality, a manufacturer may receive material from several suppliers and then supply several distributors. Thus, most supply chains are actually networks.” [CHOPRA & MEINDL 2010, S. 20–21]	●	●	●
A supply chain “consists of various participants who perform a sequence of activities in moving goods, capital, and information from a point of origin to a point of consumption and vice versa.” [CRANDALL ET AL. 2009, S. 31]	●	●	⊙
A supply chain is a “life cycle process (...) comprising physical, information, financial, and knowledge flows whose purpose is to satisfy end-user requirements with products and services from multiple linked suppliers.” [AYERS 2001, S. 5]	○	●	●
Legende: ● heterarchisch      ○ hierarchisch      ⊙ nicht näher beschrieben			

Aus Tabelle 2-2 ergibt sich die Definition des Liefernetzwerks für diese Dissertation wie folgt:

**Definition:** Als Liefernetzwerk wird der Transformationsprozess verstanden, welcher Lieferanten und Originalteilhersteller unter Berücksichtigung spezifischer Kundenanforderungen über den Strom von Material, Kapital und Informationen verbindet. Die Vernetzung zwischen den Lieferanten und dem Originalteilhersteller besitzt den Charakter eines Netzwerks.

## Liefernetzwerk: Terminologischer Ordnungsrahmen

Zur weiteren Abgrenzung der Begriffe wird ein terminologischer Ordnungsrahmen für das Liefernetzwerk erarbeitet. Aus der Summe der Liefernetzwerke eines Unternehmens ergibt sich ein Lieferantennetzwerk [GRANT ET AL. 2013, S. 16; HARLAND ET AL. 2001]. In diesem besitzen Lieferanten eine Vielzahl an Abhängigkeiten, aufgrund ihrer Beteiligung an verschiedenen Produkten und Liefernetzwerken [HARLAND ET AL. 2001; ROSEIRA ET AL. 2010, S. 926-927]. Das Lieferantennetzwerk enthält neben aktiven inaktive Lieferanten, welche alternative Beschaffungsquellen für einen spezifischen Umfang darstellen [GRANT ET AL. 2013, S. 16]. Folglich beschreibt das Lieferantennetzwerk die Lieferantenbasis des Originalteilherstellers. Abbildung 2-3 zeigt das Lieferantennetzwerk, welches sich aus den Liefernetzwerken für zwei Produkte zusammensetzt. Das Lieferantennetzwerk umfasst sämtliche Lieferanten und den Originalteilhersteller, welche über Material-, Kapital- und Informationsfluss verbunden sind.

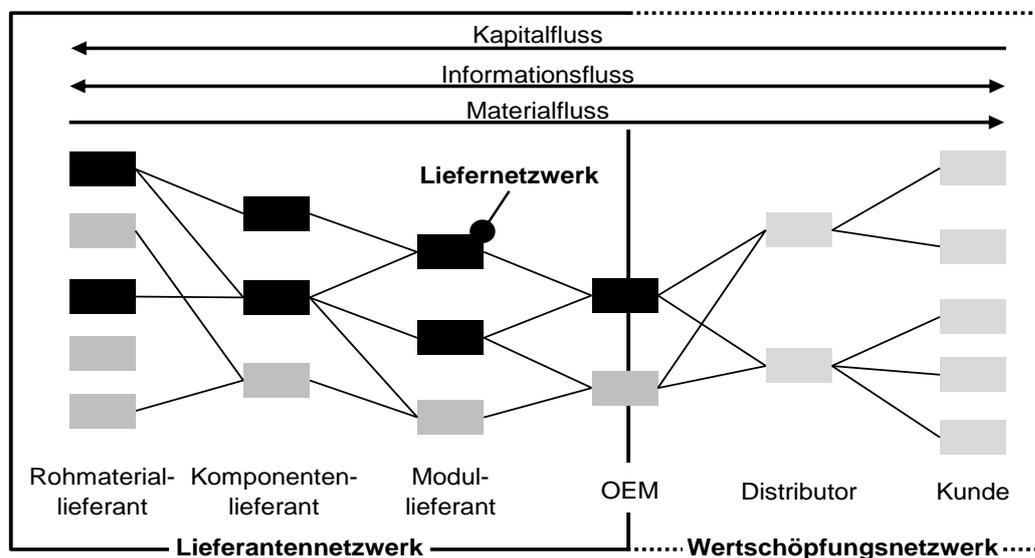


Abbildung 2-3: Terminologischer Ordnungsrahmen für das Liefernetzwerk

In Ergänzung zu den Publikationen aus Tabelle 2-2, welche den Kunden als Bestandteil des Liefernetzwerks betrachten, ist der Kunde nach BUSCH & DANGELMAIER [2002, S.4] nur Teil des unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerks. CHRISTOPHER [2005, S. 17] und PORTER [2014, S. 61ff.] fokussieren dessen Ausrichtung auf den Wertbeitrag aus Kundensicht, welcher nach WERNER [2013, S. 18] auch wertvernichtende Prozesse umfasst. Damit erweitert das Wertschöpfungsnetzwerk das Lieferantennetzwerk um das Distributionsnetz. Im terminologischen Ordnungsrahmen wird somit das Lieferantennetzwerk – bestehend aus den Liefernetzwerken für zwei Produkte – um die Distributoren (zwei) und die Kunden (fünf) erweitert.

## Liefernetzwerk: Thematische Abgrenzung zu mediaten Forschungsfeldern

Aus der thematischen Einordnung (Kapitel 1.3) ergeben sich über die Beziehungen zu mediaten Forschungsfeldern vier relevante Schnittstellen für das Liefernetzwerk, welche dieses mit Organisation, Beschaffungsprozess, Lieferantenbasis, Produktarchitektur und Produktionsstruktur verknüpfen. Die Relevanz der Schnittstellen für diese Arbeit wird im Folgenden bewertet.

Die Schnittstelle zur Organisation findet in der Fachliteratur nur geringe Beachtung. LAMBERT & COOPER [2000, S. 77] halten eine grundlegende Empfehlung für die Gestalt der Organisation in Abhängigkeit von der Ausprägung des Liefernetzwerks fest. Demnach fordern cross-organisationale Teams ein integriertes Liefernetzwerk, während cross-funktionale Teams ein prozessorientiertes Liefernetzwerk verlangen. Konkrete Implikationen für die Gestalt des Liefernetzwerks ergeben sich daraus nicht, sodass diese Schnittstelle hier nicht weiter betrachtet wird.

Mit der Schnittstelle zur Lieferantenbasis wird die Betrachtung von einem singulären Produkt zu einer Produktfamilie verschoben und umfasst die erforderlichen Lieferanten für die Umsetzung der Produktfamilie [GRANT ET AL. 2013, S. 16]. Für die Gestaltung der Lieferantenbasis wird eine Vorauswahl von Lieferanten durchgeführt, um Ressourcen für die Unterhaltung von Lieferantenbeziehungen zu schonen [DAY ET AL. 2010, S. 625–627]. Die Vorauswahl konstituiert den Umfang der Lieferantenbasis und somit die Konfigurationsmöglichkeiten des Liefernetzwerks. DAY ET AL. [2010] und DE BOER ET AL. [2001] stellen einen umfassenden Überblick über Methoden zur Vorauswahl vor, welche weitestgehend Informationen zu der Beschaffungsquelle nutzen, ohne das Beschaffungsgut explizit zu berücksichtigen. Der Einfluss auf die Ausgestaltung des Liefernetzwerks ergibt sich in der Folge aus der Konstitution der Lieferantenbasis. Diese wird maßgeblich durch die Methoden zur Vorauswahl bestimmt. In Kapitel 3.1.2 wird dieser Einfluss im Detail beschrieben.

Der Beschaffungsprozess beschreibt über seine Entscheidungen die Ausgestaltung des Liefernetzwerks [LAMBERT & COOPER 2000, S. 69ff.]. Die Entscheidungen erfahren über Beschaffungsstrategien einen strategischen Entscheidungsrahmen und stellen den Schulterschluss zwischen Beschaffungsgut und -quelle dar [KAUFMANN 2002, S.15; KRAMPF 2012, S. 82]. Sie beschreiben die Art und Weise, wie strategische Aufgaben der Beschaffung zu erfüllen sind [LARGE 2013, S.40]. Der Einfluss von Beschaffungsstrategien wird in Kapitel 3.2.2 eruiert.

Die Schnittstelle zu Produktarchitektur und Produktionsstruktur wird durch das 3D-Concurrent Engineering beschrieben [FINE 1998, S. 127ff.]. Dabei haben die bereits aufgegriffenen Gütekriterien nach RUNGTUSANATHAM & FORZA [2005] ebenso wie die Mechanismen für eine Abstimmung nach FORZA ET AL. [2005] weiterhin Bestand. Die Schnittstelle zur Produktionsstruktur verliert durch die Verlagerung der Wertschöpfung zu Lieferanten an Bedeutung [BARDI 2002, S. 10] und wird im weiteren Verlauf dieser Dissertation nicht weiter fokussiert. Ansätze zur Abstimmung mit der Produktarchitektur werden hingegen in Kapitel 4.2 aufgeführt.

### **Schlussfolgerung zur terminologisch-thematische Einführung**

Das Liefernetzwerk wird als Transformationsprozess für ein Produkt verstanden, welcher über den Strom von Material, Kapital und Informationen den Lieferanten mit dem Originalteilhersteller verbindet. Die Vernetzung der beteiligten Stakeholder beschreibt dabei ein Netzwerk. Mit der Berücksichtigung des Produktportfolios und der gesamten Lieferantenbasis grenzt sich das Liefernetzwerk von dem Lieferantennetzwerk eindeutig ab (Abbildung 2-3). Das Liefernetzwerk wird über drei spezifische Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern beeinflusst, welche das weitere Forschungsprogramm vorzeichnen. Kapitel 2.2.2 beschreibt die Gestaltung der Lieferantenbasis und die Konfiguration des Liefernetzwerks im Beschaffungsprozess, während Kapitel 3.2.2 auf Mechanismen zur Ausgestaltung des Liefernetzwerks abstellt. In Kapitel 4.2 wird schließlich die Abstimmung mit der Produktarchitektur fokussiert.

## 2.2.2 Liefernetzwerk: Evolution im Beschaffungsprozess

Die Gestalt des Liefernetzwerks wird über Entscheidungen im Beschaffungsprozess konstituiert. Diese Entscheidungen umfassen die Gestaltung der Lieferantenbasis bis zur Auswahl eines spezifischen Lieferanten für einen Beschaffungsumfang als Teil der sukzessiven Bestimmung des Liefernetzwerks. Im Beschaffungsprozess werden die Entscheidungen durch Aktivitäten befähigt und bilden lediglich die Erkenntnisse dieser Aktivitäten ab. Eine Übersicht über Aktivitäten im Beschaffungsprozess wird im Folgenden dargestellt.

### **Liefernetzwerk: Auswahl von Aktivitäten im Beschaffungsprozess**

Die Beschaffung geht in ihrer strategischen Ausrichtung der handlungsleitenden Aufgabe nach, eine wertschöpfende Beziehung zu den Lieferanten aufzubauen und Entwicklungen am Beschaffungsmarkt frühzeitig zu indizieren. Der Beschaffungsprozess deckt den Rahmen an Beschaffungsaufgaben ab [JANKER 2008, S. 19]. In der Fachliteratur besteht ein vergleichsweise homogenes Verständnis vom Beschaffungsprozess, weshalb sich auf die exemplarische Darstellung des Beschaffungsprozesses nach KOPPELMANN [2004, S. 85ff.] beschränkt wird. Dieser bietet einen repräsentativen als auch umfassenden Überblick des Beschaffungsprozesses.

Im **Beschaffungsprozess** wird über die Situationsanalyse der grundlegende Gestaltungsrahmen für den entwicklungsprojektunabhängigen Beschaffungsprozess festgelegt. Hierfür sind die Beschaffungsziele und -potenziale maßgebend. Zudem werden in dieser Phase Entwicklungen in der Unternehmung sowie deren beschaffungsmarktlichen Umfeld abgebildet. Mit der Bedarfsanalyse werden die Anforderungen an Beschaffungsobjekt und -modalitäten durch ein interdisziplinäres Team unter Führung des internen Kunden konkretisiert [KRAMPF 2012, S. 8]. In dieser Phase werden Make-or-buy-Entscheidungen getroffen [VAN WEELE 2014, S. 32] und der entwicklungsprojektspezifische Beschaffungsprozess initiiert. Die Beschaffungsmarktanalyse forciert die Auswahl eines Beschaffungsmarktes für die ausgewiesenen Umfänge. Damit wird in dieser Phase eine Vorauswahl von konkreten Beschaffungsquellen (Lieferanten) durchgeführt. Die verbindliche Auswahl erfolgt mit der nachfolgenden Lieferantenanalyse, welche zugleich Schwerpunkt im Beschaffungsprozess ist. Mit dieser Phase wird die Bewertung der Lieferanten vorbereitet und stellt auf die Selektion von leistungsfähigen Lieferanten für die folgende Verhandlung ab. In der Lieferantenverhandlung wird die angebotene Lieferleistung mit dem formulierten Bedarf abgestimmt. Für eine annehmbare Deckung des Bedarfs durch die angebotene Lieferleistung wird einer der ausgewählten Lieferanten beauftragt. In der letzten Phase erfolgt die Beschaffungsabwicklung, welche die operativen Tätigkeiten der Bestellung, Beschaffungsüberwachung und Entsorgung umfasst. [KOPPELMANN 2004, S. 8ff.]

Der Einfluss auf Strukturattribute des Liefernetzwerks umfasst neben der Auswahl von Lieferanten die Gestaltung der Lieferantenbasis. Diese konstituiert den Rahmen für die Konfiguration von Alternativen für das Liefernetzwerk. Nach JANKER [2008, S. 2ff.] beschränken sich die Aktivitäten im Beschaffungsprozess, welche auf diese Strukturattribute Einfluss nehmen, auf das Lieferantenmanagement. Das Lieferantenmanagement stellt auf die Identifikation von potenziellen Lieferanten, die Bewertung von Lieferanten sowie die Kontrolle und Steuerung der Lieferanten-Abnehmer-Beziehung ab [JANKER 2008, S. 23ff.]. Folglich ist die Auswahl von relevanten Aktivitäten auf das Lieferantenmanagement zu beschränken, welches zwischen der Beschaffungsmarktanalyse und -auswahl sowie der Beschaffungsabwicklung zu verorten ist.

## Liefernetzwerk: Übersicht zu relevanten Aktivitäten im Beschaffungsprozess

Der Einfluss auf Strukturattribute des Liefernetzwerks wird von Aktivitäten im Beschaffungsprozess beschrieben, welche allesamt im Lieferantenmanagement zu verorten sind. Der Fokus liegt auf der Gestaltung der Lieferantenbasis und Konfiguration des Liefernetzwerks. Die abschließende Steuerung der Abnehmer-Lieferanten-Beziehung wird lediglich beschrieben, um einen umfassenden Überblick über das Lieferantenmanagement zu liefern.

Die **Gestaltung der Lieferantenbasis** beschreibt die Identifikation und Eingrenzung von potenziellen Lieferanten der Unternehmung mit der Zielsetzung, eine performante Lieferantenbasis bereitzustellen [ZAWISLA 2006, S. 40; LARGE 2013, S. 110–111]. Für die Erreichung dieser Zielsetzung müssen Unternehmen die Komplexität der Lieferantenbasis überkommen, welche sich aus der Anzahl und Varianz an Beschaffungsquellen sowie der Stimmigkeit von Beschaffungsquelle und -gut ergibt [CHOI & KRAUSE 2006, S. 642]. Die Analyse und Planung der Lieferantennetzwerkstruktur erlaubt die Klassifizierung der Lieferanten und ist handlungsleitend, um der Komplexität zu entgegnen [LARGE 2013, S. 110ff.]. Eine spezifische Ausprägung dieser Klassifizierung stellt das Materialgruppenmanagement dar, welches eine Bedarfsbündelung und Ausweitung der internen Zusammenarbeit bereits in der Produktentwicklung fokussiert, um Synergien (Mengenbündelung und Standardisierung) zu realisieren [WAGNER 2002, S. 75ff.]. In der Praxis trägt die Klassifizierung maßgeblich zur Schonung der Ressourcen bei. Im Folgenden werden die Phasen der Gestaltung der Lieferantenbasis im Detail beschrieben und der Einfluss auf die Strukturattribute des Liefernetzwerks dargestellt.

- Die **Lieferantenvorauswahl** verbindet die Unternehmung mit dem Beschaffungsmarkt und widmet sich der Ermittlung potenzieller Lieferanten [KRAMPF 2012, S. 82]. Es sind gezielt neue Lieferanten als Erweiterung der bestehenden Lieferantenbasis zu identifizieren, welche zur Bedarfsdeckung der Unternehmung beitragen [HOFBAUER ET AL. 2009, S. 35]. Kann die bestehende Lieferantenbasis die Bedarfe bereits abdecken, ist die Vorauswahl obsolet [JANKER 2008, S. 35ff.]. Durch das Internet haben sich die Möglichkeiten zur Ermittlung neuer Lieferanten vervielfacht,<sup>11</sup> obgleich die Identifikation von passenden Lieferanten weiterhin eine Herausforderung in der Praxis darstellt [KRAMPF 2012, S. 82].
- Zielsetzung der **Lieferanteneingrenzung** ist die Einschränkung der Lieferantenzahl, um eine ressourcenschonende Durchführung des detaillierten Bewertungsprozesses zu gewährleisten. Dafür wird die grundsätzliche Eignung der Lieferanten für das Unternehmen bewertet und das grobe Leistungsspektrum festgehalten. Die Eingrenzung stellt den nächsten Schritt im Selektionsprozess dar und schränkt die Lieferantenbasis ein. Mit abnehmender Anzahl im Selektionsprozess steigt die Informationsmenge zu den einzelnen Lieferanten und schafft damit die Grundlage für die folgende Lieferanteanalyse. [JANKER 2008, S. 35ff.; KRAMPF 2012, S. 82–83]

Die **Konfiguration des Liefernetzwerks** schließt sich der Gestaltung der Lieferantenbasis an und beeinflusst durch die Selektion von Lieferanten unmittelbar die Strukturattribute des Liefernetzwerks. Die Konfiguration umfasst die Analyse, Bewertung und Auswahl potenzieller

---

<sup>11</sup> Einen Überblick über Quellen für die Ermittlung von Lieferanten liefert [JANKER 2008, S. 35ff.].

Lieferanten für die sukzessive Zusammenstellung des Liefernetzwerks. Dabei werden strategische Lieferanten frühzeitig diesem Selektionsprozess zugeführt [ZAWISLA 2006, S. 40]. Anschließend erfolgt die Auswahl der weiteren Lieferanten, bis der Beschaffungsbedarf für das spezifische Produkt gedeckt ist. Zur Überwachung der Leistungsfähigkeit der Lieferanten wird die Konfiguration des Liefernetzwerks vom Controlling begleitet, welches die Grundlage für die Steuerung der Lieferanten-Abnehmer-Beziehung ist [JANKER 2008, S. 35ff.].

- Die **Lieferantenanalyse** trachtet nach der Auswertung und Aufbereitung der Informationen zu den potenziellen Lieferanten hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen, technologischen und ökologischen Leistungsfähigkeit. Die Analyse fasst sämtliche Ergebnisse aus der Beschaffungsmarktforschung, Selbstauskunft der Lieferanten und Informationen aus Auditierungen zusammen. ARNOLDS ET AL. [2001, S. 134ff.] weisen zudem explizit auf die Berücksichtigung der Geschäftsbeziehung der Unternehmung zu den Lieferanten sowie die Beziehung zwischen den Lieferanten hin. Ein Abhängigkeitsverhältnis oder eine Wettbewerbsbeziehung stellen vitale Beispiele für bedrohliche Geschäftsbeziehungen dar. Die Phase der Lieferantenanalyse konkretisiert die Entscheidung für einen Lieferanten und stellt die erforderlichen Informationen für die folgende Lieferantenbewertung zur Verfügung. [KRAMPF 2012, S. 83; JANKER 2008, S. 35ff.]
- Die **Lieferantenbewertung** stellt eine Reihung der Lieferanten her und zielt auf die detaillierte Bewertung ausgewählter Lieferanten hinsichtlich ihrer individuellen Leistungsfähigkeit und ihrer erbrachten Lieferleistung ab [JANKER 2008, S. 35ff.]. ARNOLD [1997, S. 164ff.] nimmt für die Bewertung eine integrierte Perspektive und beschreibt den Lieferanten als Gesamtsystem. Für die Bewertung werden unternehmensinterne Fachbereiche [HOFBAUER ET AL. 2009, S. 36; JANKER 2008, S. 35ff.] und unternehmensexterne Beschaffungsquellen eingebunden [KRAMPF 2012, S. 83]. Dieses interdisziplinäre Bewertungsteam greift auf quantitative und qualitative Kriterien zurück [KRAMPF 2012, S. 83].
- Bei der **Lieferantenauswahl** erfolgt die Beauftragung des Lieferanten und stellt das Resultat des Selektionsprozesses dar [JANKER 2008, S. 35ff.]. Über die Auswahl des Lieferanten wird zudem die Lieferantenbasis festgelegt und das Liefernetzwerk konfiguriert. Die Auswahlentscheidung fußt auf den bereits angeführten quantitativen und qualitativen Bewertungskriterien [HOFBAUER ET AL. 2009, S. 36]. Für das interdisziplinäre Team stellen diese Kriterien eine Entscheidungsunterstützung für einen funktionsübergreifenden Konsens dar und legen den Grundstein für eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Lieferanten. [KRAMPF 2012, S. 83–84; HOFBAUER ET AL. 2009, S. 36]
- Das **Lieferantencontrolling** umfasst die kontinuierliche Überprüfung und Überwachung der Lieferantenleistung zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit. Durch regelmäßige Kontrolle der Leistungsfähigkeit, werden Leistungslücken identifiziert, sodass frühzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können [ZAWISLA 2006, S. 40; HOFBAUER ET AL. 2009, S. 49]. Das Lieferantencontrolling besitzt jedoch keinen unmittelbaren Einfluss auf die Konfiguration des Liefernetzwerks. [KRAMPF 2012, S. 84], [JANKER 2008, S. 35ff.]

Die **Steuerung der Lieferanten-Abnehmer-Beziehung** zielt auf die Optimierung der Leistungsfähigkeit der Lieferantenbasis und die Verbesserung der Zusammenarbeit mit den Lieferanten ab [JANKER 2008, S. 35ff.]. Dafür ist Transparenz über die erbrachte Leistung bei Abnehmer und Lieferanten essenziell [KRAMPF 2012, S. 84]. Die Steuerung setzt erst nach der

Konfiguration des Liefernetzwerks an und besitzt keinen unmittelbaren Einfluss auf relevante Strukturattribute. Zur Verortung der essenziellen Phasen werden diese kurz erläutert:

- **Integration:** Einbindung von Lieferanten in die Entwicklungs- und Produktionsprozesse des Abnehmers zur Verbesserung der Kooperation und gezielten Nutzung von Wertschöpfungs- und Entwicklungspotenzialen der Lieferanten [JANKER 2008, S. 35ff.].
- **Lieferantenpflege und -erziehung:** Aufbau eines partnerschaftlichen Verhältnisses (Pflege) und Motivation der Lieferanten über inzentivierende Maßnahmen zur Optimierung der Leistungsfähigkeit des Lieferanten und Verbesserung der Kommunikation zwischen Abnehmer und Lieferant [HAPKE 1989, S. 113].
- **Lieferantenförderung und -entwicklung:** Steigerung des Leistungsniveaus der Lieferanten durch unterstützende Maßnahmen des Abnehmers [JANKER 2008, S. 35ff.], welche typischerweise Beratungsleistungen, finanzielle Unterstützung, Transfer von Know-how oder Personal umfassen [WAGNER 2002, S. 90; RIFFNER & WEIDELICH 2001, S. 83ff.].

Abbildung 2-4 fasst die Aktivitäten mit Einfluss auf die Strukturattribute des Liefernetzwerks in einer schematischen Darstellung des zyklischen Lieferantenmanagements zusammen.

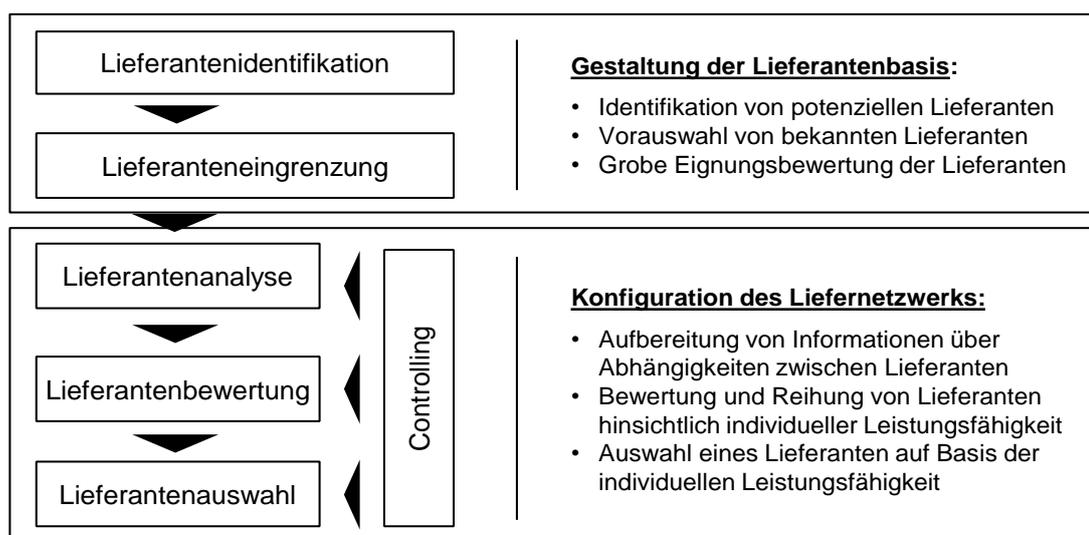


Abbildung 2-4: Aktivitäten im Lieferantenmanagement

### Schlussfolgerung zum Liefernetzwerk im Lieferantenmanagement

Die Gestalt des Liefernetzwerks wird ausschließlich über die Gestaltung der Lieferantenbasis und die Konfiguration des Liefernetzwerks beschrieben. Die Steuerung der Lieferanten-Abnehmer-Beziehung besitzt hingegen keinen unmittelbaren Einfluss auf Strukturattribute des Liefernetzwerks. Für die Lieferantenauswahl wird die individuelle Leistungsfähigkeit des Lieferanten herangezogen, obgleich die Leistungsfähigkeit durch interorganisationale Beziehungen im Kollektiv des Liefernetzwerks maßgeblich beeinflusst wird. Die Bemessung der Lieferleistung von Lieferanten in Abhängigkeit der spezifischen Konfiguration des Liefernetzwerks bricht bestehende Vorgehensweisen in der Lieferantenauswahl auf. Der resultierende Paradigmenwechsel wird in Kapitel 3.2 mit den erforderlichen methodischen Grundlagen ausgestattet.

## 2.3 Implikationen aus der theoretischen Einführung

Die theoretische Einführung schafft eine terminologische Basis für die zentralen Begrifflichkeiten der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks. Die Abstimmung dieser Facetten erfolgt auf der Ebene von Strukturattributen, welche auf die Abhängigkeiten in Produktarchitektur und Liefernetzwerk und ihren inhärenten Elementen abstellen. Über eine adäquate Modellierung sind die Abhängigkeiten in beiden Facetten abzubilden, um die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk im Rahmen der vorliegenden Dissertation zu ermöglichen.

In der thematischen Einführung werden Produktarchitektur und Liefernetzwerk zu ihren mediaten Forschungsfeldern abgegrenzt. Die zentrale Abstimmung der beiden Facetten wird grundsätzlich durch zahlreiche Forschungsfelder beeinflusst (Kapitel 1.3), welche im Verlauf der theoretischen Einführung jedoch auf vier Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern konzentriert wurde. Diese Schnittstellen werden in Abbildung 2-5 auf den drei Ebenen der industriellen Wertschöpfung dargestellt. Die eindeutige und umfassende Beschreibung dieses Einflusses ist handlungsleitend für die methodischen Grundlagen (Kapitel 3).

Die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk erfolgt über Strukturattribute. Im Entwicklungs- und Beschaffungsprozess stellen lediglich ausgewählte Aktivitäten auf diese Attribute ab. Diese erlauben eine Eingrenzung des Betrachtungsgegenstands (Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk) auf frühe Phasen der Entwicklung. Zudem ist lediglich das Lieferantenmanagement mit den Phasen der Gestaltung der Lieferantenbasis und der Konfiguration des Liefernetzwerks mit den inhärenten Aktivitäten zu berücksichtigen. Abbildung 2-5 zeigt den Fokusbereich des Forschungsvorhabens und fasst damit die handlungsleitenden Implikationen aus der theoretische Einführung zusammen.

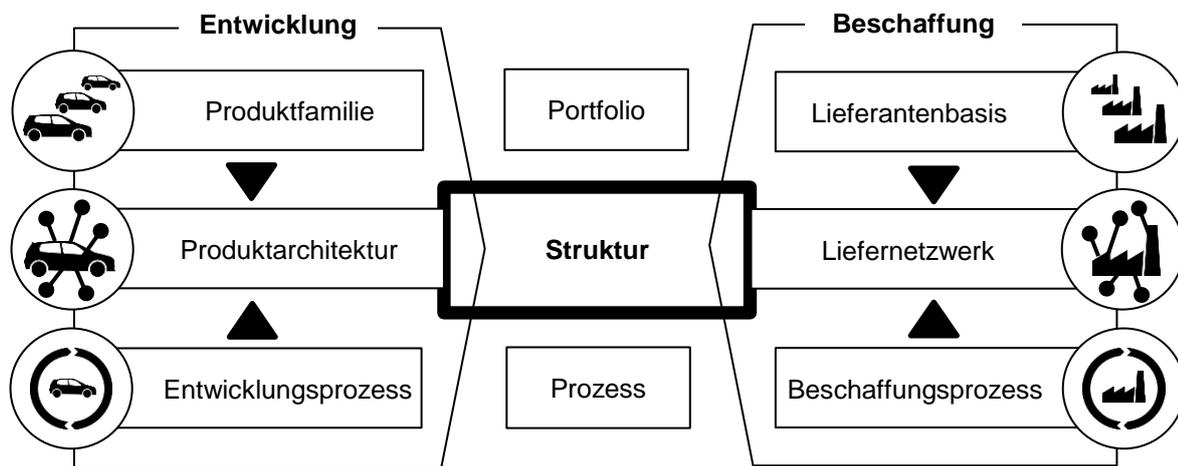


Abbildung 2-5: Fokusbereich der Forschungsvorhabens

## 3. Methodische Grundlagen

*In diesem Kapitel werden die methodischen Grundlagen für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk geschaffen. Diese Grundlagen umfassen die Modellierung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk als Voraussetzung für deren Gestaltung. Die Abgrenzung zu mediaten Forschungsfeldern beider Domänen liefert den Grundriss für die relevanten Schnittstellen, welche die Ausgestaltung der Produktarchitektur (Entwicklungsprozess und Produktfamilie) und des Liefernetzwerks (Lieferantenmanagement und -basis) beeinflussen.*

### 3.1 Methodische Grundlagen zur Produktarchitektur

Dieses Kapitel knüpft an die Schnittstellen der Produktarchitektur zu mediaten Forschungsfeldern (Kapitel 2.1.1) an und bereitet die relevanten methodischen Grundlagen für die vorliegende Dissertation auf. Im Zentrum steht die Ausgestaltung der Produktarchitektur, welche über die Schnittstelle zur Produktfamilie und zum Entwicklungsprozess beeinflusst wird.

Die dezidierte Aufbereitung dieses Einflusses erfordert ein solides Fundament, welches durch ein Modell der Produktarchitektur geliefert wird. Dieses Modell beschreibt somit den konkreten Einfluss der Produktfamilie und des Entwicklungsprozesses auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur. Für die Nutzung des Modells ist nach KOHN [2013, S. 41] zunächst die Formulierung, Erstellung und Absicherung des Modells essenziell. Diese drei Teilphasen im Lebenszyklus eines Modells werden in Kapitel 3.1.1 unter der Überschrift der Modellierung von Produktarchitekturen zusammengefasst. In diesem Kapitel werden die methodischen Grundlagen für die Modellierung der Produktarchitektur (Kapitel 3.1.1) und die Beschreibung des Einflusses der Produktfamilie und des Entwicklungsprozesses auf die konkrete Gestalt der Produktarchitektur (Kapitel 3.1.2) bereitgestellt.

#### 3.1.1 Produktarchitektur: Ansätze zur Modellierung

Die Modellierung der Produktarchitektur<sup>12</sup> fokussiert die Abbildung der Funktions- und Baustruktur sowie die Transformationsbeziehung zwischen Funktionen und Komponenten. Für die Modellierung ergeben sich zwei grundsätzliche Dimensionen. Diese stellen auf die Zerlegung und die Vernetzung des Produkts ab [GÖPFERT 2009, S. 24ff.]<sup>13</sup>. In Abbildung 3-1 werden diese Dimensionen für die Charakterisierung von grundsätzlichen Formen der Modellierung (3D-Systemmodell, Hierarchie, Graph und Matrix) dargestellt [GÖPFERT 2009, S. 24ff.].

---

<sup>12</sup> Technische Produkte können als System verstanden werden. Damit sind die Ausführungen von GÖPFERT [2009, S. 24ff.] zu Systemen grundsätzlich auf die Produktarchitektur übertragbar.

<sup>13</sup> GÖPFERT [2009, S. 24ff.] betitelt diese Dimensionen als hierarchische Aspekte (Zerlegung) und Beziehungsaspekte der Elemente in der Systemarchitektur (Vernetzung).

Darstellung der Zerlegung	gut	Hierarchie	Matrix 3D-Systemmodell
	schlecht	-	Graph
		schlecht	gut

**Darstellung der Vernetzung**

**Abbildung 3-1: Klassifikation der Modellierung von Produktarchitekturen**

(In Anlehnung an GÖPFERT [2009, S. 25])

In der Hierarchie wird die Zerlegung zugunsten der Darstellung der Vernetzung fokussiert. Darstellungen über Graphen setzen die Priorität auf die Darstellung der Beziehungen zwischen den Produktbestandteilen. Das 3D-Systemmodell und die Matrix werden beiden Dimensionen der Modellierung von Produktarchitekturen gerecht. GÖPFERT [2009, S. 24ff.]

In der vorliegenden Dissertation wird die Produktarchitektur in Übereinstimmung mit der Definition nach ULRICH [1995, S. 420] verwendet. Die Produktarchitektur setzt sich demnach neben einer Transformationsbeziehung aus einer heterarchischen Funktions- und Baustruktur zusammen. Die Darstellung der Zerlegung (hierarchische Aspekte der Elemente in der Architektur) wird damit nicht von dieser Dissertation fokussiert. Zudem ist das 3D-Systemmodell auf eine geringe Anzahl an Elementen und Relationen beschränkt und nicht für die Modellierung von Produktarchitekturen im Rahmen dieser Dissertation anzuwenden. Graphen und Matrizen stellen somit die relevanten Formen der Modellierung von Produktarchitekturen dar.

### Graphenbasierte Modellierung

Die Graphentheorie ist Grundlage für die Lösung von syntaktischen oder algorithmischen Problemen und blüht seit Ende des 20. Jahrhunderts mit der Identifikation von zahlreichen Modellierungsmöglichkeiten auf. [HARRIS ET AL. 2008, S. 2]

Aus der Graphentheorie hat sich die Netzwerktheorie entwickelt. Diese nutzt die Grundlagen der Graphentheorie und stellt den Betrachtungsgegenstand großer Netzwerke<sup>14</sup> in den Fokus. Die Netzwerktheorie betrachtet Netzwerke mit einer größeren Anzahl an Knoten und Kanten, welche durch ihre Dynamik charakterisiert sind. Bei der Analyse der Netzwerke wird folglich auf umfassendere Methoden aus der Statistik zurückgegriffen. [NEWMAN 2003, S. 2ff.]

Grundsätzlich untersuchen Graphen Strukturen in einem System über ein mathematisches Modell. Diese Strukturen ergeben sich aus den Systemelementen (Knoten) und den Verknüpfungen zwischen diesen Systemelementen (Kanten) [TITTMANN 2003, S. 11; HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 33–41]<sup>15</sup>. Die Graphen unterscheiden sich dabei hinsichtlich ihrer Eigenschaften. In

<sup>14</sup> Beispiele: soziale und biologische, Informations- und Technologienetze [NEWMAN 2003, S. 5–9].

<sup>15</sup> Im Englischen werden Knoten als „nodes“ und Kanten als „edges“ bezeichnet.

Tabelle 10-3 werden grundlegende Arten von Graphen dargestellt und hinsichtlich ihrer spezifischen Eigenschaften beschrieben.

Die Darstellung eines Graphen in einer Zeichnung wird den gegenwärtigen Anforderungen für die Verarbeitung und Berechnung von Grapheigenschaften nicht gerecht. Um dieses Defizit zu überkommen, werden Graphen über die Adjazenzmatrix in eine mathematische Beschreibung überführt. Die Darstellung in einer Matrix vereint somit eine alternative Beschreibung der Systemzusammenhänge mit umfassenden Möglichkeiten zur Verarbeitung und Berechnung von Grapheneigenschaften. In Abbildung 3-2 wird exemplarisch die Transformation von einem ungerichteten Graphen  $G = (V, E)$  mit  $n$  Knoten gezeigt. Dabei beschreibt  $V$  die Knoten und  $E$  die Kanten des Graphen  $G$ . Damit ergibt sich die Adjazenzmatrix  $A$  zu einer  $n \times n$  Matrix. Der Laufparameter  $a_{ij}$  beschreibt die Anzahl der Kanten zwischen  $i$  und  $j$ , welche sich als ganze Zahlen der Menge  $\{0, \dots, n\}$  ergeben. Für einen beispielhaften Graph  $A$  mit  $n = 5$  Knoten ergibt sich die Adjazenzmatrix  $A$ . [TITTMANN 2003, S. 29]

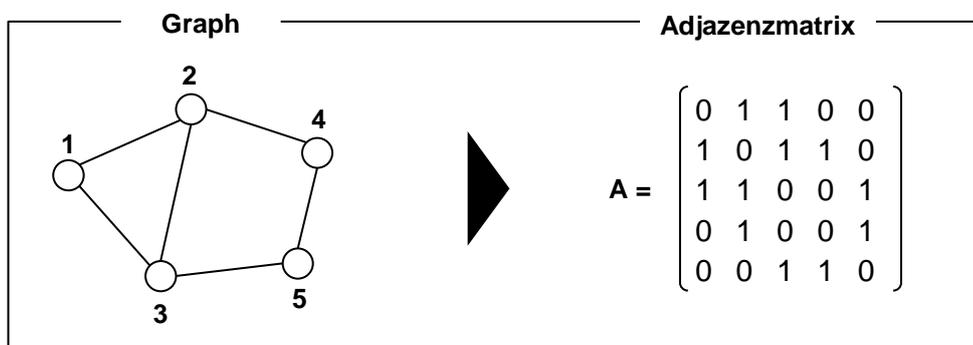


Abbildung 3-2: Ableitung der Adjazenzmatrix aus einem Graphen

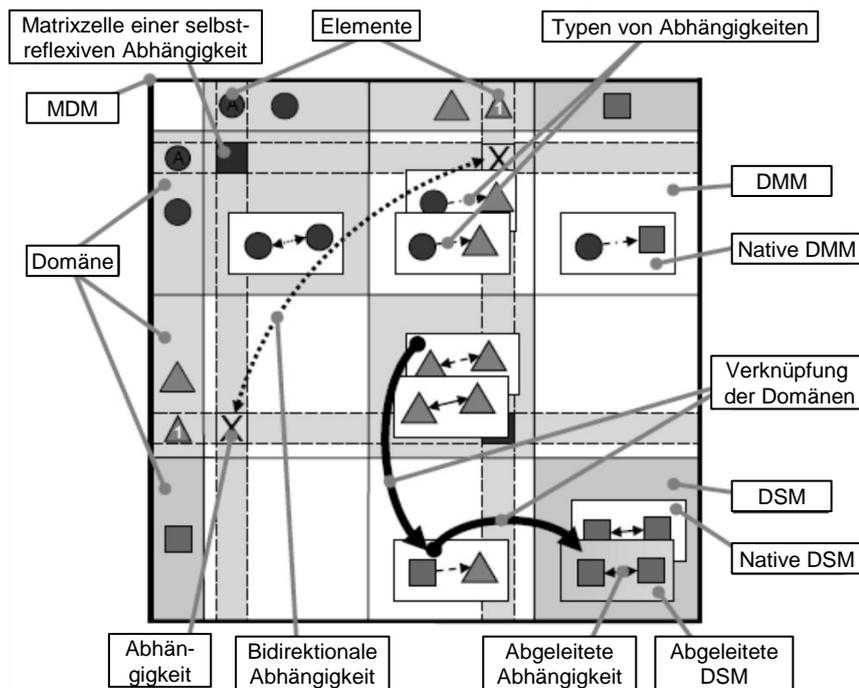
Über die Darstellung der Adjazenzmatrix sind Graphen in eine mathematische Beschreibung zu überführen. Diese matrixbasierte Darstellungsform eignet sich besser für die Verarbeitung und Berechnung von weiteren Eigenschaften. [TITTMANN 2003, S. 29]

### Matrixbasierte Modellierung

Bereits 1962 stellt STEWARD [1962] matrixbasierte Methoden für die Modellierung und Analyse von Systemen dar und begründet damit ein bis heute vitales Forschungsfeld. Mit der Einführung der Design Structure Matrix (DSM) ermöglicht STEWARD [1981] die Analyse von einer Domäne und deren Vernetzung mit einer spezifischen Relationsart. Die DSM repräsentiert lediglich domäneninterne Abhängigkeiten in einer Matrix. Für die Vernetzung von verschiedenen Domänen präsentierten DANILOVIC & BROWNING [2007]<sup>16</sup> erstmals den Begriff der Domain Mapping Matrix (DMM), welcher domänenübergreifende Abhängigkeiten in einer Matrix darstellt. Die DMM stellt eine Erweiterung der DSM-dar [DANILOVIC & BROWNING 2004]. Auf

<sup>16</sup> DANILOVIC & BROWNING [2007] arbeiten die Workshops der DSM-Konferenzen mit Beiträgen von DANILOVIC & BÖRJESSON [2001A], DANILOVIC & BÖRJESSON [2001B] und DANILOVIC & BROWNING [2004] auf. Diese verwenden nicht explizit die Begrifflichkeit DMM, beschreiben jedoch den grundlegenden Zusammenhang.

dieser Grundlage führt MAURER [2007] die Multiple Domain Matrix (MDM) ein, welche die Abbildung eines gesamten Systems mit verschiedenen Domänen und Vernetzungsarten zwischen den Elementen erlaubt. Eine MDM setzt sich aus DSMs und DMMs zusammen. Abbildung 3-3 stellt eine MDM inklusive drei DSMs auf der Diagonalen und sechs DMMs auf der unteren und oberen Dreiecksmatrix dar. Zusätzlich bietet Abbildung 3-3 einen Überblick über die relevante Begrifflichkeiten, welche nachfolgend weiter erläutert werden.



**Abbildung 3-3: Multiple Domain Matrix (MDM)**

(In Anlehnung an LINDEMANN ET AL. [2009, S. 76])

Die **DSM** stellt ausschließlich Relationen innerhalb einer Domäne dar und ist auf der Diagonalen einer MDM anzuordnen (siehe Abbildung 3-3). Für eine DSM ergeben sich vier grundlegende Ausprägungen: komponenten-, personen-, aktivitäten- und parameterbasierte DSMs [BROWNING 2001]. Die ersten beiden Ausprägungen (komponenten- und personenbasiert) sind statische DSMs. Die Elemente in statischen DSMs sind über ungerichtete Abhängigkeiten (Äquivalent: ungerichteter Graph) verbunden und werden mit der Zielsetzung der Bündelung mittels Clusteralgorithmen analysiert [BROWNING 2001]. Die weiteren Ausprägungen (aktivitäten- und parameterbasierte) sind durch einen Zeitbezug charakterisiert und fußen auf unidirektionalen Abhängigkeiten (Äquivalent: gerichteter Graph). Für die Analyse dieser DSMs schlägt BROWNING [2001] Algorithmen zur Sequenzierung (auch: Triangularisierung) vor. Zudem unterscheiden BROWNING & EPPINGER [2002] zwischen binären und gewichteten Abhängigkeiten in DSMs. Binäre DSMs stellen die Existenz einer Abhängigkeit dar, während gewichtete DSMs diesen Abhängigkeiten noch ein Gewicht beimessen.<sup>17</sup> Für die weitere Analyse

<sup>17</sup> Eine gewichtete DSM entspricht einem gewichteten Graphen, während eine ungewichtete DSM einen ungewichteten Graphen repräsentiert.

von DSMs zieht MAURER [2007] die Strukturcharakteristiken heran, welche über Kennzahlen spezifische Konstellationen im System identifizieren.<sup>18</sup> Die Fachliteratur liefert zahlreiche Kennzahlen für die Strukturanalyse, obgleich bislang keine umfassende Übersicht zu Strukturcharakteristiken zur Verfügung steht [KREIMEYER 2009, S. 53]. Die Bereitstellung einer derartigen Übersicht wird nicht von der vorliegenden Dissertation fokussiert, weshalb auf die Zusammenstellungen von KREIMEYER [2009, S. 293–384] und MAURER [2007, S. 199–239] verwiesen wird. Diese Kennzahlen sind neben primär erhobenen Informationen auch auf die Untersuchung von indirekten Abhängigkeiten zu übertragen. Für die Berechnung dieser Abhängigkeiten in einer DSM ergeben sich sechs Alternativen, welche in DEUBZER ET AL. [2012; S. 687–688] umfassend sowie übersichtlich dargestellt werden.

Die **DMM** verknüpft zwei unterschiedliche Domänen [YASSINE ET AL. 2003] und umfasst binäre oder gewichtete Matrizen. DMMs sind im Gegensatz zu DSMs grundsätzlich gerichtete Matrizen. Für die Berechnung von indirekten Abhängigkeiten in einer DSM werden stets DMMs verwendet, die demnach ein essenzielles Komplement zu DSMs darstellen [DANILOVIC & BROWNING 2004]. Für die Analyse wird bei DMMs auf dieselben Techniken zurückgegriffen wie bei DSMs, sodass auch bei DMMs Strukturkennzahlen, Clustering und die Sequenzierung Anwendung finden. Von der Fachliteratur werden diese Techniken für DMMs seltener aufgegriffen, genießen jedoch nicht den Stellenwert wie bei DSMs.

In der **MDM** werden DSMs und DMMs zusammengeführt und die Betrachtung von Abhängigkeiten eines gesamten Systems ermöglicht [MAURER 2007]. Eine MDM kann grundsätzlich auch als Metamodell zu DSMs und DMMs verstanden werden, welches die Domänen und die Vernetzung zwischen diesen definiert. In den beiden Matrizen (DSM und DMM) werden dann nur die Elemente und die spezifischen Abhängigkeiten dokumentiert.

Für die Strukturanalyse in MDMs werden dieselben Techniken wie bei DSMs und DMMs verwendet (Strukturkennzahlen, Clustering und Sequenzierung), welche auf die Abbildung von mehreren Domänen und Relationsarten anzupassen sind. Stufenweises Clustering der einzelnen DSMs erlaubt beispielsweise die Strukturierung der MDM [WALDMAN & SANGAL 2007; CRAWLEY & COLSON 2007]. Für die Sequenzierung empfiehlt sich ein ähnliches Vorgehen.

### **Schlussfolgerung aus der Modellierung der Produktarchitektur**

Für die Modellierung der Produktarchitektur im Rahmen der vorliegenden Dissertation eignen sich grundsätzlich graphen- und matrixbasierte Methoden gleichermaßen. Die beiden Methoden stellen den gleichen Sachverhalt dar und sind wechselseitig ineinander überführbar (Abbildung 3-2). Die Auswahl obliegt angesichts der Überführbarkeit dem Anwender. Seine Präferenzentscheidung ist geprägt von bisherigen Erfahrungen und dem Zugang zum Systemdenken [LINDEMANN ET AL. 2009, S. 79ff.]. Für den Umgang mit komplexen Sachverhalten werden von SAGE [1992, S.278] Matrizen als Präferenz aufgeführt. Die Modellierung in Matrizen bietet eine umfassendere Unterstützung bei der Verarbeitung und Berechnung von weiteren Eigenschaften TITTMANN [2003, S. 29] und wird in der vorliegenden Dissertation fokussiert.

---

<sup>18</sup> Der Nutzung von Kennzahlen zur Strukturanalyse liegt die Annahme zugrunde, dass die Relationen zwischen Elementen eine unterschiedliche Struktur aufweisen, welche das Systemverhalten bestimmt [KESPER 2012, S. 62].

### 3.1.2 Produktarchitektur: Einfluss auf die Ausgestaltung

Aus der Abgrenzung zu mediaten Forschungsfeldern (Kapitel 2.1.1) ergeben sich Schnittstellen zur Produktfamilie und zum Entwicklungsprozess, welche die Ausgestaltung von Produktarchitekturen beeinflussen. Zudem ist die Gestaltung der Produktarchitektur an sich zu berücksichtigen.

Die methodischen Grundlagen dieser Schnittstellen lassen sich in Anlehnung an GERSHENSON ET AL. [2004] hinsichtlich Art und Umfang der Ansätze in **zwei Kategorien** unterscheiden. **Gestaltungsempfehlungen**<sup>19</sup> simplifizieren Zusammenhänge, um grundlegende Empfehlungen ohne spezifischen Produktbezug abzugeben. Sie nehmen einen hohen Abstraktionsgrad ein und besitzen präskriptiven Charakter. **Gestaltungsmethoden**<sup>20</sup> beschreiben die Abbildung und Manipulation der Produktarchitektur in Matrizenform. Diese Methoden sind informationsintensiv, erlauben jedoch die Ableitung von Handlungsempfehlungen für spezifische Produkte. Die Ansätze zur Ausgestaltung von Produktarchitekturen nehmen nach CAMPAGNOLO & CAMUFFO [2009] verschiedene **Perspektiven** ein. Diese umfassen das einzelne **Produkt** und berücksichtigen zusätzliche weitere Phasen im Lebenszyklus (**Lebenszyklus**). In Anlehnung an das Rahmenwerk von DANILIDIS ET AL. [2011] ergibt sich eine weitere Perspektive in der Einbettung des einzelnen Produkts in einer Produktfamilie (**Produktfamilie**).

Die Kategorien und Perspektiven bilden einen **Ordnungsrahmen** (Tabelle 3-1) für Ansätze zur Ausgestaltung von Produktarchitekturen. In Tabelle 10-4 werden die Ergebnisse einer umfassenden Literaturrecherche<sup>21</sup> dargestellt und die resultierenden 48 Ansätze verortet.

**Tabelle 3-1: Ordnungsrahmen von Ansätzen zur Ausgestaltung von Produktarchitekturen**

Ansätze zur Ausgestaltung		Perspektive		
		Produkt	Produktfamilie	Lebenszyklus
Kategorie	Gestaltungsempfehlungen	A		
	Gestaltungsmethoden	B	C	D

Bei Gestaltungsempfehlungen (A) wird nur selten eine klare Abgrenzung zu einem einzelnen Produkt, der Produktfamilie und dem Lebenszyklus vorgenommen [GERSHENSON ET AL. 2004], sodass diese integriert für die drei Perspektiven dargestellt werden. Zudem beschäftigt sich die Gestaltung der Produktarchitektur mit Methoden für das Produkt (B). Die Schnittstelle zur Produktfamilie umfasst die Perspektive der Produktfamilie (C), während die Schnittstelle zum Entwicklungsprozess die Perspektive des Lebenszyklus (D) aufgreift.

<sup>19</sup> Gestaltungsempfehlungen umfassen Regeln, welche weitestgehend über Checklisten operationalisiert werden.

<sup>20</sup> Gestaltungsmethoden stellen auf die Optimierung ab und umfassen weitestgehend Matrixmethoden.

<sup>21</sup> Die Gestalt und der Umfang der Literaturrecherche sind den Ausführungen zu Tabelle 10-4 zu entnehmen.

### **A: Gestaltungsempfehlungen zur Ausgestaltung von Produktarchitekturen**

Die Ausgestaltung von Produktarchitekturen wird von spezifischen Empfehlungen beeinflusst. Aus den Ergebnissen der Literaturrecherche (Tabelle 10-4) ergeben sich sieben Publikationen, welche spezifische Gestaltungsempfehlungen vorstellen und folgend erläutert werden.

Mit der Publikation von ULRICH [1995] werden die terminologische Basis der Produktarchitektur geschaffen und Implikationen auf weitere Bereiche der Produktentwicklung dargestellt. Diese reichen vom Einfluss der Architektur auf technische Änderungen über die individuelle Leistungsfähigkeit von Architekturalternativen bis zur Wirkung der Architektur auf die Organisation und den Entwicklungsprozess. Zudem ist hervorzuheben, dass Standardisierung erst durch modulare Architekturen ermöglicht wird und gemeinsam mit der Prozessflexibilität die Variantenvielfalt des Produkts konstituiert. Diese Implikationen werden von SANCHEZ & MAHONEY [1996] durch eine Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen Produktgestalt, Organisation, Lernprozess und Wettbewerbsstrategie erweitert. Demnach wird durch modulare Architekturen im Produkt und der Organisation an strategischer Flexibilität gewonnen. Die Informationsstrukturen von modularen Produkten ermöglichen zudem eine strategische Gestaltung der Lernprozesse. ISHII [1998] hebt die Bedeutung der Modularität im Lebenszyklus hervor und fokussiert eine Bewertung der resultierenden Module. Dabei wird die Modularität, Herstellbarkeit, Wartbarkeit und Recyclingfähigkeit des Produkts (Design-for-X) mittels spezifischer Metriken bewertet. Durch MARSHALL ET AL. [1998] werden die zuvor beschriebenen Ergebnisse über eine Fallstudie bestätigt. Zudem unterstreicht diese Publikation die strategische Bedeutung von Modularität und ihren positiven Einfluss auf die Variantenvielfalt, die Möglichkeiten der Standardisierung, die Flexibilität in der Organisation und im Entwicklungsprozess. BALDWIN & CLARK [2000] stellen hingegen eine umfassende Unterstützung für die Entwicklung modularer Produkte mittels Gestaltungsregeln bereit. SAKO [2003] stellt eine weitere Facette der Gestaltungsrichtlinien dar und beschreibt den Zusammenhang zwischen Modularität, Organisation und Verlagerung von Beschaffungsumfängen zu Lieferanten. Die siebte Publikation fokussiert sich auf die Darstellung der Kosten der Modalität und greift damit eine Dimension auf, welche bei zahlreichen Publikationen lediglich implizit Berücksichtigung findet [FIXSON 2006]. Er erhebt dabei Kosten für die einzelnen Phasen im Lebenszyklus über die Ausprägung der Transformationsbeziehung zwischen Funktionen und Komponenten sowie die Charakteristik der Schnittstellen (Intensität, Reversibilität und Standardisierung).

Die aufgeführten Publikationen führen grundlegende Empfehlungen für die Modularisierung auf einem hohen Abstraktionsgrad an. Diese besitzen jedoch nur geringen Einfluss auf die Gestaltung eines spezifischen Produkts und werden im Rahmen der vorliegenden Dissertation nicht weiter betrachtet. Die Empfehlungen unterstreichen jedoch die Bedeutung von Design-for-X-Richtlinien im Entwicklungsprozess für die Ausgestaltung der Produktarchitektur.

### **B: Gestaltungsmethoden zur Gestaltung der Produktarchitektur**

Die Gestaltung der Architektur des einzelnen Produkts wird durch Empfehlungen und Methoden beeinflusst (Tabelle 3-1). Nachdem die Empfehlungen (A) im ersten Abschnitt erläutert wurden, ergeben sich sechs weitere Publikationen zu Gestaltungsmethoden (Tabelle 10-4).

Für die Modularisierung in ihrer Fallstudie zu einer Klimaanlage nutzen PIMMLER & EPPINGER [1994] funktionale und geometrische Abhängigkeiten zwischen den Komponenten (Taxonomie

von Relationen) für die Durchführung eines Clusterings und merken das Potenzial von performanteren Clusteralgorithmen an. Im Gegensatz zu dieser „Integration Analysis“ leiten STONE [1997, S. 39–79] und STONE ET AL. [2000] Module über Heuristiken („Module Heuristics“) allein auf Basis der funktionalen Abhängigkeiten aus. GÖPFERT [2009] greift ebenfalls auf funktionale und geometrische Abhängigkeiten für die Modularisierung zurück und hebt die Wechselbeziehungen zu der Organisation hervor. Unabhängig von der „Integration Analysis“ stellen HUANG & KUSIAK [1998] einen Ansatz zur Modularisierung mittels einer Interaktions- und Eignungsmatrix vor. Dabei ziehen sie funktionale und geometrische Abhängigkeiten. Durch die Publikationen von YU ET AL. [2007] und YU ET AL. [2003] wird der formulierte Bedarf von PIMMLER & EPPINGER [1994] nach performanteren Clusteralgorithmen für DSMs aufgegriffen. Für die Optimierung verwenden YU ET AL. [2007] sowie YU ET AL. [2003] einen genetischen Algorithmus, welcher die Leistungsfähigkeit von Clusteralgorithmen für DSMs signifikant steigert. Mit der Publikation von SOSA ET AL. [2007] werden erstmals Graphen an Stelle von Matrizen zur Modulierung verwendet und mittels sozialer Netzwerkanalyse optimiert.

Die Methoden richten sich auf die Modularisierung des einzelnen Produkts aus. Die Modularisierung stellt auf die Aufteilung des Produkts in einzelne (unabhängige) Bestandteile (Module) ab, welche in sich stark und nach außen schwach vernetzt sind [HOLTTA-OTTO & DE WECK 2007, S. 113]. Die Qualität der Module wird bei den Gestaltungsmethoden schließlich über Kennzahlen bemessen. Bei der graphen- und matrixbasierten Modellierung der Produktarchitektur heißen die Module Cluster [SHARMAN & YASSINE 2004]. Für die Bewertung der Modularisierung sind folglich dieselben Kennzahlen heranzuziehen, welche beim Clustering als Zielfunktionen Verwendung finden. Damit wird an dieser Stelle auf die Übersicht der Zielfunktionen für Clusteringverfahren (Tabelle 10-20) verwiesen. Diese Übersicht greift dabei auch Publikationen auf, welche die Bewertung der Modularität fokussieren.

### **C: Gestaltungsmethoden an der Schnittstelle zur Produktfamilie**

Die Ausgestaltung von Produktarchitekturen wird maßgeblich über die Integration in die Produktfamilie beeinflusst. Dieser Einfluss wird ebenfalls über **Gestaltungsmethoden** beschrieben, wie Tabelle 3-1 zu entnehmen ist.

Die 22 Gestaltungsmethoden für die Schnittstelle zur Produktfamilie beeinflussen die spezifische Ausgestaltung von Produktarchitekturen über dezidierte Mechanismen. Diese **Mechanismen** beschreiben vollumfänglich die Wirkung der Methoden auf die Gestalt der Produktarchitektur, weshalb auf eine individuelle Darstellung der Methoden verzichtet wird. In Tabelle 10-5 wird ein Überblick über die Methoden und ihre variierenden Betrachtungsfelder (Markt und Kunden, Produktfamilie und individuelle Produktvariante) gegeben.

Über das Betrachtungsfeld **Markt und Kunde** werden die Differenzierung zum Wettbewerb und die Kundenbedürfnisse abgedeckt. Mit der **Produktfamilie** wird die Kommunalität von unterschiedlichen Produktvarianten untersucht. Das letzte Betrachtungsfeld stellt auf eine individuelle **Produktvariante** ab, welche sowohl technische als auch funktionale Beziehungen der Produktbestandteile berücksichtigt. Damit ist lediglich das letzte Betrachtungsfeld (Produktvariante) handlungsleitend für die vorliegende Dissertation.

Aus dem Überblick und der Klassifikation von Methoden (Tabelle 10-5) ergeben sich **vier Mechanismen** (Modularisierung, Standardisierung, Gleichteil- und Wiederholteilstrategie), welche die Ausgestaltung von Produktarchitekturen beeinflussen.

**Gleich- und Wiederholteilstrategie:** Diese beiden Strategien werden hier zusammengefasst, da beide auf die Mehrfachverwendung von Komponenten abstellen. Bei Gleichteilen handelt es sich um Komponenten, welche mehrmals in einem individuellen Produkt verbaut sind. Gleichteile stellen oftmals Normteile (bspw. Schrauben, Muttern, ...) dar. Wiederholteile (auch: Übernahmeteile) finden in verschiedenen Produkten Anwendung und werden in Produktfamilien mehrfach genutzt. Grundsätzlich vermeiden diese Strategien die Neukonstruktion von Komponenten [EHRENSPIEL ET AL. 2014; S. 321ff.].

**Standardisierung:** Der dritte Mechanismus beschreibt „(...) eine Vereinheitlichung und Verringerung der Variantenzahl“ [PONN & LINDEMANN 2011, S. 453]. Folglich werden Komponenten und auch gesamte Module in ihren geometrischen Eigenschaften und Schnittstellen vereinheitlicht. Mit der Standardisierung wird zudem sichergestellt, dass ein wiederholtes technisches Problem einmalig gelöst wird, und schont insofern nachhaltig die Ressourcen in Entwicklung und Produktion [EHRENSPIEL ET AL. 2014; S. 317ff.]. Zudem erlaubt man sich den Einkauf von standardisierten Beschaffungsgütern [KAUFMANN 2002, S.15].

Mit der Anwendung der Gleich- und Wiederholteilstrategie werden einzelne Komponenten festgelegt und die Struktur der Produktarchitektur in gewissen Grenzen vordefiniert. Diese Strategien beschränken die Ausgestaltung der Produktarchitektur eines einzelnen Produkts. Standardisierung beschreibt aus Sicht der Strukturattribute denselben Einfluss wie Gleich- und Wiederholteilstrategien und umfasst dabei Komponenten und Module als Produktbestandteile.

#### **D: Gestaltungsmethoden an der Schnittstelle zum Entwicklungsprozess**

Die Ausgestaltung von Produktarchitekturen wird aus dem Lebenszyklus über **Gestaltungsmethoden** beeinflusst, welcher die Schnittstelle zum Entwicklungsprozess abbildet (Tabelle 3-1).

Die 12 relevanten Gestaltungsmethoden für die Schnittstelle zum Entwicklungsprozess beeinflussen die Ausgestaltung von Produktarchitekturen über **Mechanismen**. Diese beschreiben die Wirkung der Methoden auf die Gestalt der Produktarchitektur, weshalb an dieser Stelle auf eine detaillierte Darstellung der 12 Methoden verzichtet wird. Die Mechanismen ergeben sich aus der Berücksichtigung von nachfolgenden Phasen im Lebenszyklus und werden über Gestaltungsrichtlinien (Design-for-X) beschrieben [CAMPAGNOLO & CAMUFFO 2009, S. 266ff.]. Einen aktuellen wie umfassenden Überblick über diese Richtlinien bietet [ARNETTE ET AL. 2014].

Der Überblick von ARNETTE ET AL. [2014] ist Ausgangspunkt für eine umfangreiche Literaturstudie mit der Zielsetzung, das umfassende Feld an Gestaltungsrichtlinien (Design-for-X) hinsichtlich seines Einflusses auf die Ausgestaltung von Produktarchitekturen zu untersuchen. Die initialen Ergebnisse der Literaturstudie werden in BEHNCKE ET AL. [2015] vorgestellt und im Rahmen der vorliegenden Dissertation aufgegriffen und erweitert.

In Tabelle 10-6 wird das Ergebnis der Literaturstudie zu Gestaltungsrichtlinien vorgestellt. Dabei ergeben sich 18 relevante Richtlinien für die Ausgestaltung von Produktarchitekturen. Der

Einfluss der Richtlinien wird vornehmlich über **drei Mechanismen** (Modularisierung, Standardisierung und Simplifizierung) konstituiert [BEHNCKE ET AL. 2015]<sup>22</sup>. Diesen Mechanismen werden die relevanten Richtlinien zugeordnet und gemeinsam mit diesen beschrieben.

**Modularisierung:** Dieses Prinzip stellt auf die Aufteilung des Produkts in einzelne (unabhängige) Bestandteile ab. Sechs Richtlinien führen die Modularisierung als Befähiger für ihre spezifischen Zielsetzungen im Lebenszyklus auf (Tabelle 10-7). Zwei der relevanten Gestaltungsrichtlinien zielen direkt auf die Gestaltung eines modularen Produkts ab und stellen somit die Essenz der Methoden zur Modularisierung eines einzelnen Produkts dar:

- Unabhängigkeit von Modulen (DFMod 1): Entwurf von unabhängigen Modulen mit definierten Schnittstellen und spezifizierter Funktionsallokation [GÖPFERT 2009, S. 135ff.].
- Unabhängigkeit von Komponenten (DFMod 2): Reduzierung der (geometrischen und funktionalen) Abhängigkeiten von Komponenten innerhalb eines Moduls und zwischen verschiedenen Modulen eines Produkts [GÖPFERT 2009, S. 115ff.].

**Standardisierung:** Der zweite Mechanismus stellt auf die Festlegung von Standards für Komponenten und Module ab, folglich werden ihre geometrischen Eigenschaften und Schnittstellen vereinheitlicht. Sechs Gestaltungsrichtlinien aus den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus greifen auf diesen Mechanismus zurück (Tabelle 10-7).

**Simplifizierung:** Der dritte Mechanismus beschreibt eine Vereinfachung des Produkts und der Prozesse durch die Reduzierung der Teileanzahl. Dies entlastet sämtliche nachfolgenden Aktivitäten im Lebenszyklus [BEHNCKE ET AL. 2015]. Vier relevante Richtlinien nutzen dieses Prinzip für die Erreichung ihrer spezifischen Zielsetzungen und werden in Tabelle 10-7 erläutert.

Der Einfluss der Standardisierung (Schnittstelle zur Produktfamilie) und Modularisierung (Gestaltung der Produktarchitektur) wurde bereits beschrieben, sodass im Folgenden nur die Wirkung der Simplifizierung eruiert wird. Diese umfasst die Reduzierung der Teilanzahl des Produkts. Damit sind bei gleicher Funktionalität des Produkts die Funktionen auf weniger Komponenten zu verteilen und nehmen auf die Anzahl der Komponenten sowie die Vernetzung von Komponenten und Funktionen in der Produktarchitektur Einfluss.

### Schlussfolgerung zur Ausgestaltung der Produktarchitektur

Die Gestalt der Produktarchitektur für ein einzelnes Produkt wird aus der Produktfamilie durch die Nutzung von Gleich- und Wiederholteilen beeinflusst. Zudem ist die Standardisierung für die Ausgestaltung von Produktarchitekturen verantwortlich, welche sowohl aus der Produktfamilie als auch aus Gestaltungsrichtlinien im Entwicklungsprozess herrühren. Die Simplifizierung beschreibt über die Reduzierung der Teilanzahl einen weiteren Einflussfaktor aus dem Entwicklungsprozess. Die Modularisierung nimmt über beide Schnittstellen (Produktfamilie und Entwicklungsprozess) merklichen Einfluss auf die Produktarchitektur und ist über Gestaltungsmethoden und -empfehlungen mit einer umfassenden methodischen Grundlage ausgestattet.

---

<sup>22</sup> Ein weiterer Mechanismus wird nach BEHNCKE ET AL. [2015] durch die Modularisierung beschrieben. Die Modularisierung wird jedoch bereits im Abschnitt zur Gestaltung der Produktarchitektur aufgegriffen.

## 3.2 Methodische Grundlagen zum Liefernetzwerk

Die methodischen Grundlagen für das Liefernetzwerk greifen die Ergebnisse aus der Abgrenzung zu dessen mediaten Forschungsfeldern (Kapitel 2.2.1) auf. Diese Ergebnisse sind handlungsleitend für die Aufbereitung der relevanten methodischen Grundlagen zum Liefernetzwerk und werden in diesem Kapitel beschrieben. Im Zentrum dieser Grundlagen steht die Ausgestaltung des Liefernetzwerks unter Berücksichtigung des Einflusses der Gestalt der Lieferantenbasis (Lieferantennetzwerk) und des Beschaffungsprozesses.

Die Aufbereitung dieses Einflusses erfolgt analog zu den methodischen Grundlagen zur Produktarchitektur über zwei Schritte. Im ersten Schritt (Kapitel 3.2.1) werden über die Modellierung des Liefernetzwerks die Teilphasen der Formulierung, Erstellung und Absicherung eines Modells abgedeckt [KOHN 2013, S. 41] und das Fundament für die Beschreibung des Einflusses auf die Ausgestaltung des Liefernetzwerks beschrieben. Im zweiten Schritt (Kapitel 3.2.2) wird auf Basis des Modells der Einfluss auf die Ausgestaltung dezidiert beschrieben.

Dieses Kapitel stellt somit die methodischen Grundlagen für die Modellierung des Liefernetzwerks (Kapitel 3.1.1), die Beschreibung des Einflusses der Lieferantenbasis und des Beschaffungsprozesses auf die konkrete Gestalt des Liefernetzwerks bereit.

### 3.2.1 Liefernetzwerk: Ansätze zur Modellierung

Die Modellierung des Liefernetzwerks stellt auf die Verbesserung ihrer spezifischen Leistungsfähigkeit ab. In einer initialen Literaturstudie liefert BEAMON [1998] einen umfassenden Überblick für die Modellierung des Liefernetzwerks und stellt vier Kategorien von Modellen vor.

Auf dieser Grundlage wurde im Rahmen der vorliegenden Dissertation eine erweiterte Literaturstudie mit der Zielsetzung, das Fundament von BEAMON [1998] mit aktuelleren Modellen zur Gestaltung von Liefernetzwerken anzureichern, durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Literaturstudie werden in BEHNCKE ET AL. [2013B] vorgestellt und umfassen 14 weitere Modelle in Addition zu den 24 aus der initialen Literaturstudie von BEAMON [1998]. Zudem führt BEHNCKE ET AL. [2013 B] mit Strukturmodellen eine weitere Kategorie von Modellen für die Gestaltung des Liefernetzwerks ein. Tabelle 10-8 zeigt sämtliche Modelle zur Gestaltung des Liefernetzwerks (38), welche über Kategorien und Optimierungskriterien klassifiziert sind.

In der Klassifikation von Modellen zur Gestaltung von Liefernetzwerken werden zusätzlich Optimierungskriterien aufgeführt. Mit diesen Kriterien wird die spezifische Leistungscharakteristik des Liefernetzwerks beschrieben. Die vorgestellten Modelle zielen auf eine Verbesserung einer oder mehrerer Leistungscharakteristika ab. In der Klassifikation werden somit vier von den Modellen verwendete Optimierungskriterien (Kosten, Qualität, Flexibilität und Durchlaufzeit) aufgeführt.

#### Deterministisch-analytische Modelle

Deterministisch-analytische Modelle setzen voraus, dass sämtliche Modellparameter und Variablen im Liefernetzwerk bekannt und eindeutig beschrieben sind. Durch die unkomplizierte Beschreibung und Interpretation der Beziehung zwischen Modellparametern und Leistungsgrößen des Modells erlauben sie eine verhältnismäßig einfache Optimierung. Die Grenzen dieser

Modelle werden im Wesentlichen durch die Verfügbarkeit von Informationen hinsichtlich der Modellparameter und Variablen beschrieben. Sind diese Informationen mit einer gewissen Unsicherheit behaftet oder liegen in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen vor, ist die Anwendung eines deterministisch-analytischen Modells nicht zu empfehlen. [BEAMON 1998; AKYILDIZ & BOLCH 1982]

Für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk werden Strukturattribute verwendet, welche in frühen Phasen der Entwicklung festgelegt werden. In diesen Phasen sind Informationen zu einem operativen Liefernetzwerk nicht vorauszusetzen und somit die Verfügbarkeit von Modellparametern und Variablen in Frage zu stellen.

### **Stochastisch-analytische Modelle**

Stochastisch-analytische Modelle erfordern sämtliche Modellparameter und Variablen, wobei mindestens eine dieser Variablen unbekannt sein sollte. Für diese Variablen werden Annahmen zu deren Wahrscheinlichkeitsfunktion getroffen, bevor dieses Modell einer Optimierung zugeführt wird. Die Beschreibungsform ist der von deterministisch-analytischen Modellen sehr ähnlich. Stochastisch-analytische Modelle werden ebenfalls von der Verfügbarkeit von Informationen hinsichtlich der Modellparameter und Variablen beschränkt. [BEAMON 1998; WALDMANN & STOCKER 2003]

Stochastisch-analytische Modelle greifen weitestgehend auch auf Informationen zu einem operativen Liefernetzwerk zurück, welche in den relevanten Entwicklungsphasen für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk nicht vorauszusetzen sind.

### **Volkswirtschaftliche Modelle**

Die volkswirtschaftlichen Modelle nutzen für die Gestaltung des Liefernetzwerks ökonomische Strukturen und Prozesse. Die Modelle sind abstrakte informationsreduzierte Abbilder der Realität, welche ihre Aussagen auf Annahmen stützen und nicht auf eine Beschreibung des Liefernetzwerks. Sie bilden verschiedene Szenarios für das Liefernetzwerk unter der Verwendung von spezifischen Annahmen und ermöglichen einen Vergleich mit etablierten volkswirtschaftlichen Modellen (bspw. Homo oeconomicus oder Spieltheorie) für eine Präferenzentscheidung. Die Korrektheit und der Umfang der Annahmen sind dabei essenziell für die Ergebnisqualität volkswirtschaftlicher Modelle. [BEAMON 1998; MANKIW & TAYLOR 2012]

Die Modelle setzen keine Informationen zu operativen Liefernetzwerken voraus und sind auch in frühen Entwicklungsphasen anwendbar. Zahlreiche Annahmen den für sie getroffen, deren Validität stark über die Ergebnisqualität entscheidet. Zudem beschreiben diese Modelle lediglich grundlegende Zusammenhänge und sind aufgrund ihres Abstraktionsgrads nur bedingt für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk geeignet.

### **Simulationsmodelle**

Die vierte Kategorie sind Simulationsmodelle, welche über die Beschreibung der Realität in einem virtuellen Modell auf spezifische Eigenschaften des realen Liefernetzwerks schließen. Für die Beschreibung in dem Modell werden lediglich ausgewählte Parameter berücksichtigt,

welche für die spezifische Fragestellung (Modellzweck) erforderlich sind. Mit diesem spezifischen Modell werden virtuelle Experimente durchgeführt und die Vorgänge im Liefernetzwerk simuliert. Die Modelle besitzen einen ausgeprägten Prozesscharakter und werden verstärkt als Entscheidungsunterstützung herangezogen. [BEAMON 1998; BUNGARTZ ET AL. 2013]

Simulationsmodelle sind sowohl mit als auch ohne Informationen eines operativen Liefernetzwerks für deren Gestaltung anwendbar. Annahmen zum Liefernetzwerk decken den latenten Informationsbedarf von Simulationsmodellen, sofern keine operativen Informationen zur Verfügung stehen, und sind somit für die Anwendung in frühen Entwicklungsphasen geeignet. Die Aussagekraft von Simulationsmodellen hängt jedoch stark von den getroffenen Annahmen ab.

### **Strukturmodelle**

Strukturmodelle<sup>23</sup> stellen die letzte Kategorie von Modellen dar und erweitern zugleich das Spektrum an vorgestellten Modellen aus der initialen Literaturrecherche. Diese Modelle fokussieren sich auf die Beschreibung des Netzwerks und sind somit dem Netzwerkcharakter des Transformationsprozesses geschuldet [SPIEGLER ET AL. 2012; BELLAMY & BASOLE 2012]. Über die Strukturanalyse werden die Wechselbeziehungen und Interaktionen zwischen den Elementen eines Liefernetzwerks abgebildet [CHEN & HUANG 2007]. Dabei greifen Strukturmodelle auf Graphen oder Matrizen zurück. Für die Gestaltung stellen die Modelle auf eine Modifikation der Struktur ab, um die spezifische Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks zu optimieren.

Strukturmodelle sind weder auf die Informationen eines operativen Liefernetzwerks noch auf spezifische Annahmen hinsichtlich des Liefernetzwerks angewiesen und nutzen lediglich Strukturinformationen. Diese stehen bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung zur Verfügung [ULRICH & EPPINGER 2012, S. 99ff.], welche in der vorliegenden Dissertation fokussiert werden. Damit sind Strukturmodelle ebenso wie Simulationsmodelle grundsätzlich für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk geeignet.

### **Schlussfolgerung aus der Modellierung von Liefernetzwerken**

Für die Modellierung des Liefernetzwerks werden in der vorliegenden Dissertation fünf grundsätzliche Modellkategorien (Deterministisch-analytische, stochastisch-analytische und volkswirtschaftliche Modelle sowie Simulations- und Strukturmodelle) vorgestellt. Tabelle 10-8 gibt einen Überblick über Modelle zur Gestaltung des Liefernetzwerks, welche hinsichtlich der fünf Kategorien und der Optimierungskriterien klassifiziert sind. Für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk eignen sich grundsätzlich Simulations- und Strukturmodelle. Diese erlauben zum einen die Ausleitung von konkreten Gestaltungsempfehlungen aufgrund ihres ausreichenden Konkretisierungsgrads. Zum anderen sind diese Modelle nicht auf Informationen eines operativen Liefernetzwerks angewiesen, welche in frühen Phasen der Entwicklung nicht vorauszusetzen sind. Aufgrund der Abhängigkeit der Simulationsmodelle von den zugrunde liegenden Annahmen werden Strukturmodelle im weiteren Verlauf der vorliegenden Dissertation fokussiert.

---

<sup>23</sup> Die weiteren vier Ansätze zur Modellierung und Gestaltung des Liefernetzwerks nutzen implizit Strukturinformationen, zielen jedoch nicht auf die explizite Optimierung der Struktur des Liefernetzwerks ab.

### 3.2.2 Liefernetzwerk: Einfluss auf die Ausgestaltung

Die Ausgestaltung des Liefernetzwerks wird über Schnittstellen zum Lieferantenmanagement und Lieferantenbasis beeinflusst. Zudem steht die Konfiguration des Liefernetzwerks im Fokus.

Die methodischen Grundlagen zur Ausgestaltung von Liefernetzwerken nehmen im Wesentlichen die **Perspektiven** Beschaffungsgut, -quelle und deren Kombination ein [WILDEMANN 2008, S. 88ff.]. **Beschaffungsquellen** stellen die potenziellen Lieferanten des Originalteilherstellers dar, welche in der Lieferantenbasis zusammengefasst werden [LARGE 2013, S. 110]. Diese werden hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Vulnerabilität bewertet [DAY ET AL. 2010]. Das **Beschaffungsgut** stellt hingegen die zu beschaffende Sach- oder Dienstleistung dar.

Analog zum Ordnungsrahmen für Produktarchitekturen (Tabelle 3-1) ergeben sich **zwei Kategorien** von Ansätzen. **Beschaffungsstrategien** stellen auf die Frage ab, welche Beschaffungsgüter aus welchen Beschaffungsquellen bezogen werden [KAUFMANN 2002, S.15]. Die Strategien bündeln Programme für Beschaffungsgüter und -quellen, die sich hinsichtlich ihrer Merkmaldimensionen unterscheiden [KAUFMANN 2002, S.15; LARGE 2013, S. 40]. **Gestaltungsmethoden** umfassen die methodischen Grundlagen für das Lieferantenmanagement.

Die Kategorien und Perspektiven bilden einen **Ordnungsrahmen** (Tabelle 3-2) für Ansätze zur Ausgestaltung von Liefernetzwerken. Die Ansätze unterscheiden sich inhaltlich stark, weshalb an dieser Stelle auf eine integrierte Literaturstudie verzichtet und auf die Ausführungen in den einzelnen Abschnitten zu den Ansätzen (A–C) verwiesen wird.

**Tabelle 3-2: Ordnungsrahmen von Ansätzen zur Ausgestaltung von Liefernetzwerken**

Ansätze zur Ausgestaltung		Perspektive	
		Beschaffungsgut	Beschaffungsquelle
Kategorie	Beschaffungsstrategien	C	
	Gestaltungsmethoden	A	B

Beschaffungsstrategien (C) bilden die Schnittstelle zum Beschaffungsprozess ab und beschreiben den methodischen Abgleich zwischen Beschaffungsgut und -quelle. Der Abgleich manifestiert sich in der Beschaffungsentscheidung und der sukzessiven Festlegung des Liefernetzwerks (A). Die resultierende Konfiguration des Liefernetzwerks baut dabei auf Ergebnisse der Gestaltungsmethoden (B) für die Lieferantenbasis auf.

#### **A: Gestaltungsmethoden zur Konfiguration des Liefernetzwerks**

Die Gestaltungsmethoden zur Konfiguration des Liefernetzwerks fokussieren die **individuelle Auswahl von Lieferanten** für einen spezifischen Beschaffungsumfang und konstituieren über die kontinuierliche **Zuordnung von Beschaffungsumfängen zu Lieferanten** das Liefernetzwerk. Die Auswahl erfolgt auf Basis der verfügbaren Lieferanten der Lieferantenbasis, deren

Gestaltung in Abschnitt (B) erläutert wird. Die Auswahl wird zudem durch Beschaffungsstrategien (C) beeinflusst, welche die Unternehmensstrategie operationalisieren.

Aus der theoretischen Einführung zum Liefernetzwerk (Kapitel 2.2.2) sind die Lieferantenanalyse, -bewertung und -auswahl für die Konfiguration des Liefernetzwerks verantwortlich. Die Analyse bereitet dabei die erforderlichen Informationen für die folgende Lieferantenbewertung auf, welche in der Essenz die methodische Grundlage für die Konfiguration des Liefernetzwerks beschreibt. Die Lieferantenbewertung stellt eine Reihung der Lieferanten hinsichtlich ihrer individuellen Leistungsfähigkeit her. In der Lieferantenauswahl erfolgt lediglich die rechtlich bindende Beauftragung der Lieferanten. Damit beschränkt man sich in der Folge auf die Darstellung der methodischen Grundlage für die Lieferantenbewertung.

Die Definition und Gewichtung von **Bewertungskriterien** ist essenziell für die Lieferantenbewertung und zielt auf eine wirklichkeitsgetreue sowie objektivierte Bewertung der Leistungsfähigkeit der Lieferanten ab. Die Fachliteratur zeigt eine Vielzahl von Bewertungskriterien<sup>24</sup>, welche Basis für die Auswahl von Kriterien ist. Grundsätzlich spiegeln die Kriterien ein homogenes Verständnis wider, obgleich eine gewisse Varianz durch die Schwerpunkte der Fachbeiträge zu beobachten ist. Zudem konstituiert die spezifische Ausrichtung des Originalteilherstellers die Definition und Gewichtung der Bewertungskriterien [JANKER 2008, S. 97ff.]. In Tabelle 10-11 wird daher eine exemplarische Übersicht über Bewertungskriterien gegeben.

Die **Verfahren zur Lieferantenbewertung** lassen sich in Anlehnung an JANKER [2008, S. 102] hinsichtlich der Datengrundlage einteilen. **Quantitative Verfahren** nutzen metrische Daten, welche für optimale Lösungen über Gleichungssysteme herangezogen werden [ADAM 1996, S. 81ff.]. Bei **qualitativen Verfahren** sind die Bewertungskriterien nicht genau zu beziffern und bilden auch subjektive Einschätzungen und Meinungen ab [ADAM 1996, S. 82]. Die Verfahren unterscheiden sich zudem in der Anzahl an Bewertungskriterien [STRUB 1998 S. 83]. **Einfaktorielle Verfahren** ziehen ein Bewertungskriterium für die Bewertung heran, während **mehrfaktorielle Verfahren** mehrere Kriterien (mindestens zwei) nutzen.

Datengrundlage und Anzahl an Bewertungskriterien bilden einen **Ordnungsrahmen** für Verfahren zur Lieferantenbewertung (Tabelle 10-12). In Tabelle 10-12 werden 27 Verfahren als Ergebnis einer Literaturstudie erläutert und dem Ordnungsrahmens zugeordnet.

**Tabelle 3-3: Ordnungsrahmen von Verfahren zur Lieferantenbewertung**

Verfahren zur Lieferantenbewertung		Datengrundlage	
		Quantitative Verfahren	Qualitative Verfahren
Anzahl	Einfaktorielle Verfahren	①	②
	Mehrfaktorielle Verfahren	③	④

<sup>24</sup> Eine umfassende Übersicht an Kriterien stellen JANKER [2008, S. 96ff.] und STRUB [1998, S. 88ff.] bereit.

Einflussfaktoren für die Festlegung des Bewertungsverfahrens sind Informationsbedarf, Datenbestand und technische Hilfsmittel [STRUB 1998 S. 104]. Die Verfahren (Tabelle 10-12) stellen auf die Beurteilung der Ressourcen und Kompetenzen der Lieferanten ab, um auf deren Leistungsfähigkeit schließen zu können [ZERBINI ET AL. 2007; MÖLLER & TÖRRÖNEN 2003]. Diese Beurteilung fokussiert die individuelle Leistungsfähigkeit des Lieferanten [MASELLA & RANGONE 2000], berücksichtigt jedoch nicht die Leistungsfähigkeit des Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks. In Abhängigkeit von der Struktur und Zusammenstellung des Liefernetzwerks kann die individuelle Leistungsfähigkeit der Lieferanten variieren. Umgekehrt beeinflusst auch die individuelle Leistungsfähigkeit eines Lieferanten die Leistung des gesamten Liefernetzwerks [SARKAR & MOHAPATRA 2006]. Diese Varianz ist Folge der Geschäftsbeziehung zwischen den Lieferanten, wie beispielsweise Abhängigkeitsverhältnis oder Wettbewerbsbeziehung [ARNOLDS ET AL. 2001, S. 134ff.]. Die Beurteilung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks beschreibt die strukturelle Dimension in der Lieferantenbewertung [MIN & ZHOU 2002], welche von den vorgestellten Verfahren nur unzureichend adressiert wird.

## **B: Gestaltungsmethoden zur Gestaltung der Lieferantenbasis**

Die Gestaltung der Lieferantenbasis umfasst die Lieferantenidentifikation und -eingrenzung. Die Lieferantenbasis ist durch ihre Komplexität charakterisiert, welche sich aus der Anzahl an Beschaffungsquellen, der Varianz an Beschaffungsquellen sowie der Stimmigkeit von Beschaffungsquelle und -gut ergibt [CHOI & KRAUSE 2006, S. 642]. Für den Umgang mit dieser Komplexität stellt die Fachliteratur verschiedene Ansätze bereit.

Das **Lieferantenscouting** umfasst die gezielte Identifikation neuer Lieferanten am Beschaffungsmarkt als Erweiterung der bestehenden Lieferantenbasis [HOFBAUER ET AL. 2009, S. 35]. Die methodische Grundlage für die Identifikation von neuen Lieferanten ist die Recherche. Die Art der Recherche leitet sich aus der anvisierten Informationsquelle ab. Die Gestaltungsmethoden greifen damit auf primäre und sekundäre Informationsquellen zurück. Letztere beschreiben die Quellen einer traditionellen Lieferantensuche am Beschaffungsmarkt und nutzen gemeinhin verfügbare Informationen (bspw. Fachbücher, Online-Datenbanken ...). Bei primären Quellen (bspw. Konferenzen, Messebesuche ...) werden Informationen über den Lieferanten gezielt vom Originalteilhersteller erhoben und weiterverarbeitet. In der industriellen Praxis finden insbesondere die Lieferantenselbstauskunft, Lieferantenerhebungen mit Ausschlusskriterien, Lieferantenbesuche, Lieferantenaudits, Zertifikate und Befragungen von Referenzkunden Anwendung [JANKER 2008, S. 37ff.; HEB 2008, S. 286–287].

Zur Schonung der Ressourcen wird eine Einteilung der Beschaffungsobjekte in homogene Gütergruppen<sup>25</sup> durchgeführt [LARGE 2013, S. 69]. Diese Gütergruppen erhöhen die Transparenz bezüglich der Varianz von Beschaffungsquellen. Sie erlauben eine unternehmensweite Bedarfsbündelung und Nutzung von Spezialisierungsvorteilen in der Beschaffung [LARGE 2013, S. 70ff.; WAGNER 2002, S. 75ff.]. Die Gütergruppen stellen eine Segmentierung der Beschaffungsquellen dar, ohne die methodische Grundlage des Lieferantenscoutings zu beeinflussen. Tabelle 10-9 bietet einen umfassenden Überblick über die Informationsquellen, auf welche das Repertoire der Methoden zum Lieferantenscouting zurückgreift. [KIENZLE 1999, S. 287]

---

<sup>25</sup> Werden in der Fachliteratur auch als Materialgruppen bezeichnet [WAGNER 2002, S. 75].

Die **Lieferanteneingrenzung** fokussiert die Einschränkung der Lieferantenzahl, um eine ressourcenschonende Durchführung des detaillierten Lieferantenbewertungsprozesses zu gewährleisten. Die Festlegung der Eignung von Lieferanten für die Zusammenarbeit mit dem Originalteilhersteller erfolgt durch einen Satz an Lieferanten- und Beziehungsmerkmalen. Tabelle 10-10 stellt einen Überblick dieser Merkmale dar, welche als methodische Grundlage für die Lieferanteneingrenzung herangezogen werden. Aus der Klassifikation der methodischen Grundlagen nach DE BOER ET AL. [2001] und LARGE [2013, S. 117ff.] ergeben sich fünf Arten von Methoden für die Eingrenzung, welche auf die Bildung von Lieferantengruppen mittels Lieferanten- und Beziehungsmerkmale abstellen. Die Arten umfassen die Gruppenbildung über ratioskalierte (1), nominalskalierte (2)<sup>26</sup>, ordinalskalierte Klassifikationsmerkmale (3), Clusteranalyse (4) oder Case-based Reasoning (5). Für die Lieferanteneingrenzung finden die ersten drei Arten von Methoden (1–3) umfassenden Einsatz in der industriellen Praxis, während die Eignung der Clusteranalyse (4) in Frage gestellt [LARGE 2013, S. 117] und das Case-based Reasoning (5) nur vereinzelt im Anwendungsgebiet der Lieferanteneingrenzung eingesetzt wird. Damit ergibt sich der Fokus der methodischen Grundlagen in der Gruppenbildung über ratioskalierte<sup>27</sup>, nominalskalierte<sup>28</sup> und ordinalskalierte<sup>29</sup> Klassifikationsmerkmale.

Diese drei Methoden stellen auf die Eingrenzung der Anzahl an Beschaffungsquellen über Klassifikationsmerkmale ab und konstituieren den Umfang der Lieferantenbasis, welcher für die Konfiguration von Liefernetzwerken zur Verfügung steht. In der industriellen Praxis steht zumeist eine Reduzierung der Lieferantenbasis im Fokus und limitiert den Lösungsraum für die Konfiguration. DOWLATSHAHI [2000] begründet diese Ausrichtung damit, dass lediglich an eine begrenzte Lieferantenanzahl ein nennenswerter Auftrag zu vergeben und eine arbeitsfähige Beziehung zu unterhalten ist. Zudem werden die Lieferantenentwicklungskosten begrenzt.

### **C: Beschaffungsstrategien zur Ausgestaltung von Liefernetzwerken**

Die Beschaffungsstrategien (engl. Sourcing Strategy) beschreiben die Schnittstelle zum Beschaffungsprozess. Im Kern stellen die Strategien auf die Frage ab, welche Beschaffungsgüter aus welchen Beschaffungsquellen bezogen werden [KAUFMANN 2002, S.15]. Die Strategien bündeln Programme für Beschaffungsgüter und -quellen, die sich hinsichtlich ihrer Merkmaldimensionen unterscheiden lassen [KAUFMANN 2002, S.15; LARGE 2013, S. 40]. ARNOLD [2002, S. 208] stellt sechs Strategieelemente vor und betont die Bedeutung von deren Kombination zur Erreichung der Zielsetzung in der strategischen Beschaffung. WANNENWETSCH [2010, S. 163] nutzt die Strategieelemente und ordnet die grundlegenden Beschaffungsstrategien den Ebenen der Zulieferpyramide zu. Durch die Umsetzung der Beschaffungsstrategien werden handlungsleitende Vorgaben für die Auswahl von Lieferanten im Beschaffungsprozess gesetzt [KAUFMANN 2002, S.15; WANNENWETSCH 2010, S. 115ff.].

---

<sup>26</sup> Nominalskalierte Klassifikationsmerkmale umfassen dabei kategoriale Methoden und die Data Envelopment Analyse, welche von der DE BOER ET AL. [2001] als Arten von Methoden aufgeführt werden.

<sup>27</sup> Beispiel eines ratioskalierten Klassifikationsmerkmals ist eine Lieferanten-ABC-Analyse [LARGE 2013, S. 126].

<sup>28</sup> Die Data Envelopment Analyse nutzt nominalskalierte Klassifikationsmerkmale [WEBER & ELLRAM 1992].

<sup>29</sup> Das Beschaffungsportfolio nach KRALJIC [1983, S. 114] stellt ordinalskalierte Klassifikationsmerkmale dar.

Tabelle 3-4 fasst die Morphologie von Konzepten der Beschaffungsstrategien zusammen, welche auf Grundlage der Strategieelemente nach ARNOLD [2002, S. 208] aus der Fachliteratur erweitert und harmonisiert wurden. Die Konzepte werden hinsichtlich ihres Einflusses auf Strukturattribute des Liefernetzwerks bewertet und nachfolgend beschrieben.

**Tabelle 3-4: Morphologie von Beschaffungsstrategien**

Konzepte	Beschaffungsstrategien			
<b>Lieferantenkonzept:</b> Anzahl der Lieferanten für ein Beschaffungsobjekt	Sole	Single	Dual	Multiple
<b>Objektkonzept:</b> Umfang und Komplexität des Beschaffungsobjekts	Unit	Component	Modular	System
<b>Arealkonzept:</b> Geografische Lage der Beschaffungsquelle	Local	Domestic/National		Global
<b>Prozesskonzept*:</b> Zeitpunkt der Einbindung der Beschaffungsquelle	Operative		Strategic	
<b>Zeitkonzept*:</b> Strategien zur Bevorratung von Beschaffungsgütern	Stock	Demand-tailored	Just-in-time	
<b>Subjektkonzept*:</b> Struktur der beschaffenden Organisation	Individual		Cooperative/Collective	
<b>Wertschöpfungskonzept*:</b> Ort der Erbringung der Wertschöpfung	Internal		External	
* Diese Beschaffungsstrategien stellen nicht auf Strukturattribute des Liefernetzwerks ab und werden daher nicht weiter in der vorliegenden Dissertation berücksichtigt.				

**Lieferantenkonzept:** In diesem Beschaffungskonzept werden Beschaffungsstrategien zusammengefasst, die sich hinsichtlich der Anzahl der Lieferanten für ein spezifisches Beschaffungsobjekt unterscheiden. Die Strategien gestalten die Struktur des Liefernetzwerks über die Definition der Anzahl an Lieferanten in dem Liefernetzwerk und die Zuordnung der Lieferanten zu Beschaffungsobjekten entsprechend der Beschaffungsstrategie. Im Lieferantenkonzept wird zwischen vier Strategien differenziert: Sole Sourcing (Monopolbeschaffung), Single Sourcing (Einzelquellenbeschaffung), Dual Sourcing (Doppelquellenbeschaffung) und Multiple Sourcing (Mehrquellenbeschaffung) [ARNOLD 2002, S. 209; VOIGT 2008, S. 189ff.]. Diese Beschaffungsstrategie erweitert durch den Aufbau von alternativen Lieferanten die Lieferantenbasis [KRAMPF 2012, S. 29–30] auf deren Grundlage das Liefernetzwerk ausgeleitet wird. Tabelle 10-13 stellt die charakteristischen Eigenschaften der vier Strategien gegenüber.

**Objektkonzept:** In dem Objektkonzept wird das Beschaffungsobjekt hinsichtlich Umfang und Komplexität unterschieden. Der Fachliteratur sind vier Strategien zu entnehmen: Unit Sourcing (Teilebeschaffung), Component Sourcing (Komponentenbeschaffung), Modular Sourcing (Modulbeschaffung) und System Sourcing (Systembeschaffung) [VOIGT 2008, S. 192ff.]. Die

Teile- und Komponentenbeschaffung umfasst Marktteile (Rohmaterialien, Normteile, Komponenten und Teilegruppen) [STRUB 1998, S. 441], während die beiden letztgenannten Beschaffungsstrategien Systemteile (Module und Systeme) bezeichnen. Das Objektkonzept beeinflusst die Tiefe und Breite des Liefernetzwerks durch die Gestaltung der Zulieferpyramide [KRAMPF 2012, S. 90ff.]. Die Eigenschaften der Strategien sind in Tabelle 10-14 dargestellt.

**Arealkonzept:** Dieses Beschaffungskonzept fasst Strategien zusammen, die sich hinsichtlich der geografischen Lage der Beschaffungsquelle in Relation zum Originalteilhersteller unterscheiden [ARNOLD 2002, S. 210]<sup>30</sup>. In der Fachliteratur nehmen diese Strategien drei Ausprägungen an: Local Sourcing (lokale Beschaffung), Domestic Sourcing (Inlandsbeschaffung) und Global Sourcing (globale Beschaffung) [APPELFELLER & BUCHHOLZ 2011, S. 112ff.]. Die geografische Lage der Beschaffungsquellen ist entscheidend für die Auswahl von Lieferanten für spezifische Beschaffungsumfänge. Ein Liefernetzwerk mit globaler Beschaffung eines Systemteils (System und Modul) wird bei lokal beschafften Komponenten nur eine geringe Wirtschaftlichkeit aufweisen, da die Kostenvorteile aus globaler Beschaffung durch erhöhte Transportkosten und Einbußen der Reaktionsfähigkeit überkompensiert werden [WANNENWETSCH 2010, S. 167ff.]. Das Arealkonzept setzt einen Rahmen für die Gestaltung des Liefernetzwerks über die Festlegung des Wirtschaftsraums der Beschaffungsumfänge. Eine Übersicht über die charakteristischen Eigenschaften der Strategien wird in Tabelle 10-15 zusammengefasst.

Die **weiteren Beschaffungskonzepte** besitzen keinen unmittelbaren Einfluss auf die Ausgestaltung des Liefernetzwerks. Das **Prozesskonzept** unterscheidet Strategien hinsichtlich des Zeitpunkts der Einbindung der Beschaffungsquellen (Operative und Strategic Sourcing) [HOFBAUER ET AL. 2009, S. 93–94]. Das **Subjektkonzept** stellt auf die Struktur der beschaffenden Organisation ab. Beim Individual Sourcing werden die Beschaffungsaktivitäten vom Originalteilhersteller durchgeführt, während beim Collective Sourcing eine Kooperation mit anderen Organisationen eingegangen wird [ARNOLD 1997, S. 116–117]. Im **Wertschöpfungskonzept** wird eine räumlich getrennte Beschaffung (External Sourcing) und unmittelbar räumliche Beschaffung (Internal Sourcing) unterschieden [ARNOLD 1997, S. 121]. Das **Zeitkonzept** fasst Strategien zusammen, die sich mit der Bevorratung der Beschaffungsgüter beschäftigen (Stock Sourcing, Demand-tailored Sourcing und Just-in-time) [ARNOLD 1997, S. 104–105].

### Schlussfolgerung zur Ausgestaltung des Liefernetzwerks

Die Konfiguration des Liefernetzwerks wird durch die Reduzierung der Lieferantenbasis merklich in ihrem Umfang beeinflusst. Die Konfiguration beschreibt die sukzessive Auswahl von Lieferanten. Die methodische Grundlage für die Auswahl bilden Verfahren zur Lieferantenbewertung. Diese Verfahren stellen gemeinhin auf die individuelle Leistungsfähigkeit der Lieferanten ab. Eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks bietet keins der vorgestellten Verfahren. Durch die Umsetzung der Beschaffungsstrategien wird der Umfang der Lieferantenbasis konstituiert (Lieferantenkonzept). Zudem wird über das Objektkonzept die Tiefe und Breite des Liefernetzwerks bestimmt und mit dem Arealkonzept ein grundsätzlicher Rahmen für die Gestaltung des Liefernetzwerks festgelegt.

---

<sup>30</sup> Die Differenzierung zwischen den Strategien wird in der industriellen Praxis durch eine Einteilung der Beschaffungsmärkte nach Wirtschaftsregionen unterstützt [SMITH ET AL. 2002; BOZARTH ET AL. 1998].

### 3.3 Implikationen aus den methodischen Grundlagen

Die methodischen Grundlagen zur Produktarchitektur und dem Liefernetzwerk liefern das Fundament für deren Modellierung und Ausgestaltung. Die Modellierung stellt die grundlegende Darstellung von Produktarchitekturen und Liefernetzwerken dar, während sich die Ausgestaltung mit Ansätzen für die zielgerichtete Modifikation der beiden Facetten der Abstimmung im Rahmen der vorliegenden Dissertation beschäftigt.

Für die Modellierung von Produktarchitekturen bieten sich graphen- und matrixbasierte Methoden gleichermaßen an, obgleich für den Umgang mit komplexen Sachverhalten Matrizen eine umfassendere Unterstützung bei der Verarbeitung und Berechnung von weiteren Eigenschaften versprechen (Kapitel 3.1.1). Die anbindende Ausgestaltung erörtert den Einfluss der Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern auf die Gestalt der Produktarchitektur (Kapitel 3.1.2). Aus der Produktfamilie wird dieser Einfluss durch Standardisierung, Gleich- und Wiederholteilen beschrieben, während aus der Umsetzung von Gestaltungsrichtlinien im Entwicklungsprozess Simplifizierung und Standardisierung als wesentliche Einflussfaktoren erwachsen. Zum Schluss wird die umfassende methodische Grundlage zur Modularisierung dargestellt, welche merklichen Einfluss auf die Ausgestaltung von Produktarchitekturen besitzt.

Für die Modellierung von Liefernetzwerken in frühen Phasen der Produktentwicklung bieten sich Strukturmodelle an. Diese erlauben die Ausleitung von konkreten Gestaltungsempfehlungen und sind dabei nicht auf Informationen eines operativen Liefernetzwerks angewiesen (Kapitel 3.2.1). Der Einfluss aus den Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern auf das Liefernetzwerk steht bei der Ausgestaltung von Liefernetzwerken im Fokus (Kapitel 3.2.2). Die Schnittstelle zum Lieferantennetzwerk nimmt über die Reduzierung der Lieferantenbasis merklichen Einfluss auf die Konfiguration des Liefernetzwerks. Diese beschreibt die sukzessive Auswahl von Lieferanten und konstituiert somit die spezifische Gestalt des Liefernetzwerks. Die methodische Grundlage für die Auswahl bilden Verfahren zur Lieferantenbewertung, welche jedoch eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks vernachlässigen. Zudem wird über Beschaffungsstrategien der Umfang der Lieferantenbasis konstituiert (Lieferantenkonzept), die Tiefe und Breite des Liefernetzwerks bestimmt (Objektkonzept) und ein grundsätzlicher Rahmen für die Ausgestaltung des Liefernetzwerks definiert (Arealkonzept).

Die methodischen Grundlagen zur Modellierung und Ausgestaltung von Produktarchitekturen und Liefernetzwerken beschreiben somit den Rahmen für die Abstimmung dieser beiden Facetten in frühen Phasen der Produktentwicklung. Die Verankerung der Abstimmung erfordert eine organisatorische Einbettung (Kapitel 2.1.2 und 2.2.2), welche in der Fachliteratur über Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung beschrieben werden. Damit zeichnen die methodischen Grundlagen die Agenda für den Stand der Forschung und Technik (Kapitel 4) vor.

## 4. Stand der Forschung und Technik

*In diesem Kapitel erfolgt die Aufbereitung des relevanten Stands der Forschung und Technik. Die Verankerung der Abstimmung in der industriellen Praxis erfordert eine organisatorische Einbettung, welche über Gestaltungsrichtlinien beschrieben und folglich neben den Ansätzen zur Abstimmung aufgegriffen wird. Für die Gestaltung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk hinsichtlich ihrer Strukturattribute greifen die relevanten Ansätze auf Clusterverfahren zurück. Der korrespondierende Stand der Forschung und Technik zu diesen Verfahren stellt somit den dritten Fokusbereich in diesem Kapitel dar. Schwächen in den drei Bereichen sind handlungsleitend für die Anforderungen an den Lösungsansatz der vorliegenden Dissertation.*

### 4.1 Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung

Die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk erfährt durch die Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung<sup>31</sup> eine organisatorische Einbettung. Die Gestaltungsrichtlinien beschreiben den Einfluss der Produktgestalt auf Aktivitäten im Liefernetzwerk und rücken diese als Ergänzung zu klassischen Aktivitäten zur Produktgestaltung in den Fokus [ARNETTE ET AL. 2014, S. 6]. Der Bedarf für diese Richtlinien erwächst nach SHEU & CHEN [2007, S. 3] aus drei Problemen: ineffiziente Kommunikation zwischen Entwicklung und Beschaffung, Vernachlässigung von Durchlaufzeit und Verfügbarkeit durch die Entwicklung sowie mangelnde Berücksichtigung des Ersatzteilbedarfs am Lebenszyklusende.

Im Forschungsfeld zu Gestaltungsrichtlinien spielt die beschaffungsgerechte Produktentwicklung eine untergeordnete Rolle [ARNETTE ET AL. 2014, S. 6]. Folglich stehen nur wenige Richtlinien zur Verfügung, was sich in der Literaturstudie manifestiert (Tabelle 10-16). Zur Bereitstellung eines Fundaments an Gestaltungsrichtlinien für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung wird eine umfassende Literaturstudie durchgeführt. Die Auswahl von relevanten Ansätzen im Rahmen der vorliegenden Dissertation erläutert Kapitel 4.1.1. Die Beschreibung der relevanten Ansätze (Kapitel 4.1.2) baut das erforderliche Verständnis für die Gegenüberstellung der Ansätze in Kapitel 4.1.3 auf. Zudem wird der handlungsleitende Forschungsbedarf aufgezeigt.

#### 4.1.1 Gestaltungsrichtlinien: Auswahl relevanter Ansätze

Die Auswahl von Ansätzen zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (Kapitel 4.1.2) ist Ergebnis einer systematischen Literaturstudie zu Gestaltungsrichtlinien, welche sich aus einer initialen stichwortbasierten und einer erweiterten publikationsbasierten Recherche ergeben.

---

<sup>31</sup> Im englischen Sprachraum firmieren diese Gestaltungsrichtlinien (Design-for-X) als „Design for Procurement“, „Design for Purchasing“ und „Design for Supply Chain“.

Die stichwortbasierte Recherche fokussiert sich auf Journal-, Konferenz- und Buchbeiträge aus den Bereichen der Ingenieurwissenschaften und der Beschaffung mit einer Auswahl an Suchwörtern in Deutsch und Englisch. Die Variation der Suchwörter wird gemeinsam mit den verwendeten Literaturdatenbanken in Tabelle 10-16 dargestellt. Für die Berücksichtigung der Gestaltungsrichtlinien in der initialen Literaturrecherche ergeben sich zwei handlungsleitende Kriterien. Das erste Kriterium erwächst aus der intendierten, organisatorischen Einbettung der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Diese fordert die Verortung in spezifischen Phasen des Entwicklungsprozesses. Das zweite Kriterium stellt auf den Umfang der Unterstützung ab. Demnach werden Publikationen in die Auswahl aufgenommen, sofern diese konkrete Handlungsempfehlungen beschreiben.

In der publikationsbasierten Recherche wurden Gestaltungsrichtlinien aus der stichwortbasierten Erhebung durch eine Vorwärts- und Rückwärtssuche erweitert. Diese umfassen die Sichtung des Quellenverzeichnisses der Publikationen (rückwärts) und der Referenz auf die genannte Publikation (vorwärts). Ferner sind in der publikationsbasierten Recherche Ergebnisse aus der Literaturstudie zu Gestaltungsrichtlinien aus dem Lebenszyklus (Tabelle 10-6) eingeflossen.

Die erweiterte Recherche hat dabei keine weiteren Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung geliefert, sondern lediglich die Ergebnisse der initialen Recherche bestätigt. Als Ergebnis der Literaturstudie ergeben sich sieben relevante Publikationen.

#### 4.1.2 Gestaltungsrichtlinien: Beschreibung relevanter Ansätze

Die ausgewählten Gestaltungsrichtlinien werden mit Fokus auf ihre Eigenschaften beschrieben und illustrieren die Heterogenität dieses Forschungsfelds. Keine der sieben relevanten Publikationen kann demnach die beiden aufgeführten Kriterien zur Gänze erfüllen. Sie bieten jedoch einen Einblick in die unterschiedlichen Facetten der beschaffungsgerechten Produktentwicklung.

##### **PASHAEI & OLHAGER 2015**

Diese Publikation stellt eine systematische Literaturstudie auf Basis von 100 Publikationen zur Beziehung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk dar. Die Datenanalyse gibt Aufschluss über die Facetten bei der Abstimmung und deren organisatorischen Einbettung in der industriellen Praxis. Bei der Produktarchitektur sind demnach die verschiedenen Ausprägungen (integral bis modular) und der Einfluss von Produktfamilien zu adressieren. Ferner wird von PASHAEI & OLHAGER [2015] die Auswahl und Beziehung zwischen Originalteilhersteller und Lieferanten hervorgehoben, welche Einfluss auf die Gestalt des Liefernetzwerks besitzen.

Die Publikation thematisiert die grundlegende Beziehung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Eine Gestaltungsrichtlinie liefert sie jedoch nicht. Es wird lediglich ein Überblick über Dimensionen gegeben, welche von konkreten Handlungsempfehlungen zu adressieren sind. Dabei werden die Ausgestaltung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk explizit aufgegriffen und bestätigen die Ausführungen zu den theoretischen und methodischen Grundlagen der vorliegenden Dissertation. Eine Zuordnung zu Phasen im Entwicklungsprozess wird nicht geleistet und bietet somit keinen Rahmen für die Verankerung der Abstimmung.

**ARNETTE ET AL. 2014**

Hierbei handelt es sich um einen umfassenden Überblick über Gestaltungsrichtlinien, welche hinsichtlich der Dimensionen Wirtschaftlichkeit, Ökologie und Gesellschaft klassifiziert werden. Richtlinien zu „Design-for-Supply Chain“ und „Design-for-Procurement“ widmen sich der beschaffungsgerechten Produktentwicklung. Erstere umfassen das Wertschöpfungsnetzwerk und liefern keine konkreten Handlungsempfehlungen, während letztere explizit auf das Liefernetzwerk abstellen. Zudem umfassen die Richtlinien zu „Design-for-Procurement“ Handlungsempfehlungen zur (1) Komponentenkommunalität in den Produktfamilien, (2) Agilität des Liefernetzwerks und (3) Integration von Lieferanten mit strategischen Kompetenzen.

Die Publikation gibt einen Überblick über konkrete Handlungsempfehlungen, welche Tabelle 10-17 zusammenfasst. ARNETTE ET AL. [2014] halten zudem fest, dass die Fachliteratur nur wenige Werkzeuge für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung zur Verfügung stellt. Mit den Handlungsempfehlungen werden beide Domänen der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk explizit adressiert. Eine organisatorische Einbettung der Empfehlung wird von dieser Publikation jedoch nicht bereitgestellt.

**PULKKINEN ET AL. 2012**

Diese Publikation stellt ein Rahmenwerk als Essenz aus umfassenden Interviews vor [MARTIKAINEN 2011, S. 35ff.]. Es umfasst vier Bereiche: (1) Management der Geschäftsprozesse, (2) Management der Produktstruktur und Strukturkomplexität, (3) Entwicklungsprozesse und -methodik sowie (4) Softwareunterstützung. Beim Management von Geschäftsprozessen werden Beschaffungsaktivitäten und Unternehmensnetzwerke wie das Lieferantennetzwerk berücksichtigt. Im zweiten Bereich wird mit der Produktstruktur fokussiert und die Bedeutung der strukturellen Komplexität betont. Im Bereich zu Entwicklungsprozessen werden Gestaltungsrichtlinien aus anderen Lebenszyklusphasen aufgegriffen, während sich der letzte Bereich der Unterstützung durch Softwareprogramme widmet.

Die Publikation beschreibt implizit Handlungsempfehlungen und liefert ein Rahmenwerk für Gestaltungsrichtlinien. Über das Management von Geschäftsprozessen (1) und die Entwicklungsprozesse (3) werden Aktivitäten für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung beschränkt. Die spezifische Ausgestaltung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk wird vom zweiten und dritten Bereich des Rahmenwerks adressiert. Somit bestätigt diese Publikation die Ausführungen der vorliegenden Dissertation zu den theoretischen und methodischen Grundlagen<sup>32</sup>. Zudem fasst Tabelle 10-17 die impliziten Handlungsempfehlungen zusammen.

**BLEES 2011**

Die Dissertation von BLEES [2011] stellt auf die Entwicklung modularer Produktfamilien ab, gibt jedoch einen Einblick in die Entwicklung beschaffungsgerechter Produktstrukturen. Die Empfehlung sieht die Bildung von Modulen als Basis für die Umsetzung des „Modular Sourcing“ (Beschaffungsstrategie des Objektkonzepts) vor. Mit dieser Strategie kann der Originalteilhersteller sich auf seine Kernkompetenzen konzentrieren und spezifische Kompetenzen der

---

<sup>32</sup> Die Softwareunterstützung wird von der vorliegenden Dissertation nicht fokussiert.

Lieferanten in Entwicklung und Produktion nutzen [EICKE & FEMERLING 1991]. Zudem erlaubt sie eine Begrenzung der Informations- und Warenflüsse zwischen Originalteilhersteller und Lieferanten im Vergleich zur konventionellen Komponentenbeschaffung („Unit Sourcing“). Neben der Modularisierung des Produkts wird die Standardisierung als Befähiger angeführt.

Die Dissertation bietet eine Handlungsempfehlung für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung, welche auf die Beschaffungsstrategie des „Modular Sourcing“ abstellt. Die Empfehlung setzt eine modulare Produktarchitektur und hierarchische Struktur des Liefernetzwerks voraus. Im Liefernetzwerk bündelt der Modullieferant folglich die Beschaffungsumfänge des Komponentenlieferanten, während über die Ansätze zur Modularisierung von Produktarchitekturen das zu beschaffende Modul bestimmt wird. Eine spezifische Zuordnung der Handlungsempfehlung im Entwicklungsprozess erfolgt lediglich implizit über die Modularisierung des Produkts, welche erfahrungsgemäß in der Konzept- oder Systementwicklung stattfindet.

### **SIMATUPANG & SRIDHARAN 2008**

SIMATUPANG & SRIDHARAN [2008] fokussieren die Struktur eines Leistungssystems für die Zusammenarbeit der Unternehmung mit dem Liefernetzwerk. Das Leistungssystem wird von drei vernetzten Bereichen beschrieben: (1) Transfer von Informationen, (2) Synchronisierung von Entscheidungen und (3) Abstimmung des Anreizsystems. Diese Bereiche regen die Leistungsbereitschaft und Verbesserungen im Liefernetzwerk an. Über einen performanten Informationstransfer (1) verfügen sämtliche Stakeholder im Liefernetzwerk stets über die relevanten Informationen, welche für die Synchronisierung von Entscheidungen (2) erforderlich ist. Dieser zweite Bereich stellt auf eine kollektive Entscheidungsfindung ab, um einen synergetischen Nutzen für die beteiligten Stakeholder zu erzeugen. Der letzte Bereich fokussiert die Abstimmung des Anreizsystems (3), um die Leistungsbereitschaft der Stakeholder zu konservieren.

Diese Publikation beschreibt grundlegende Handlungsempfehlungen. Eine spezifische Zuordnung der drei Bereiche zu einzelnen Phasen im Entwicklungsprozess erfolgt insofern, als die drei Bereiche als Basis für eine erfolgreiche Zusammenarbeit der Unternehmung mit dem Liefernetzwerk angeführt werden. Über die Synchronisierung von Entscheidungen (2) wird die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk adressiert und die Bedeutung der Informationsstrukturen im Liefernetzwerk (1) hervorgehoben. Die Abstimmung des Anreizsystems (3) beschreibt in Essenz die kontraktliche Beziehung der Stakeholder im Liefernetzwerk. Diese Beziehung manifestiert sich in der Struktur der Zusammenarbeit und ist Befähiger für den Erhalt der Leistungsbereitschaft der beteiligten Stakeholder.

### **PETERSEN ET AL. 2005<sup>33</sup>**

Die Publikation fokussiert sich auf die Integration von Lieferanten in den Entwicklungsprozess und greift lediglich die Bereiche „Management der Geschäftsprozesse“ (1) und „Entwicklungsprozesse und -methodik“ (3) aus dem Rahmenwerk nach PULKKINEN ET AL. [2012] auf. Die Ergebnisse der Literaturstudie und der Faktorenanalyse zur Lieferantenintegration stellen jedoch grundlegende Handlungsempfehlungen bereit. Demnach wird die Integration hinsichtlich

---

<sup>33</sup> Stellvertreter für Publikationen zur Integration von Lieferanten in den Entwicklungsprozess.

Entwicklungsprozess und Verantwortlichkeit des Lieferanten differenziert. Zudem betont die Publikation die Bedeutung einer detaillierten Lieferantenauswahl.

PETERSEN ET AL. [2005] setzen einen klaren Fokus auf die Lieferantenintegration und liefern Empfehlungen für den Zeitpunkt der Integration im Entwicklungsprozess. Zudem werden über die Arten der Lieferantenintegration implizit Handlungsempfehlungen für die Gestaltung des Liefernetzwerks bereitgestellt. Die Integration der Lieferanten in den Entwicklungsprozess erfordert eine frühzeitige Auswahl dieser Lieferanten und beeinflusst die sukzessive Festlegung des Liefernetzwerks. Die Produktarchitektur wird von dieser Publikation nicht berücksichtigt und erlaubt somit keine Unterstützung der Abstimmung.

### **GROHER 2002**

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Integration von Lieferanten in die Produktentstehung. Das Beschaffungsgut wird zwar als Einflussgröße auf die Integration aufgeführt, allerdings nur hinsichtlich seines Wertes, der Komplexität, der Neuigkeit sowie der Schnittstellen bewertet. Spezifische Handlungsempfehlungen für die Produktarchitektur weist diese Publikation nicht auf. Die Empfehlungen stellen hingegen auf das Liefernetzwerk ab und umfassen die Lieferantenauswahl, das hinterlegte Anreizsystem, den Zeitpunkt der Integration im Entwicklungsprozess sowie die Informations- und Kommunikationsstruktur. Ferner führt GROHER [2002] noch die Vertragsgestaltung, das Controlling und die Projektorganisation an. Diese beschreiben jedoch keine expliziten Handlungsempfehlungen für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung.

Die Publikation fokussiert die Integration von Lieferanten und stellt konkrete Empfehlungen hinsichtlich des Zeitpunkts der Integration im Entwicklungsprozess bereit. Für die anderen Gestaltungsfelder der Integration (Lieferantenauswahl, Anreizsystem, Informations- und Kommunikationsstruktur) werden Empfehlungen formuliert, welche sich auf die Integration von spezifischen Lieferanten (bspw. Modul- oder Komponentenlieferanten) beschränken. Eine umfassende Gestaltungsrichtlinie wird von dieser Publikation jedoch nicht geliefert.

### **4.1.3 Gestaltungsrichtlinien: Gegenüberstellung relevanter Ansätze**

Die Beschreibungen von relevanten Publikationen zu Gestaltungsrichtlinien (Kapitel 4.1.2) werden in diesem Kapitel verglichen. Die Gegenüberstellung erfolgt vornehmlich anhand von drei charakteristischen Eigenschaften der Richtlinien. Diese Eigenschaften werden zunächst beschrieben, bevor in Tabelle 4-1 die Gegenüberstellung erfolgt.

#### **Eigenschaften der Gestaltungsrichtlinien**

Die Eigenschaften für die Gegenüberstellung umfassen neben der organisatorischen Einbettung und dem Konkretisierungsgrad der Empfehlungen die Domänen für die Abstimmung.

**Domänen:** Die Abstimmung setzt Informationen aus unterschiedlichen Domänen voraus. Diese Domänen beschreiben die Produktarchitektur und das Liefernetzwerk über Strukturattribute. Die Produktarchitektur repräsentiert das Produkt in frühen Entwicklungsphasen, während sich im Liefernetzwerk die Entscheidungen im Beschaffungsprozess manifestieren. Somit ist die Berücksichtigung dieser Domänen handlungsleitend für die Gestaltungsrichtlinien.

**Einbettung:** Die organisatorische Einbettung erlaubt die Verankerung der Richtlinien in den Geschäftsprozessen der Unternehmung und reduziert den organisatorischen Schlupf an Schnittstellen [BROCKHOFF 1994, S. 7 und S. 41]. Diese Eigenschaft ist grundlegend für die erfolgreiche Anwendung und setzt ein Prozessmodell der Entwicklung voraus, an dem die Handlungsempfehlungen zu verorten sind. Zudem wird damit die Informations- und Kommunikationsstruktur zwischen Originalteilhersteller und Lieferant offengelegt.

**Konkretisierung:** Voraussetzung für die Anwendung ist neben der organisatorischen Einbettung die Konkretisierung der Empfehlungen. Diese reichen von grundlegenden Empfehlungen bis zu konkreten Handlungsempfehlungen. Letztere bieten Praktikern eine umfassende Unterstützung und erleichtern die Anpassung an unternehmensspezifische Randbedingungen.

### Gegenüberstellung der Gestaltungsrichtlinien

Tabelle 4-1 stellt die beschriebenen Gestaltungsrichtlinien hinsichtlich ihrer Eigenschaften einander gegenüber. Dabei werden die Eigenschaften Einbettung und Konkretisierung der Abstimmung zusammengefasst. Zudem wird diese Gegenüberstellung abschließend diskutiert und der Forschungsbedarf im Rahmen der vorliegenden Dissertation ermittelt.

**Tabelle 4-1: Gegenüberstellung von Gestaltungsrichtlinien**

Ansätze aus der Fachliteratur zu Gestaltungsrichtlinien	Eigenschaften der Gestaltungsrichtlinien	
	Domänen der Abstimmung	Einbettung und Konkretisierung der Abstimmung
PASHAEI & OLHAGER 2015	●	○
ARNETTE ET AL. 2014	●	⊙
PULKKINEN ET AL. 2012	⊙	⊙
BLEES 2011	●	⊙
SIMATUPANG & SRIDHARAN 2008	⊙	⊙
PETERSEN ET AL. 2005	○	⊙
GROHER 2002	○	●
<u>Legende:</u> Richtlinie nutzt die Domänen Produktarchitektur und Liefernetzwerk nicht (○), berücksichtigt die beiden Domänen teilweise (⊙) oder umfassend (●).		
Richtlinie bietet keine Unterstützung bei der Einbettung im Entwicklungsprozess durch ein Phasenmodell und konkrete Handlungsempfehlungen (○), unterstützt die Einbettung teilweise (⊙) oder umfassend (●).		

Die Gegenüberstellung der Ansätze zu Gestaltungsrichtlinien für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung aus Tabelle 4-1 werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Eigenschaften diskutiert.

Bei den Domänen greifen lediglich zwei Publikationen (GROHER [2002] und PETERSEN ET AL. [2005]) nicht auf die Domänen Produktarchitektur und Liefernetzwerk zurück, sondern fokussieren sich mit Handlungsempfehlungen für die Integration von Lieferanten auf das Liefernetzwerk. Die Produktarchitektur wird dabei nicht berücksichtigt und liefert damit keine hinreichende Grundlage für die vorliegende Dissertation. Die Publikationen von PASHAEI & OLHAGER [2015], ARNETTE ET AL. [2014] und BLEES [2011] adressieren hingegen beide Domänen in ihren Handlungsempfehlungen und schaffen insofern die Grundlage für eine fundierte Abstimmung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk.

Die Unterstützung der organisatorischen Einbettung der Abstimmung wird lediglich in der Dissertation von GROHER [2002] über die Einordnung der konkreten Handlungsempfehlungen im Entwicklungsprozess adressiert. Diese Handlungsempfehlungen fokussieren jedoch die Lieferantenintegration und umfassen somit lediglich das Liefernetzwerk. Die weiteren Publikationen stellen lediglich implizit mit ihren konkreten Handlungsempfehlungen auf spezifische Phasen im Entwicklungsprozess ab. Ein vitales Beispiel für eine implizite Zuordnung der Handlungsempfehlung liefert BLEES [2011], welche durch die Handlungsempfehlung der Produktmodularisierung auf die Konzept- oder Systementwicklung hindeutet. Lediglich bei der Publikation von PASHAEI & OLHAGER [2015] besteht kein Bezug zum Entwicklungsprozess. Folglich liefert keine der vorgestellten Publikationen ein hinreichendes Fundament für die organisatorische Einbettung der Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung mit dem Fokus auf der Abstimmung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk.

### **Schlussfolgerung zu den Gestaltungsrichtlinien**

Die beschriebenen Ansätze zu Gestaltungsrichtlinien (Kapitel 4.1.2) fokussieren verschiedene Facetten der beschaffungsgerechten Produktentwicklung und beschreiben die organisatorische Einbettung der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk.

Die aufgeführten Ansätze zeichnen ein heterogenes Bild von Gestaltungsrichtlinien. Über die Publikation von PULKKINEN ET AL. [2012] und SIMATUPANG & SRIDHARAN [2008] wird ein Rahmenwerk für Richtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung geschaffen, welches mit den Ausführungen von PASHAEI & OLHAGER [2015] die Dimensionen für konkrete Handlungsempfehlungen abstecken. Die Forderung nach einer Zuordnung der Empfehlungen zu Phasen im Entwicklungsprozess wird von keinem der aufgeführten Ansätze zur Gänze erfüllt. Lediglich bei GROHER [2002] und PETERSEN ET AL. [2005] erfolgt eine Zuordnung in einem Phasenmodell des Entwicklungsprozesses. Diese Publikationen adressieren jedoch nicht die beiden Domänen der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk durch ihren Fokus auf die Lieferantenintegration. Für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung liefern lediglich BLEES [2011], PULKKINEN ET AL. [2012] und ARNETTE ET AL. [2014] konkrete Handlungsempfehlungen, welche in Tabelle 10-17 zusammengefasst werden. Diese fokussieren sich bei der Produktarchitektur auf die Standardisierung und Modularisierung, während beim Liefernetzwerk die Integration von strategischen Lieferanten im Vordergrund steht.

## 4.2 Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk

Für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk werden in der Fachliteratur verschiedene Ansätze präsentiert. Diese unterscheiden sich in den Attributen, welche für die Abstimmung herangezogen werden. GAN & GRUNOW [2013] liefern ein Rahmenwerk für diese Attribute auf drei Ebenen. Diese umfassen strukturelle, detaillierte und dynamische Attribute. Erstere stellen auf die strukturelle Konfiguration von Produktarchitektur und Liefernetzwerk ab, während detaillierte Attribute die Produktgestalt (Größe, Material ...) und Eigenschaften des Liefernetzwerks beschreiben (Transport, Lagerbestand ...). Dynamische Attribute sind leistungsbezogen und stellen kurzfristige Entscheidungen im Liefernetzwerk dar.

Für die Abstimmung in frühen Phasen der Entwicklung empfehlen GAN & GRUNOW [2013] die Ebene mit strukturellen Attributen. Diese Empfehlung deckt sich mit der Verfügbarkeit von Strukturinformationen in der Produktentwicklung nach ULRICH & EPPINGER [2012, S. 99ff.].

Mit dem Rahmenwerk wird folgend die Auswahl von Ansätzen zur Abstimmung (Kapitel 4.2.1) erläutert. Durch die Beschreibung der Ansätze wird in Kapitel 4.2.2 das erforderliche Verständnis für die Gegenüberstellung in Kapitel 4.2.3 aufgebaut. In der Gegenüberstellung wird zudem der handlungsleitende Forschungsbedarf für die Abstimmung aufgezeigt.

### 4.2.1 Abstimmung: Auswahl relevanter Ansätze

Die Auswahl an Ansätzen zur Abstimmung ist Ergebnis einer systematischen Literaturrecherche im Zeitraum von 2004 bis 2014, welche sich in einer initialen stichwortbasierten Recherche und einer erweiterten publikationsbasierten Recherche ergeben. Die Variation an Suchwörtern wird mit den verwendeten Literaturdatenbanken in Tabelle 10-18 dargestellt.

Die stichwortbasierte Recherche fokussiert sich auf etablierte Literaturdatenbanken mit einer Auswahl an Suchwörtern, welche sich aus den Domänen der Abstimmung (Produktarchitektur und Liefernetzwerk) ergeben. Als Kriterien für die Berücksichtigung der Ansätze ist zum einen die Beschreibung eines Vorgehens oder einer Methode und zum anderen die Darstellung von Gestaltungsempfehlungen anzuführen. Zudem wurden Publikationen zu Abhängigkeiten zwischen Produktplattform und Liefernetzwerk von der Recherche ausgeschlossen, da diese keinen unmittelbaren Einfluss auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur besitzen. Ferner wurden Publikationen zu Fallstudien ohne adäquaten Ansatz nicht berücksichtigt.

In der publikationsbasierten Recherche wurden die Ansätze zur Abstimmung aus der stichwortbasierten Erhebung, um die Ansätze aus Publikationen zum Stand der Technik erweitert. Zudem wurden für diese Publikationen eine Vorwärts- und Rückwärtssuche durchgeführt, welche einerseits das Quellenverzeichnis der Publikationen (rückwärts) und andererseits Referenzen auf die genannten Publikationen (vorwärts) umfassen. Die Vorwärts- und Rückwärtssuche haben keine weiteren Ansätze zur Abstimmung geliefert, sondern lediglich die Ergebnisse der initialen Recherche gestützt.

Als Ergebnis der initialen stichwortbasierten und erweiterten publikationsbasierten Recherche ergeben sich elf Publikationen. Die Publikation von GAN & GRUNOW [2013] stellt ein Rahmenwerk dar und wird daher nicht als Ansatz aufgeführt.

### 4.2.2 Abstimmung: Beschreibung relevanter Ansätze

Die ausgewählten Ansätze zur Abstimmung werden mit Fokus auf ihre spezifischen Eigenschaften beschrieben. Der chronologische Aufbau ist den inhaltlichen Abhängigkeiten zwischen den Publikationen geschuldet. Die ersten Publikationen bilden die Grundlage für die Entwicklung aktuellerer Ansätze und werden von diesen aufgegriffen.

#### **GRAVES & WILLEMS 2005**

Das Modell zur Entscheidungsunterstützung fokussiert die Konfiguration eines Liefernetzwerks. In den betrachteten Phasen der Produktentwicklung ist die Produktarchitektur bereits definiert, und die Auswahl der Beschaffungsquellen, Herstellungsverfahren sowie Versandoptionen stellen die verbleibenden Gestaltungsparameter des Liefernetzwerks dar. Das Liefernetzwerk wird als Hierarchie mit mehreren Stufen dargestellt, welche jeweils spezifische Funktionen (Beschaffung, Montage oder Transport der Komponenten und Module) ausführen. Mit zahlreichen Optionen für die einzelnen Stufen wird in diesem Modell ein Optimierungsproblem formuliert, welches auf die Minimierung der Gesamtkosten abzielt.

Dieser Ansatz konfiguriert ein Liefernetzwerk auf Basis einer vordefinierten Produktarchitektur. Somit werden für die Produktarchitektur keine alternativen Lösungen berücksichtigt, und auch für das Liefernetzwerk beschreibt dieses Vorgehen eine Einschränkung. Das Modell ist auf die Anforderungen bei der finalen Auswahl von Beschaffungsquellen, Herstellungsverfahren und Versandoptionen ausgerichtet und setzt während der System- und Einzelteilentwicklung an. Der Ansatz erfordert Informationen zu Einzelkosten und Durchlaufzeiten, welche lediglich ab diesen Phasen der Produktentwicklung verfügbar sind.

#### **FAMUYIWA & MONPLAISIR 2007**

Im multikriteriellen Modell auf Basis von NEPAL ET AL. [2005] wird über drei Schritte eine optimale modulare Produktarchitektur unter Berücksichtigung von Zielvorgaben aus den Domänen Kunde, Produktion und Liefernetzwerk ausgeleitet. Dabei wird das Modell über Zielprogrammierung (engl. Goal Programming) formuliert und durch einen genetischen Algorithmus die optimale Produktarchitektur inklusive dem zugehörigen Liefernetzwerk ausgegeben. Im Zentrum steht die Untersuchung, welchen Einfluss Entscheidungen bezüglich der Ausprägung der Produktarchitektur (Modularisierung) auf die Ausgestaltung des Liefernetzwerks in der Konzeptentwicklung besitzen. Somit liefert diese Publikation einen grundlegenden Einblick zu wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk.

Die Abstimmung erfolgt unter der Annahme einer vollständig modularen Produktarchitektur und berücksichtigt nur Teile der potenziellen Lösungen. Bei der Ausleitung des Liefernetzwerks für die modulare Produktarchitektur wird von einer Einzelquellenbeschaffung ausgegangen, was wiederum die potenziellen Lösungen im Liefernetzwerk einschränkt. Die Anwendung des Modells in frühen Phasen der Entwicklung (Konzeptentwicklung) wird über die Nutzung von Fuzzylogik zur Überführung der verbalisierten Informationen in ein mathematisches Äquivalent ermöglicht.

**ELMARAGHY & MAHMOUDI 2008**

Das Modell bestimmt die optimale Modularisierung eines Produkts und die dazugehörige Alternative des Liefernetzwerks über eine dreistufige Entscheidungsunterstützung, welche Lieferanten, Produktionsstandort und Vertriebskanal berücksichtigt. Dabei werden neben der grundsätzlichen Beschaffungsentscheidung bei der Allokation der Beschaffungsgüter auch verschiedene Standorte der Lieferanten, Hersteller und des Vertriebszentrums auf monetärer Basis betrachtet. Mit dem Modell wird schließlich das Liefernetzwerk mit den geringsten Gesamtkosten für eine modulare Produktarchitektur über eine mathematische Optimierung ausgewählt.

Die Abstimmung wird über Kostenwerte der verschiedenen Alternativen beschrieben und einer mathematischen Optimierung zugeführt. Das Modell berücksichtigt Informationen eines operativen Liefernetzwerks wie Beschaffungs-, Produktions-, Lager- und Transportkosten, welche in frühen Phasen lediglich über Annahmen abzudecken sind. Für die Berechnung der Gesamtkosten des Liefernetzwerks werden hoch volatile Wechselkurse in die Berechnung einbezogen. Wechselkurse stellen bereits für sich ein starkes Risiko unternehmensübergreifender Zusammenarbeit dar [WHITEHEAD 2007]. Vor diesem Hintergrund wird die Abstimmung durch den erheblichen Einfluss von Wechselkursschwankungen in ihrem Ergebnis verwässert.

**CHIU ET AL. 2009**

Die Methode stellt auf die Integration von Entscheidungen bezüglich des Liefernetzwerks in die Entwicklung ab. Zudem fokussiert die Methode simultane Entscheidungen hinsichtlich Produktarchitektur und Liefernetzwerk, welche über einen Design-for-Assembly Index und einen Design-for-Supply-Chain-Index abgedeckt werden. In dem mehrstufigen Modell werden ausschließlich modulare Alternativen der Produktarchitektur berücksichtigt, da diese auf der Modularisierung eines gegebenen Produkts basieren.

Die Abstimmung mit dieser Methode ergänzt die Perspektive der Montage und orientiert sich somit an dem 3D-Concurrent Engineering nach FINE [1998, S. 127ff.]. Für die Ausgestaltung der Produktarchitektur beschränkt die Methode sich auf modulare Alternativen, welche über eine Komponentendatenbank ausgeleitet werden. Damit wird von der Methode nur ein Teil von potenziellen Alternativen der Produktarchitektur berücksichtigt. Die Leistungsfähigkeit einer Komponentendatenbank in frühen Phasen einer Neuproduktentwicklung ist in Frage zu stellen. Das inhärente Vorgehen der Methode impliziert zudem eine sequenzielle Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Bei der Bewertung des Liefernetzwerks greift die Methode teils auf Informationen eines operativen Liefernetzwerks zurück. Für einen Einsatz der Methode in frühen Phasen der Entwicklung ist die Nutzung von Annahmen somit unerlässlich.

**GOKHAN ET AL. 2010**

Das Vorgehen fokussiert sich auf die Optimierung von Entscheidungen hinsichtlich der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks während der Produktentwicklung. Dem simultanen Entwurf von Produktarchitektur und Liefernetzwerk wird dabei das größte Potenzial zur Erreichung der Zielgröße (Maximierung des Profits) beigemessen. Das Vorgehen bricht den vorherrschenden sequenziellen Charakter der Abstimmung auf und beschreibt ein simultanes Vorgehen (Design for Supply Chain). Die Autoren setzen dabei Alternativen für die Produktgestalt voraus, welche grundlegend für die Ausleitung eines Liefernetzwerks sind. Folglich formuliert

die Publikation ein Auswahlproblem für die Produktgestalt und für das Liefernetzwerk mit der Zielfunktion der Optimierung (Minimierung der Lebenszykluskosten).

Mit dem Vorgehen wird die Simultanität der Abstimmung hervorgehoben. Das Vorgehen setzt einzelne Alternativen für die Produktgestalt voraus und berücksichtigt folglich nicht den gesamten Lösungsraum für die Produktarchitektur. Zur Produktgestalt werden die Lieferanten zugeordnet und somit das Liefernetzwerk konstituiert. Dieses Vorgehen impliziert damit eine Sequenz bei der Ausleitung des Liefernetzwerks und schränkt die potenziellen Lösungen ein. Für das Vorgehen wird ein Optimierungsmodell verwendet, welches Kosteninformation eines operativen Liefernetzwerks voraussetzt. Diese Informationen sind in frühen Phasen der Entwicklung nicht verfügbar und lediglich über Annahmen abzudecken.

### **ÜLKÜ & SCHMIDT 2011**

Diese Publikation stellt grundlegende Empfehlungen für die Verknüpfung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk vor. Die Empfehlungen beschäftigen sich mit dem Grad der Modularität, der Verlagerung von Entwicklungstätigkeiten zu Lieferanten und der Beziehung zwischen diesen beiden Entscheidungen. Für die Abstimmung werden der Grad der Modularität, die Unternehmensstruktur und das partnerschaftliche Verhältnis mit den Lieferanten herangezogen. Die Publikation fasst drei wesentliche Treiber für den Grad der Modularität auf: Marktgröße, Kompetenzprofil und spezifische Eigenschaften des Lieferanten. Auf dieser Grundlage werden sechs Empfehlungen für die Abstimmung präsentiert: integrale Produktarchitekturen fördern Entwicklungskompetenzen, integrale Produktarchitekturen fördern die Verkaufszahlen, Outsourcing impliziert keine modulare Produktarchitektur, Modularität wird von Lieferanteneigenschaften bestimmt, Modularität wird von Qualität der Partnerschaft zu Lieferanten bestimmt, und Modularität ist ein Puffer im Produktionssystem.

Die Publikation stellt Empfehlungen hinsichtlich des Grads der Modularität, der Verlagerung von Entwicklungstätigkeiten zu Lieferanten und der Beziehung zwischen diesen beiden Entscheidungen dar. Diese können von Entscheidungsträgern genutzt werden, um die Ergebnisse der Abstimmung zu hinterfragen und rücken dabei im Unterschied zu den anderen Ansätzen die Beziehung zwischen dem Lieferanten und dem Originalteilhersteller ins Zentrum.

### **NEPAL ET AL. 2012<sup>34</sup>**

Dieses multikriterielle Optimierungsverfahren zur Abstimmung fußt auf drei Schritten. Ausgehend von der Entscheidung über die Modularität der Produktarchitektur, werden potenzielle Lieferanten für die Bildung einer optimalen Konfiguration des Liefernetzwerks ausgewählt. Die Auswahl wird von einem Kompatibilitätsindex unterstützt. Mit der Auswahl der Lieferanten wird im letzten Schritt die optimale Konfiguration des Liefernetzwerks mittels Zielprogrammierung (engl. Goal Programming) und eines genetischen Algorithmus identifiziert.

Dieses Verfahren greift für die Abstimmung auf sämtliche potenziellen Alternativen für die Produktarchitektur (integral bis modular) zurück, setzt jedoch weitreichende Informationen zu

---

<sup>34</sup> Die Autoren bauen auf die Publikationen von GRAVES & WILLEMS [2003] und GRAVES & WILLEMS [2005] auf und ziehen einen Vergleich mit den Ergebnissen aus diesen Publikationen.

den physischen Bestandteilen des Produkts in Form einer generischen Stückliste voraus. Deren Existenz ist in frühen Phasen der Entwicklung jedoch in Frage zu stellen. Durch die Sequenz aus Erstellung der Produktarchitektur und Ausleitung eines Liefernetzwerks finden potenzielle Alternativen für das Liefernetzwerk keinen Einzug in die Optimierung.

#### **BEHNCKE ET AL. 2014D<sup>35</sup>**

Das mehrstufige Verfahren stimmt Produktarchitektur und Liefernetzwerk über strukturelle Informationen ab. Diese Informationen sind bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung verfügbar [ULRICH & EPPINGER 2012, S. 99ff.]. Die Strukturinformationen zu Produktarchitektur und Liefernetzwerk werden über Domänen und deren Vernetzung in einer MDM abgebildet. Die MDM fungiert gleichzeitig als Systemmodell für die Abstimmung und enthält die vier Domänen Komponente, Modul, Lieferant und Systemlieferant. Mit dem Systemmodell ergibt sich ein vierstufiges Verfahren: (A) Informationsakquisition für das Systemmodell, (B.1) Bildung von potenziellen Alternativen der Produktarchitektur, (B.2) Bildung von potenziellen Alternativen des Liefernetzwerks, (C) Vergleich des Lösungsraumes der Alternativen über einen Konformitätsindex und (D) Auswahl einer passenden Alternativenkombination.

Für die Abstimmung nutzt der Ansatz ein mathematisches Optimierungsmodell, was im Gegensatz zu anderen Modellen strukturelle Informationen erfordert. Der Ansatz beschränkt sich bei der Konfiguration von Alternativen für Produktarchitektur und Liefernetzwerk auf exklusive (nicht-überlappende) Cluster. Somit wird nicht der gesamte Lösungsraum abgedeckt. Als Gütekriterium greift diese Publikation strukturelle Informationen auf und bemisst die Übereinstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk mittels Konformitätsindex.

#### **CHIU & OKUDAN 2011 und CHIU & OKUDAN 2014A UND CHIU & OKUDAN 2014B**

Die aufgeführten Publikationen nutzen die Methode von CHIU ET AL. [2009] als Grundlage und stellen eine Erweiterung dar, welche die simultane Optimierung von Entscheidungen in frühen Phasen der Produktentwicklung erlaubt. Produktarchitektur und Liefernetzwerk sind der Entscheidungsgegenstand. Neben den Produktfunktionen berücksichtigt die Methode die montagegerechte Produktgestaltung und das Liefernetzwerk. Im Gegensatz zu CHIU ET AL. [2009] werden Alternativen für die Produktarchitektur nicht hinsichtlich eines Design-For-Supply-Chain Index bewertet, sondern hinsichtlich der Auswirkungen der Lieferantenauswahl auf einzelne Komponenten. Ein gemischt-ganzzahliges Programm (engl. Mixed-Integer Programming) berücksichtigt die spezifischen Informationen der Lieferantenauswahl (Durchlaufzeit, Produktionskosten ...). Das Modell dient der Optimierung. Dabei werden aus der Zuordnung der Lieferanten zu Komponenten Konfigurationen für das Liefernetzwerk erstellt, welche sämtliche Komponenten des Produkts umfassen. Das Optimierungsmodell verwendet zwei Zielfunktionen: Minimierung der Gesamtkosten und Durchlaufzeit des Liefernetzwerks. Der nachfolgende Abschnitt fokussiert die individuellen Beiträge der Publikationen.

CHIU & OKUDAN [2014B] stellen einen Vergleich zwischen einer sequenziellen und simultanen Abstimmung dar. Die erste Phase bewertet Alternativen der Produktarchitektur hinsichtlich des

---

<sup>35</sup> Bei dieser Publikation handelt es sich um eine Vorveröffentlichung der vorliegenden Dissertation.

Design-for-Assembly Index und der Komponentenkosten. Die zweite Phase bezieht zusätzlich die Eigenschaften des Liefernetzwerks in die Optimierung mit ein. Abschließend werden die Ergebnisse mittels der Zielfunktion (Gesamtkosten und Durchlaufzeit des Liefernetzwerks) gegenübergestellt. Für die Sequenz der Abstimmung von Produktarchitektur liefern CHIU & OKUDAN [2014B] eine Gegenüberstellung, welche als Entscheidungsunterstützung oder als Hilfsmittel zur Kommunikation zwischen Entwicklungsteams dienen.

CHIU & OKUDAN [2011] untersuchen den Einfluss der Modularität auf die Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks. Die Modularität wird über die Anzahl der Module in einem Produkt beschrieben. In einer Fallstudie nutzen die Autoren verschiedene modulare Alternativen für die Produktarchitektur, um deren Einfluss auf die Zielfunktionen (Gesamtkosten und Durchlaufzeit) sowie den Design-for-Assembly Index zu untersuchen. Auf Basis der Ergebnisse aus dem bekannten Optimierungsmodell schließen die Autoren, dass ein höherer Grad der Modularität die zeitliche Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks (Durchlaufzeit) begünstigt, während ein geringerer Grad der Modularität zu geringeren Gesamtkosten führt. Ferner liefert die Publikation von CHIU & OKUDAN [2011] eine Gestaltungsempfehlung für die Modularität. Für eine bessere zeitliche Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks (Durchlaufzeit) raten die Autoren einen höheren Grad der Modularität an, während ein geringerer Grad die Gesamtkosten reduziert.

CHIU & OKUDAN [2014A] fokussieren sich auf die Gegenüberstellung von zwei Alternativen für die Gestalt des Liefernetzwerks (zentralisiert und dezentralisiert) hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit. Die Gegenüberstellung erfolgt mittels Bootstrap-Technik an einem Fallbeispiel. Die Ergebnisse legen nahe, dass ein dezentralisiertes Liefernetzwerk die zeitliche Leistungsfähigkeit (Durchlaufzeit) begünstigt, während ein zentralisiertes Liefernetzwerk in geringeren Gesamtkosten resultiert. In der Publikation von CHIU & OKUDAN [2014A] wird eine Gestaltungsempfehlung für die Gestalt des Liefernetzwerks (zentralisiert und dezentralisiert) getroffen. Zudem empfiehlt die Publikation für die Koordination einer modularen Produktarchitektur ein modulares Liefernetzwerk. Die Publikation stellt somit einen quantitativen Zusammenhang zwischen der strukturellen Übereinstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk und der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks hinsichtlich Kosten und Durchlaufzeit her.

Für die Abstimmung ergeben sich bei den drei Publikationen keine wesentlichen Unterschiede zu CHIU ET AL. [2009]. Neben der Beschränkung auf modulare Alternativen der Produktarchitektur ist auch die Leistungsfähigkeit einer Komponentendatenbank in frühen Phasen einer Neuproduktentwicklung weiterhin in Frage zu stellen. Hinsichtlich der Bewertung des Liefernetzwerks wird ferner auf Informationen eines operativen Liefernetzwerks zurückgegriffen.

### 4.2.3 Abstimmung: Gegenüberstellung relevanter Ansätze

Kapitel 4.2.2 stellt die Ansätze zur Abstimmung anhand von spezifischen Eigenschaften gegenüber, in welchen sich die wesentlichen Unterschiede zwischen den Ansätzen ergeben.

#### **Eigenschaften der Abstimmung**

Die sechs Eigenschaften umfassen Rahmenbedingungen der Abstimmung (erforderlicher Input und intendierter Output). Die weiteren Eigenschaften stellen auf die spezifische Umsetzung der

Abstimmung ab (einbezogene Domänen, verwendetes Gütekriterium, berücksichtigter Lösungsraum und spezifische Sequenz der Abstimmung).

**Input:** Die Art des Ansatzes (mathematische Modelle und Gestaltungsempfehlungen) konstituiert die erforderlichen Eingangsgrößen für die Abstimmung. Gestaltungsempfehlungen stellen auf die Unterstützung in frühen Entwicklungsphasen ab, bei denen zumeist keine Informationen eines operativen Liefernetzwerks zur Verfügung stehen. Diese Informationen umfassen beispielsweise Durchlaufzeiten und Kosten für Komponenten bei Fremdbezug durch einen Lieferanten und werden von mathematischen Modellen vorausgesetzt. Für die Anwendung von mathematischen Modellen in frühen Phasen wird daher auf Annahmen zurückgegriffen.

**Output:** Die Ausgangsgrößen werden durch die Art des Ansatzes konstituiert, welche mathematische Modelle und Gestaltungsempfehlungen umfassen. Bei den mathematischen Modellen steht eine Optimierung mittels spezifischer Zielfunktionen im Vordergrund, um eine ideale Übereinstimmung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk zu erreichen. Gestaltungsempfehlungen stellen hingegen grundsätzliche Vorschläge für die Abstimmung bereit.

**Domänen:** Die Domänen sind in Kapitel 4.1.3 beschrieben und werden hier nur kurz aufgegriffen. Sämtliche Ansätze nutzen die beiden Domänen (Produktarchitektur und Liefernetzwerk). Dabei berücksichtigt der eine Teil der Ansätze ausschließlich diese beiden Domänen, während der andere Teil eine weitere Domäne berücksichtigt. Unter der Domäne Produktion fassen diese Ansätze die Fertigung und Montage zusammen.

**Sequenz:** Die Sequenz stellt auf die Reihenfolge der Abstimmung ab. Dabei sind drei Ausprägungen möglich. Die Abstimmung kann simultan oder sequenziell erfolgen, wobei bei der sequenziellen Ausprägung noch die Reihenfolge von Produktarchitektur und Liefernetzwerk zu unterscheiden ist. Keiner der beschriebenen Ansätze nutzt das Liefernetzwerk als Taktgeber der Abstimmung. In der Folge wird bei der Sequenz zwischen der simultanen und der sequenziellen Abstimmung mit der Produktarchitektur als Taktgeber unterschieden.

**Gütekriterium:** Bei den beschriebenen Ansätzen lassen sich drei grundsätzliche Ausprägungen beobachten. Die erste beschreibt ein Gütekriterium auf Basis der Leistungscharakteristik des Liefernetzwerks (Kosten und Durchlaufzeit), welche nur unmittelbar auf die Abstimmung abstellt. Die zweite Ausprägung beschreibt die Berücksichtigung der Übereinstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk ohne weitere Leistungsgrößen. Die dritte nutzt Kenngrößen für die Übereinstimmung.

**Lösungsraum:** Die letzte Eigenschaft beschreibt den Umfang des Lösungsraums und somit die Anzahl der Alternativen für Produktarchitektur und Liefernetzwerk, welche abgeglichen werden. Es ergeben sich drei Ausprägungen. Die erste berücksichtigt den gesamten Lösungsraum, während bei der zweiten nur eine einzelne Lösung betrachtet wird. Die dritte Ausprägung nutzt mehrere Alternativen für die Produktarchitektur und das Liefernetzwerk, ohne jedoch den gesamten Lösungsraum zu berücksichtigen.

### **Gegenüberstellung der Ansätze zur Abstimmung**

In Tabelle 4-2 werden die beschriebenen Ansätze (Kapitel 4.2.2) entsprechend ihrer charakteristischen Eigenschaften einander gegenübergestellt. Abschließend wird diese Gegenüberstellung diskutiert und der handlungsleitende Forschungsbedarf für die Abstimmung ermittelt.

Tabelle 4-2: Gegenüberstellung der Ansätze zur Abstimmung

Ansätze aus der Fachliteratur in chronologischer Reihenfolge	Eigenschaften der Abstimmung					
	Input	Output	Domänen	Sequenz	Gütekri- terium	Lösungs- raum
GRAVES & WILLEMS 2005	○	●	●	○	○	○
FAMUYIWA & MONPLAISIR 2007	○	●	●	○	○	○
ELMARAGHY & MAHMOUDI 2008	○	●	●	○	○	○
CHIU ET AL. 2009	○	●	○	○	⊙	○
GÖKHAN 2007	○	●	●	●	○	○
ÜLKÜ & SCHMIDT 2011	○	○	●	○	○	○
NEPAL ET AL. 2012	○	●	●	○	⊙	○
BEHNCKE ET AL. 2014D	●	●	●	●	●	○
CHIU & OKUDAN 2011	○	○	○	○	⊙	○
CHIU & OKUDAN 2014A	○	○	○	○	⊙	○
CHIU & OKUDAN 2014B	○	○	○	●	⊙	○
<p><u>Legende:</u>            Ansatz erfordert operative Informationen (○)            oder keine operativen Informationen (●).</p> <p>Ansatz liefert Gestaltungsempfehlungen (○) oder eine ideale Lösungsalternative über ein Optimierungsmodell (●).</p> <p>Abstimmung nutzt die Domänen Produktarchitektur und Liefernetzwerk (●) oder zusätzlich die Produktion als eine weitere Domäne (○).</p> <p>Abstimmung erfolgt in simultaner Reihenfolge (●), in einer Sequenz mit der Produktarchitektur als Taktgeber (○) oder dem Liefernetzwerk als Taktgeber (⊙).</p> <p>Abstimmung erfolgt über die Übereinstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk (●), Leistungscharakteristik des Liefernetzwerks (○) oder einer Kombination aus beiden (⊙).</p> <p>Abstimmung untersucht den gesamten Lösungsraum von Alternativen für die Produktarchitektur und das Liefernetzwerk (●), einen Teil des Lösungsraums (○) oder einzelne Lösungen (⊙).</p>						

Die Eigenschaften (Input und Output) werden über die Art des Ansatzes konstituiert. Unter den beschriebenen Ansätzen finden sich überwiegend mathematische Optimierungsmodelle. Diese bieten dem Anwender eine umfangreiche Entscheidungsunterstützung und können zudem als Sensitivitätsanalyse für Entscheidungen in der Entwicklung herangezogen werden [CHIU &

OKUDAN 2014B]. Die Optimierungsmodelle greifen auf Informationen eines operativen Liefernetzwerks zurück und schränken deren Anwendung in frühen Phasen der Entwicklung merklich ein. Lediglich der Ansatz von BEHNCKE ET AL. [2014D] setzt keine Informationen eines operativen Liefernetzwerks voraus und nutzt Strukturinformationen. Publikationen, die Gestaltungsempfehlungen vorstellen, greifen ebenfalls auf Informationen eines operativen Liefernetzwerks zurück, obschon diese den Anwendern nur grundsätzliche Empfehlungen bereitstellen.

Die beschriebenen Ansätze nutzen stets die Domänen der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks, wenngleich vier Publikationen zudem die Produktion berücksichtigen. Diese Domäne stellt somit eine Ergänzung für die Abstimmung dar. Bei der Sequenz unterstreichen CHIU & OKUDAN [2014B] die Bedeutung der Simultanität, welche lediglich von BEHNCKE ET AL. [2014 D] und GÖKHAN [2007] erfüllt wird. Bei einer sequenziellen Abstimmung erfolgt stets eine Priorisierung zugunsten der Produktarchitektur und stellt insofern eine ausgewogene Abstimmung in Frage. Bei fünf Ansätzen fußt die Abstimmung auf der Kombination des Gütekriteriums auf der Übereinstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk sowie der Leistungscharakteristik des Liefernetzwerks. Letzteres wird von den übrigen Ansätzen verwendet und erfordert Informationen eines operativen Liefernetzwerks. Lediglich der Ansatz von BEHNCKE ET AL. [2014 D] greift auf das Gütekriterium der Übereinstimmung unter Verwendung von Strukturinformationen zurück. Dieses Gütekriterium wird von GAN & GRUNOW [2013] explizit für die Abstimmung in frühen Phasen der Entwicklung genannt. Der Lösungsraum bei der Abstimmung wird von keinem der beschriebenen Ansätze umfassend berücksichtigt und stellt ein wesentliches Defizit bestehender Ansätze dar.

### **Schlussfolgerung zur Abstimmung**

Die beschriebenen Ansätze decken verschiedene Facetten der Abstimmung ab und werden in den organisatorischen Rahmen der beschaffungsgerechten Produktentwicklung eingebettet.

Gestaltungsempfehlungen setzen grundlegende Standards und stellen einen Überblick über handlungsleitende Richtlinien dar. Diese besitzen einen strategischen Charakter und können ihr Potenzial bereits in der Produktplanung abrufen. Mathematische Optimierungsmodelle versprechen ideale Lösungen für die Abstimmung unter definierten Randbedingungen. In frühen Phasen der Entwicklung stehen die erforderlichen Informationen für diese Modelle nicht zur Verfügung und stellen eine zielführende Anwendung erst ab der Einzelteilentwicklung in Aussicht. Durch die Verwendung von Strukturinformationen kann zwischen der Produktplanung und der Einzelteilentwicklung eine Abstimmung forciert werden. Für diese frühe Phase bietet lediglich BEHNCKE ET AL. [2014 D] einen Ansatz, welcher die umfassende Unterstützung einer mathematischen Optimierung unter den Randbedingungen begrenzter Informationen erlaubt.

Der Ansatz von BEHNCKE ET AL. [2014 D] untersucht einen begrenzten Lösungsraum und ist vitales Sinnbild für den Forschungsbedarf bei der Abstimmung. Dieser ergibt sich in einer erschöpfenden Untersuchung des Lösungsraums, welche den Anforderungen des umfassenden Optimierungsproblems gerecht wird. Die Abstimmung zielt auf die Kompromissbildung im Spannungsfeld von Produktarchitektur und Liefernetzwerk ab, welche für die Identifikation von idealen Lösungen keiner Einschränkung unterworfen sein sollte. Quelle der Einschränkung ist die sequenzielle Reihenfolge bei der Abstimmung, welche durch die Forderung nach Simultanität CHIU & OKUDAN [2014B] und GAN & GRUNOW [2013] abgedeckt wird.

### 4.3 Clusterverfahren für Matrixmethoden

Die Abstimmung findet über Strukturattribute in beiden Domänen statt. Bei der Produktarchitektur werden Komponenten zu Modulen zusammengefasst, während im Liefernetzwerk Komponenten- zu Modullieferanten zugeordnet werden. Methodisch beschreibt die Abstimmung eine Gruppenbildung, welche die Fachliteratur als Clusterverfahren bezeichnet.

Für die Modellierung der beiden Domänen in frühen Entwicklungsphasen empfehlen sich Matrixmethoden. Bei der Produktarchitektur wird auf matrixbasierte Methoden zurückgegriffen, während beim Liefernetzwerk Strukturmodelle zum Einsatz kommen. Folglich fokussiert sich der Stand der Forschung und Technik auf Clusterverfahren für Matrixmethoden.

Mit dieser Basis wird die Auswahl von Clusterverfahren beschrieben, bevor relevante Verfahren vorgestellt und abschließend über spezifische Eigenschaften gegenübergestellt werden.

#### 4.3.1 Clusterverfahren: Auswahl relevanter Ansätze

Die Auswahl (Kapitel 4.3.2) ist Ergebnis einer Literaturstudie zu Clusterverfahren, welche sich aus einer initialen thematischen Recherche und einer publikationsbasierten Recherche ergeben.

In der thematischen Recherche werden sowohl im Forschungsfeld zu Matrixmethoden als auch im Bereich der mathematischen Optimierung Clusterverfahren erhoben, um ein breites Spektrum an potenziellen Verfahren zu untersuchen. Die initiale Recherche im Forschungsfeld zu Matrixmethoden umfasst eine stichwortbasierte Suche in den Tagungsberichten der internationalen „Dependency and Structure Modelling Conference“ (1999 bis 2014)<sup>36</sup>. Im Bereich der mathematischen Optimierung wird eine thematische Suche zu Clusterverfahren in der gängigen Standardliteratur durchgeführt. Dabei sind die umfassenden Buchbeiträge von HARTIGAN [1975], EVERITT ET AL. [2011] und BACKHAUS ET AL. [2011] hervorzuheben. Als Kriterien für die Berücksichtigung der Verfahren in der initialen Literaturrecherche ist zum einen die Kompatibilität mit Matrix- und Graphenmethoden und zum anderen die Berücksichtigung von überlappenden Clustern aufzuführen. Aus der Anwendung in der industriellen Praxis sind keine rein exklusiven Cluster vorauszusetzen, weshalb diese Verfahren unberücksichtigt blieben. Zudem wurde bei der initialen Literaturrecherche Wert auf die Beschreibung eines konkreten Verfahrens gelegt. Publikationen zu grundlegenden Handlungsempfehlungen oder ohne Beschreibung eines konkreten Verfahrens fanden bei der Literaturstudie keine Berücksichtigung.

Die publikationsbasierte Recherche erweitert die resultierenden Publikationen zu Clusterverfahren aus der initialen Suche um eine Vorwärts- und Rückwärtssuche. Für die Rückwärtssuche wird das Quellenverzeichnis der initialen Publikationen herangezogen, während bei der Vorwärtssuche Referenzen auf die initialen Publikationen berücksichtigt werden. Die Vorwärts- und Rückwärtssuche haben weitere Clusterverfahren aus Journalbeiträgen ergeben, welche bei der initialen Recherche keine Berücksichtigung fanden. Die Auswahl der Suchergebnisse in der publikationsbasierten Recherche erfolgt ebenfalls hinsichtlich der Kompatibilität mit Matrixmethoden und der Berücksichtigung von überlappenden Clustern.

---

<sup>36</sup> Die Konferenz ist Vehikel für den Austausch zum Thema Modellierung von Strukturen über Matrixmethoden.

Als Ergebnis der thematischen und publikationsbasierten Recherche, ergeben sich acht relevante Clusterverfahren, die Kapitel 4.3.2 beschreibt. Tabelle 10-19 gibt als Zusatz zu diesen Verfahren einen Überblick über kommerzielle Softwareprogramme für das Clustering. Da keine weiteren Informationen zu dem spezifischen Clusterverfahren dieser Programme verfügbar sind, werden diese nicht in die Auswahl aufgenommen.

### 4.3.2 Clusterverfahren: Beschreibung relevanter Ansätze

Die ausgewählten Clusterverfahren werden hinsichtlich ihrer Eigenschaften beschrieben. Es gilt eine Beschränkung auf die Darstellung automatisierter Verfahren, manuelle Clusterverfahren werden nicht berücksichtigt [SHARMAN ET AL. 2002, S. 6]. Manuelle Verfahren clustern lediglich Systeme mit bis zu 40 Elementen [BRADY 2002], während Softwarelösungen bei bis zu 10.000 Elementen Anwendung finden [RUSHTON ET AL. 2002]. HELMER ET AL. [2010] zeigt das Potenzial einer manuellen Nachbearbeitung der Clusterergebnisse automatisierter Verfahren auf, welches aus dem Umstand erwächst, dass Zielfunktionen nicht sämtliche Aspekte des Clusterproblems aufgreifen [BEHNCKE ET AL. 2014C].

#### **Hierarchisches Verfahren nach GUTIERREZ FERNANDEZ 1998**

Das Clusterverfahren zielt auf die Abstimmung von Produktarchitektur und Organisationsstruktur ab und optimiert die Zusammensetzung der Teams über eine Integrationsanalyse der Produktarchitektur hinsichtlich der gesamten Koordinationskosten. Es werden die Frequenz (1) und der Umfang (2) von formaler Abstimmung zwischen Teams sowie die Anzahl (3), Größe (4) und Überlappung (5) dieser Teams von dem Clusterverfahren berücksichtigt. Das Verfahren wählt zunächst ein Cluster aus und berechnet die gesamten Koordinationskosten über ein Malsystem der fünf aufgeführten Kriterien. Durch „Simulated Annealing“ wird die Wahrscheinlichkeit zur Identifikation optimaler Lösungen gesteigert. Bereiche des Lösungsraums, welche keine optimalen Lösungen versprechen, finden keine Berücksichtigung. GUTIERREZ FERNANDEZ [1998] stellt eine spezifische Ausprägung eines hierarchischen Verfahrens vor, welches die Zielfunktion (gesamte Koordinationskosten) für die einzelnen Lösungsalternativen berechnet. Damit stellt das Gütekriterium auf ein indirektes Kriterium ab. Die Lösungsalternativen werden weder agglomerativ noch divisiv gebildet, sondern frei aus dem Lösungsraum ausgewählt. Über „Simulated Annealing“ wird zwar die Wahrscheinlichkeit zur Identifikation optimaler Lösungen gesteigert, bestätigt im Umkehrschluss jedoch, dass dieses Clusterverfahren nicht den gesamten Lösungsraum untersucht. Das Verfahren wurde für die Abstimmung mittels DSMs entwickelt und ist somit mit Matrixmethoden kompatibel.

#### **Hierarchisches Verfahren nach THEBEAU 2001**

Grundlage für dieses Verfahren<sup>37</sup> bietet der Ansatz von GUTIERREZ FERNANDEZ [1998]. Dieses wurde auf das Wissensmanagement von Schnittstellen und Interaktionen im Entwicklungspro-

---

<sup>37</sup> Auf der folgenden Internetseite (<http://www.dsmweb.org/en/dsm-tools/research-tools/matlab.html>) wird das Clusterverfahren von THEBEAU [2001] als MATLAB Macro zum freien Download angeboten.

zess übertragen und damit substanzielle Änderungen an dem ursprünglichen Verfahren durchgeführt. Diese umfassen die Problematik, dass das ursprüngliche Verfahren keine optimalen Lösungen und teils keine eindeutige Zuordnung von Elementen zu einem Cluster (überlappende Cluster) ausgibt. Die Problematik wurde durch einen zusätzlichen Malus für überlappende Clusteralternativen und die Speicherung der Lösungshistorie begegnet. Mit diesen Änderungen werden zum einen die beste Lösung aus der Historie ausgegeben und zum anderen überlappende Clusteralternativen mit Zusatzkosten belegt.

Das Verfahren stellt analog zu dem Ansatz von GUTIERREZ FERNANDEZ [1998] auf die Optimierung der Zielfunktion (gesamte Koordinationskosten) ab, welche über ein indirektes Kriterium berechnet wird. Ferner handelt es sich um ein hierarchisches Verfahren, welches analog zum Ansatz von GUTIERREZ FERNANDEZ [1998] nicht den gesamten Lösungsraum untersucht. In den Änderungen von THEBEAU [2001] werden überlappende Clusteralternativen explizit ausgeschlossen. Mit der Adaption des Verfahrens für das Wissensmanagement mittels DSMs ist das Verfahren kompatibel mit Matrixmethoden.

### **Hierarchisch-agglomeratives Verfahren nach YU ET AL. 2007**

Die Publikation stellt auf die Modularisierung von Produktarchitekturen ab und baut auf dem grundlegenden Verfahren nach YU ET AL. [2003] auf. Das Verfahren adressiert zwei wesentliche Herausforderungen für das Clustering in DSMs, welche die Pfadabhängigkeit<sup>38</sup> und die Dimensionen<sup>39</sup> beschreiben. Für die Suche nach Lösungsalternativen nutzen YU ET AL. [2007] einen genetischen Algorithmus, welcher die Identifikation von optimalen Lösungen bei geringer Rechenzeiten verspricht. Überlappende Cluster werden bei diesem Verfahren nicht ausgeschlossen, obgleich nicht zwangsläufig der gesamte Lösungsraum untersucht wird.

Bei dem Verfahren handelt es sich um ein hierarchisch-agglomeratives Verfahren, welches als Gütekriterium für das Clustering das indirekte Kriterium der Länge der Beschreibung des Modells (engl. „minimal description length principle“) heranzieht. Durch die Nutzung eines genetischen Algorithmus für das Sucherverfahren von Clusteralternativen wird die Effizienz des Verfahrens fokussiert und auf die Untersuchung des gesamten Lösungsraums verzichtet, obschon die Pfadabhängigkeit und Einschränkungen durch die Dimensionen von Matrizen überkommen werden. Das Verfahren ist auf die Modularisierung mittels Matrixmethoden ausgelegt und somit kompatibel mit dieser spezifischen Form der Modellierung.

### **Clumping-Verfahren nach EVERITT ET AL. 2011**

Mit dem Verfahren wird das System grundsätzlich in zwei Gruppen aufgeteilt und hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit und des Zusammenhangs zwischen den beiden Gruppen bewertet. Als Gütekriterium wird von dem Verfahren die Minimierung der folgenden Funktion genutzt:

$$C = \frac{S_{AB}}{S_{AA}S_{BB}} \quad \text{Formel 4-1}$$

<sup>38</sup> Sie besagt, dass das Clusterergebnis von der Reihenfolge der Elemente in der Ausgangsmatrix abhängt.

<sup>39</sup> Diese beschreiben die beschränkte Darstellung von Clustern in Matrizen (lediglich zwei Dimensionen).

$S_{AB}$  bezeichnet die Summe der Ähnlichkeiten zwischen den Elementen in beiden Gruppen, während  $S_{AA}$  und  $S_{BB}$  entsprechend die Summe der Ähnlichkeiten der Elemente innerhalb der Gruppen A und B beschreiben. Nach der initialen Aufteilung der Gruppen wird die Funktion C berechnet. Anschließend verschiebt das Verfahren die Elemente von A nach B (und umgekehrt), bis keine Verbesserung von C durch die Permutation mehr zu realisieren ist. Für diese Lösungsalternative nimmt C folglich einen minimalen Wert an.

Bei diesem Verfahren wird ein direktes Gütekriterium C für die Bewertung der Clusterqualität genutzt. Zudem ist es durch die systematische Allokation der Elemente zu den Gruppen einem hierarchisch-agglomerativen Verfahren ähnlich. Die optimale Gruppenaufteilung hängt jedoch stark von der initialen Aufteilung der Elemente in den Gruppen ab, weshalb im Umkehrschluss eine Untersuchung des gesamten Lösungsraums durch dieses Verfahren nicht geleistet wird. Für die Bewertung der Übereinstimmung von Elementen innerhalb einer Gruppe (Ähnlichkeit) werden Elementeigenschaften und Relationen herangezogen. Bei Elementeigenschaften ist jedoch die Kompatibilität dieses Verfahrens mit Matrixmethoden in Frage zu stellen, während bei relationaler Übereinstimmung der Elemente die Kompatibilität gegeben ist.

### **Additive Clustering-Verfahren nach EVERITT ET AL. 2011**

Dieses Verfahren nutzt die Distanz zwischen Elementen für die Zuordnung zu Clustern. Für die Berechnung der Distanz werden Ähnlichkeitswerte herangezogen, welche sich aus der gewichteten Summe der gemeinsamen Eigenschaften der Elemente ergeben. Für die Bestimmung der Cluster wird zunächst ein Ähnlichkeitswert für die Eigenschaften eines Elements bestimmt.

Die Distanz ergibt sich dabei allgemein als Länge der indirekten Abhängigkeit zwischen Elementpaarungen. Über die Gewichtung kann einzelnen Elementen eine individuelle Bedeutung beigemessen werden. Mit den Werten in der Ähnlichkeitsmatrix werden die Elemente mit gleicher (oder ähnlicher) Distanz einem Cluster zugeordnet.

Dieses Verfahren ermittelt überlappende Cluster mit einem indirekten Gütekriterium. Die Nutzung der Distanzmatrix lässt darauf schließen, dass lediglich Strukturinformationen herangezogen werden, die Berechnung der Ähnlichkeitsmatrix stellt jedoch auf die Übereinstimmung von Elementeigenschaften ab. Das Verfahren modelliert diese Eigenschaften nicht als Strukturinformationen. Zudem werden durch die individuelle Gewichtung die Distanzen zwischen Elementpaarungen manipuliert. Das Verfahren nutzt eine Distanzmatrix für die Clusterbildung, was die Kompatibilität mit Matrixmethoden unterstreicht. Es berücksichtigt überlappende Cluster und untersucht prinzipiell den gesamten Lösungsraum. Bei der Zuordnung der Elemente herrscht jedoch keine einheitliche Basis für eine Gegenüberstellung der Clusteralternativen.

### **Pyramids-Verfahren nach EVERITT ET AL. 2011**

Beim Pyramids-Verfahren erfolgt die Bildung von Clustern mittels eines vergleichbaren Algorithmus wie bei hierarchisch-agglomerativen Verfahren und wird lediglich hinsichtlich der Berücksichtigung von überlappenden Clustern erweitert. Obschon dieses Verfahren überlappende Clusteralternativen berücksichtigt, wird nicht der gesamte Lösungsraum untersucht. Dies ist auf den Algorithmus zurückzuführen, welcher dem Verfahren zugrunde liegt. Die Bestimmung der Qualität des Clusterings über das Gütekriterium bleibt ebenso wie die Kompatibilität für

Matrixmethoden von dieser Erweiterung unberührt. Daher wird auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet und auf die Ausführungen zum Verfahren in YU ET AL. [2007] verwiesen.

### **Hierarchisches Verfahren nach BORJESSON & DARTMOUTH 2012**

Das Verfahren ergänzt die hierarchischen Verfahren nach GUTIERREZ FERNANDEZ [1998] und THEBEAU [2001] und zielt lediglich auf die Optimierung der Rechenzeiten ab. Die Qualität des Clusterings bleibt davon unberührt, weshalb auf eine Beschreibung verzichtet wird.

### **Optimierungsverfahren nach BEHNCKE ET AL. 2014C**

Das Verfahren stellt auf die Ableitung des gesamten Lösungsraums für exklusive Clusteralternativen ab. Bei exklusiven Clustern besteht keine Überlappung, sodass jedes Element genau einem Cluster zugeordnet wird. Im Verfahren werden zunächst die Alternativen über Kombinatorik gebildet und mittels der Stirling-Zahl der zweiten Art einer analytischen Absicherung unterzogen. Dieser Schritt ist lediglich von der Anzahl der Systemelemente abhängig, die Abhängigkeiten werden erst im zweiten Schritt berücksichtigt. Der zweite Schritt bewertet die Alternativen hinsichtlich der Zielfunktion (System- und Clusterperspektive). Abschließend stellt das Verfahren sämtliche Clusteralternativen in einem normierten Diagramm gegenüber.

Dieses Verfahren untersucht den Lösungsraum an exklusiven Clustern. Überlappende Clusteralternativen werden nicht berücksichtigt, weshalb dieses Verfahren auch nur einen Teil des Lösungsraums analysiert. Das Verfahren nutzt für die Generierung des Lösungsraums die Kombinatorik in Verbindung mit der analytischen Berechnung potenzieller Clusteralternativen zur Absicherung. Damit beschreibt das Verfahren grundsätzlich ein Optimierungsverfahren, welches sich als Gütekriterium zweier direkter Gütekriterien bedient. Die beiden greifen ausschließlich auf Strukturinformationen zurück. Das Verfahren ist ferner für die Anwendung auf DSMs ausgerichtet und mit matrixbasierten Methoden.

### **4.3.3 Clusterverfahren: Gegenüberstellung relevanter Ansätze**

Für die Gegenüberstellung der beschriebenen Clusterverfahren werden die charakteristischen Eigenschaften beschrieben. Tabelle 4-3 stellt die Verfahren einander gegenüber.

#### **Eigenschaften der Clusterverfahren**

Für Clusterverfahren ergeben sich drei wesentliche Eigenschaften, welche zum einen die grundlegende Kompatibilität des Verfahrens mit Matrixmethoden umfasst. Zum anderen sind das verwendete Gütekriterium und der untersuchte Lösungsraum der Verfahren anzuführen.

**Kompatibilität:** Eine Eigenschaft ist die Kompatibilität mit Matrixmethoden, welche sich aus der Modellierung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk ergibt. Graphen sind verlustfrei in Matrizen zu überführen, weshalb auch ihnen Kompatibilität attestiert wird.

**Gütekriterium:** Es lassen sich zwei Arten von Gütekriterien beobachten. Direkte Gütekriterien bestimmen die Qualität des Clusterings unmittelbar und greifen nur auf Strukturinformationen zurück. Indirekte Gütekriterien nutzen abgeleitete Hilfsgrößen (beispielsweise Kosten).

**Lösungsraum:** Die Verfahren untersuchen entweder den gesamten oder nur Teile des Lösungsraums. Letztere vernachlässigen oftmals überlappende Cluster. Die Untersuchung des gesamten Lösungsraums beugt schließlich einer Beeinträchtigung der Abstimmung vor.

### Gegenüberstellung der Clusterverfahren

Tabelle 4-3 stellt die beschriebenen Clusterverfahren hinsichtlich ihrer charakteristischen Eigenschaften einander gegenüber und ermittelt den handlungsleitenden Forschungsbedarf.

**Tabelle 4-3: Gegenüberstellung von Clusterverfahren für Matrixmethoden**

Verfahren aus der Fachliteratur in chronologischer Reihenfolge	Eigenschaften der Clusterverfahren		
	Kompatibilität	Gütekriterium	Lösungsraum
Hierarchisches Verfahren nach GUTIERREZ FERNANDEZ 1998	●	○	○
Hierarchisches Verfahren nach THEBEAU 2001	●	○	○
Hierarchisch-agglomeratives Ver- fahren nach YU ET AL. 2007	●	○	○
Hierarchisches Verfahren nach BORJESSON & DARTMOUTH 2012	●	○	○
Optimierungsverfahren nach BEHNCKE ET AL. 2014C	●	●	○
Clumping-Verfahren nach EVERITT ET AL. 2011	●	●	○
Additive Clustering-Verfahren nach EVERITT ET AL. 2011	●	○	●
Pyramids-Verfahren nach EVERITT ET AL. 2011	●	○	○
<u>Legende:</u>			
Verfahren ist kompatibel (●) oder nicht kompatibel (○) mit der Darstellungsform von Matrizen.			
Verfahren nutzt ein direktes (●) oder ein indirektes Gütekriterium (○).			
Verfahren untersucht den gesamten (●) oder nur einen Teil des Lösungsraums an Clusteralternativen (○).			

Die folgende Diskussion zur der Gegenüberstellung von relevanten Clusterverfahren (Tabelle 4-3) orientiert sich an den charakteristischen Eigenschaften.

Die Eigenschaft der Kompatibilität mit Matrixmethoden wird von sämtlichen Clusterverfahren erfüllt. Für Verfahren aus dem Forschungsfeld zu Matrixmethoden ist dieses Ergebnis wenig überraschend, da diese auf eine Modellierung des Clusterproblems mit Matrizen zurückgreifen.

Ein Großteil der Verfahren nutzt ein indirektes Gütekriterium und greift auf Hilfsgrößen zurück, um die Qualität des Clusterings zu bemessen. Lediglich im Clumping-Verfahren nach EVERITT ET AL. [2011] und dem Optimierungsverfahren nach BEHNCKE ET AL. [2014C] wird ein direktes Gütekriterium verwendet und die Qualität des Clusterings aus unmittelbaren Größen abgeleitet. Diese Verfahren formulieren das Gütekriterium in der Regel als Zielfunktion für die Optimierung, welche zentraler Bestandteil der Clusterverfahren ist. Eine Übersicht über Zielfunktionen aus der Literaturstudie liefert Tabelle 10-20.

Eine Untersuchung des gesamten Lösungsraums an Clusteralternativen verspricht lediglich das Additive Clustering-Verfahren nach EVERITT ET AL. [2011]. Dieses Verfahren berücksichtigt im Gegensatz zu den übrigen Verfahren aus Tabelle 4-3 überlappende Cluster und stellt somit auf den gesamten Lösungsraum ab. Bei der Zuordnung der Elemente mit dem Additive Clustering herrscht jedoch keine einheitliche Basis für eine Gegenüberstellung der Clusteralternativen. Damit wird die Kompromissbildung im Rahmen der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk nur unzureichend unterstützt. Überlappende Cluster beeinträchtigen neben der Pfadabhängigkeit und den Dimensionen (2D bei Matrizen) den Lösungsraum. Beide Aspekte werden vom hierarchisch-agglomerativen Verfahren nach YU ET AL. [2007] und Optimierungsverfahren nach BEHNCKE ET AL. [2014C] erfolgreich überkommen.

### **Schlussfolgerung zu Clusterverfahren**

Die beschriebenen Clusterverfahren stellen auf die Unterstützung der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Entwicklung auf der Ebene von Strukturattributen ab und bedürfen folglich der Kompatibilität mit Matrixmethoden.

Die Kompatibilität mit Matrixmethoden wird von sämtlichen Verfahren erfüllt, während nur zwei Verfahren ein direktes Gütekriterium ausweisen. Die Anwendung eines indirekten Gütekriteriums erfordert die Überführung von unmittelbaren Strukturinformationen in Hilfsgrößen. Dafür sind Annahmen zu treffen, welche in frühen Phasen der Entwicklung mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind. Somit besteht die Gefahr, dass die Bemessung der Qualität des Clusterings über indirekte Gütekriterien durch Unsicherheiten in den Annahmen verwässert wird. Folglich bieten sich als Basis für ein Clusterverfahren im Rahmen der vorliegenden Dissertation das Clumping-Verfahren nach EVERITT ET AL. [2011] und das Optimierungsverfahren nach BEHNCKE ET AL. [2014C] hinsichtlich des Gütekriteriums an.

Keines der vorgestellten Verfahren verspricht eine Untersuchung des gesamten Lösungsraums, da das Additive Clustering aufgrund der unzureichenden Gegenüberstellung von Clusteralternativen auszuschließen ist. Das hierarchisch-agglomerativen Verfahren nach YU ET AL. [2007] und das Optimierungsverfahren nach BEHNCKE ET AL. [2014C] überkommen zwar erfolgreich die Pfadabhängigkeit und den Einfluss der begrenzten Dimensionen auf das Clusterproblem, beschränken sich jedoch auf die exklusiven Cluster. Diese beiden Verfahren sind damit vitales Sinnbild für den Forschungsbedarf bei den Clusterverfahren für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Dieser Bedarf ergibt sich in der erschöpfenden Untersuchung des Lösungsraums von Clusteralternativen.

## 4.4 Implikationen aus dem Stand der Forschung und Technik

Der Stand der Forschung und Technik zu Gestaltungsrichtlinien (Kapitel 4.1), Ansätzen zur Abstimmung (Kapitel 4.2) und Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 4.3) zeigt die Facetten der vorliegenden Dissertation und weist den weiteren Forschungsbedarf aus.

Die Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung beschreiben die organisatorische Einbettung der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Aus der Gegenüberstellung der Richtlinien ergibt sich der wesentliche Forschungsbedarf in einer umfassenden Gestaltungsrichtlinie, welche neben der organisatorischen Einbettung die beiden Domänen der Abstimmung (Produktarchitektur und Liefernetzwerk) adressiert. Für die Entwicklung einer solchen Gestaltungsrichtlinie ist das Rahmenwerk von PULKKINEN ET AL. [2012] und SIMATUPANG & SRIDHARAN [2008] handlungsleitend, während Tabelle 10-17 eine Zusammenfassung von konkreten Handlungsempfehlungen bereitstellt. Eine Verankerung dieser Empfehlungen im Entwicklungsprozess kann in Anlehnung an die Ausführungen von GROHER [2002] und PETERSEN ET AL. [2005] erfolgen.

Die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Entwicklung erfolgt über die Ebene struktureller Attribute aufgrund der Verfügbarkeit von Strukturinformationen in diesen Phasen. Gestaltungsempfehlungen setzen grundlegende Standards und stellen einen Überblick über handlungsleitende Richtlinien dar, welche ihr Potenzial bereits in der Produktplanung abrufen. Mathematische Optimierungsmodelle versprechen ideale Lösungen für die Abstimmung, erfordern jedoch Informationen, welche erst ab der Einzelteilentwicklung zur Verfügung stehen. Durch die Verwendung von Strukturinformationen kann zwischen Produktplanung und Einzelteilentwicklung eine Abstimmung auf Basis des Ansatzes von BEHNCKE ET AL. [2014C] forciert werden. Damit empfiehlt sich die Anwendung von Gestaltungsempfehlungen in der Produktplanung, um die Rahmenbedingungen der Abstimmung zu setzen. Diese erlauben in frühen Phasen über den Einsatz von Strukturinformationen eine vorausgehende Optimierung im Spannungsfeld von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Ergebnisse aus dieser Phase bilden die Grundlage für eine Optimierung ab der Einzelteilentwicklung unter Verwendung operativer Informationen der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks.

Die Clusterverfahren stellen auf die Unterstützung der Abstimmung auf der Ebene von Strukturattributen ab und bedürfen der Kompatibilität mit Matrixmethoden. Für die Bemessung der Qualität des Clusterings in diesen Phasen bietet sich kein indirektes Gütekriterium an, da dieses die Überführung von unmittelbaren Strukturinformationen in Hilfsgrößen erfordert. Folglich stellen das Clumping Verfahren nach EVERITT ET AL. [2011] und das Optimierungsverfahren nach BEHNCKE ET AL. [2014C] die Basis für ein direktes Gütekriterium dar. Die Ansätze von YU ET AL. [2007] und BEHNCKE ET AL. [2014C] überkommen erfolgreich die Pfadabhängigkeit und die Begrenzung durch die Dimensionen in Matrizen. Beide Verfahren beschränken sich jedoch auf exklusive Cluster und sind somit vitales Sinnbild für den Forschungsbedarf bei den Clusterverfahren. Dieser ergibt sich in der erschöpfenden Untersuchung des gesamten Lösungsraums von Clusteralternativen. Somit bietet sich das Optimierungsverfahren nach BEHNCKE ET AL. [2014C] als Basis für ein Clusterverfahren für die vorliegende Dissertation an, erfordert jedoch eine Erweiterung hinsichtlich der Untersuchung des gesamten Lösungsraums.

## 5. Problematik und Anforderungen

*In diesem Kapitel werden die Implikationen zu den theoretischen-, methodischen Grundlagen und zum Stand der Forschung und Technik aufgegriffen und der korrespondierende Forschungsbedarf ausgeleitet. Der Bedarf manifestiert sich in den drei Bereichen aus dem Stand der Forschung und Technik, welche sich in Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung, Ansätzen zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk sowie in Clusterverfahren für Matrixmethoden ergeben. Zunächst wird die handlungsleitende Problematik aufbereitet, während abschließend die Anforderungen für die drei resultierenden Bausteine des Lösungsansatzes dargestellt werden.*

### 5.1 Handlungsleitende Problematik für den Lösungsansatz

Die grundlegende Zielsetzung der vorliegenden Dissertation ergibt sich in der Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks von Originalteilherstellern durch die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen. Zu diesem Zweck soll ein Lösungsansatz entwickelt werden, welcher im Kern die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk fokussiert und in die Geschäftsprozesse der Unternehmung verankert. Aus den spezifischen Forderungen der Abstimmung an die methodischen Grundlagen zu Clusterverfahren resultiert ein weiterer Forschungsbedarf, welcher von der vorliegenden Dissertation adressiert wird. Die identifizierten Forschungsbedarfe aus den dargestellten Bereichen werden im Folgenden als handlungsleitende Problematik aufbereitet.

#### **Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung**

Die vorgestellten Gestaltungsrichtlinien (Kapitel 4.1) beschreiben die Beziehung zwischen Entwicklung und Beschaffung. Damit adressieren diese Richtlinien ein facettenreiches Feld an Handlungsempfehlungen der beschaffungsgerechten Produktentwicklung.

Mit dem Fokus auf der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk greift die vorliegende Dissertation lediglich eine Auswahl von Handlungsempfehlungen auf. In der Folge werden nicht sämtliche Facetten von Gestaltungsrichtlinien für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung behandelt, sondern lediglich Empfehlungen für die Abstimmung fokussiert. Diese Form der Unterstützung beschreibt einen Leitfaden, welcher Handlungsempfehlungen für typische Entscheidungen und eine Orientierung in einem spezifischen Forschungsgebiet bereitstellt. Folglich sind relevante Handlungsempfehlungen für die Abstimmung aus den Gestaltungsrichtlinien für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung in einem Leitfaden zusammenzufassen. Dieser soll die organisatorische Einbettung der Abstimmung und die Verankerung der Handlungsempfehlungen in die Geschäftsprozesse gewährleisten.

Die handlungsleitende Problematik für den Leitfaden, besteht in der Berücksichtigung der relevanten Aktivitäten aus Entwicklung und Beschaffung für die Abstimmung in frühen Phasen der Entwicklung. Zudem liefert die Fachliteratur keine umfassende Grundlage für die Verortung der konkreten Handlungsempfehlungen aus Tabelle 10-6 in die Entwicklungsphasen.

## **Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk**

Die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk wird in der Fachliteratur von einem breiten Spektrum an Ansätzen adressiert (Kapitel 4.2.2). Diese Ansätze reichen von der Definition grundlegender Standards (Gestaltungsempfehlungen) bis zur Berechnung einer idealen Lösung unter definierten Randbedingungen (Gestaltungsmethoden).

Mit dem Fokus der Abstimmung auf frühe Phasen der Entwicklung ist die Verfügbarkeit von Informationen zur konkreten Produktgestalt oder dem operativen Liefernetzwerk nicht vorauszusetzen. Die klassischen Optimierungsmodelle erfordern diese Informationen und sind somit für die Abstimmung im Rahmen der vorliegenden Dissertation auszuschließen, obgleich sie eine umfassende Unterstützung für den spezifischen Anwendungsfall bieten. Die Verwendung von Strukturinformationen erlaubt die umfassende Unterstützung einer mathematischen Optimierung unter den Randbedingungen begrenzter Informationen in frühen Entwicklungsphasen. BEHNCKE ET AL. [2014D] beschreibt diese Form der Unterstützung als Methodik zur Abstimmung, welche als initialer Ansatz zur Abstimmung dienen soll.

Die handlungsleitende Problematik für die Methodik zur Abstimmung ist von der begrenzten Verfügbarkeit von Informationen in frühen Phasen der Entwicklung geprägt. Zudem wird die Ausgestaltung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk durch Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern nicht umfassend adressiert, obgleich diese einen merklichen Einfluss auf die Abstimmung besitzen. Aus den vorgestellten Ansätzen zur Abstimmung, ergibt sich ferner der Lösungsraum als Handlungsfeld, da dieser durch die Sequenz, die betrachteten Domänen und das verwendete Verfahren für die Abstimmung merklich begrenzt wird.

## **Clusterverfahren für Matrixmethoden**

Die Ansätze zur Abstimmung stellen in ihrer Essenz auf die Bildung von Clustern ab. Mit diesen Clustern werden die Strukturattribute der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks konstituiert. Für die Modellierung wird bei der Produktarchitektur vornehmlich auf matrixbasierte Methoden zurückgegriffen, während beim Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen Strukturmodelle zum Einsatz kommen. Diese nutzen ebenfalls matrixbasierte Methoden.

Folglich werden Clusterverfahren für Matrixmethoden fokussiert. Kapitel 4.3.2 liefert eine Übersicht über verfügbare Verfahren in der Fachliteratur. Die handlungsleitende Problematik für Clusterverfahren im Rahmen der vorliegenden Dissertation ergibt sich in der Untersuchung des gesamten Lösungsraums, den alternative Szenarios für beide Domänen beschreiben. Die Abstimmung stellt auf die Kompromissbildung zwischen den Belangen der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks ab. Damit sind für die Abstimmung auch nicht-optimale Szenarios für Produktarchitektur oder Liefernetzwerk relevant, sofern sie gute Ergebnisse bei der Abstimmung aufweisen. Ferner stellt die Bemessung der Qualität der Abstimmung eine Herausforderung für die Clusterverfahren dar. Durch die begrenzte Verfügbarkeit von Informationen zur konkreten Produktgestalt oder dem operativen Liefernetzwerk in frühen Phasen der Produktentwicklung sind indirekte Gütekriterien für die Bemessung der Qualität auszuschließen. Die Ableitung weiterer Hilfsgrößen ist auf Annahmen angewiesen und kann somit die Abstimmungsergebnisse verwässern.

## 5.2 Handlungsleitende Anforderungen an den Lösungsansatz

Die Problematik in den dargestellten Bereichen wird folgend in die handlungsleitenden Anforderungen an den Lösungsansatz übersetzt und zeichnet die Struktur des Lösungsansatzes vor.

### Einordnung der Anforderungen an den Lösungsansatz

Für die Einordnung der Anforderungen an den Lösungsansatz ergeben sich analog zu der beschriebenen Problematik drei Bausteine: Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung, Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk und Clusterverfahren für Matrixmethoden. In Abbildung 5-1 werden den drei Bausteinen ihre spezifischen, durch allgemeine Anforderungen ergänzte Anforderungen zugeordnet. Für das Clusterverfahren ergeben sich drei Anforderungen (Gütekriterium, Lösungsraum und Kompatibilität). Diese Anforderungen werden von denen an die Methodik zur Abstimmung (Input, Output, Domänen, Sequenz, Gütekriterium und Lösungsraum) teils aufgegriffen. Für den Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung ergeben sich ebenfalls drei Anforderungen (Domänen, Einbettung und Konkretisierung), welche nachfolgend erläutert werden.

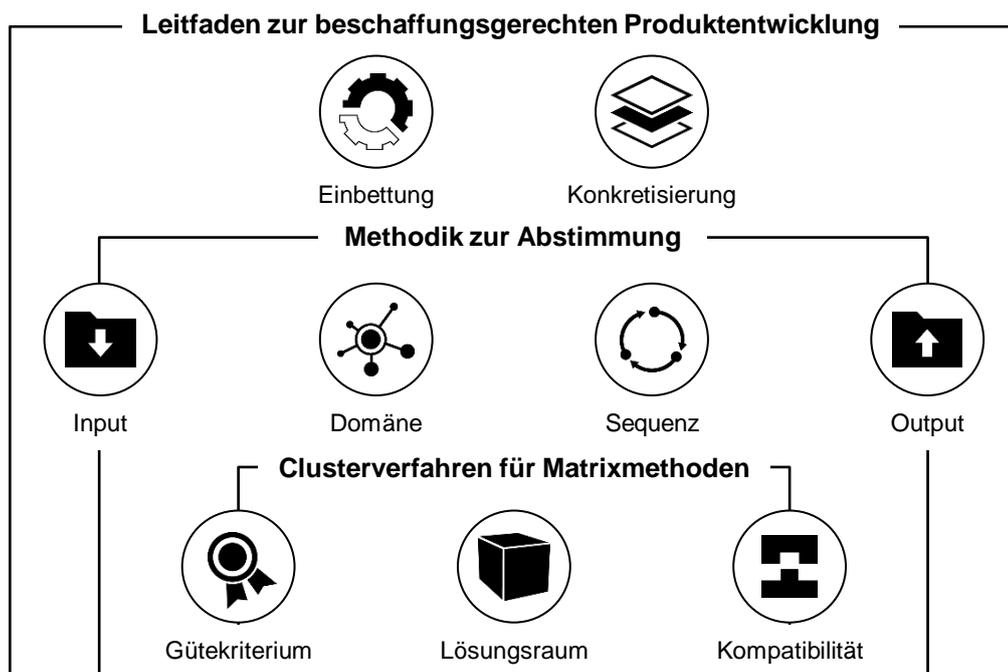


Abbildung 5-1: Anforderungen an den Lösungsansatz

### Anforderungen: Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung

Die Anforderungen an den Leitfaden ergeben sich aus den Eigenschaften der Gestaltungsrichtlinien (Kapitel 4.1.3) und werden um allgemeine Anforderungen ergänzt.

- **Domänen (A.1):** Die Abstimmung setzt Informationen aus den Domänen Produktarchitektur und Liefernetzwerk voraus. Diese Informationen sind folglich von einem Leitfaden bereitzustellen. Die Forderung geht mit der Dokumentation der relevanten Entscheidungen

für Produktarchitektur und Liefernetzwerk einher. Die Entscheidungen besitzen merklichen Einfluss auf die Abstimmung und sind in einem Leitfaden explizit zu berücksichtigen.

- **Einbettung (A.2):** Die erfolgreiche Anwendung von Gestaltungsrichtlinien hängt von deren Verankerung in den Geschäftsprozessen der Unternehmung ab. Die beschaffungsgerechte Produktentwicklung fokussiert Geschäftsprozesse der Entwicklung und Beschaffung. Aktivitäten aus diesen Bereichen mit Einfluss auf die Abstimmung sind folglich durch den Leitfaden zu beachten.
- **Konkretisierung (A.3):** Voraussetzung für die Anwendung von Gestaltungsrichtlinien ist die Konkretisierung der Empfehlungen. Gestaltungsrichtlinien bieten zwischen grundlegenden und konkreten Handlungsempfehlungen ein breites Spektrum der Unterstützung. Für die umfassende Unterstützung von Praktikern ergibt sich eine Anforderung in konkreten Handlungsempfehlungen für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung.

Neben den aufgeführten Anforderungen an den Leitfaden, ergeben sich allgemeine Anforderungen an Gestaltungsrichtlinien. Nach LINDEMANN [2007, S. 3] sollten diese von der spezifischen Situation abhängen und flexibel an Veränderungen der Situation anzupassen sein. Ferner setzen die Richtlinien ein Bewusstsein über Abhängigkeiten in einer Domäne und zwischen verschiedenen Domänen voraus. Abschließend stellt LINDEMANN [2007, S. 3] die Forderung nach einer frühzeitigen Unterstützung in der Produktentwicklung durch Gestaltungsrichtlinien.

### Anforderungen: Methodik zur Abstimmung

Die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk wird über sechs Anforderungen beschrieben. Diese ergeben sich aus den Eigenschaften an die Abstimmung in frühen Entwicklungsphasen und werden um allgemeine Anforderungen an Methodiken ergänzt.

- **Input (A.4):** Als Eingangsgrößen für die intendierte Abstimmung in frühen Entwicklungsphasen stehen zumeist keine Informationen eines operativen Liefernetzwerks oder detaillierte Informationen bezüglich der Produktgestalt zur Verfügung. Die Nutzung von Strukturinformationen der beiden Domänen erlaubt eine Abstimmung auf der Ebene von strukturellen Attributen. Diese Informationen sind in frühen Phasen verfügbar. Damit ergibt sich eine Anforderung in der Verarbeitung von Strukturinformationen für die Abstimmung.
- **Output (A.5):** Als Ausgangsgrößen der Abstimmung stellen Gestaltungsempfehlungen grundlegende Handlungsanweisungen bereit, während mathematische Modelle eine fallspezifische Optimierung bieten. Für die Abstimmung in der industriellen Praxis erlauben konkrete Handlungsanweisungen für den spezifischen Anwendungsfall eine umfassende Unterstützung. Diese Art der Unterstützung beschreibt somit eine Anforderung an die Methodik zur Abstimmung.
- **Domänen (A.6):** Die Berücksichtigung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk stellt sowohl für den Leitfaden als auch für die Methodik zur Abstimmung eine handlungsleitende Anforderung dar. Eine detaillierte Ausführung ist Anforderung A.1 zu entnehmen.
- **Sequenz (A.7):** Die Sequenz beschreibt die Reihenfolge der Abstimmung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Die Reihenfolge konstituiert den untersuchten Lösungsraum für die Abstimmung der beiden Domänen. In einer sequenziellen Abstimmung wird nicht der gesamte Lösungsraum an Produktarchitektur- und Liefernetzwerk-Szenarios

untersucht, während eine simultane Abstimmung eine umfassende Untersuchung des Lösungsraums verspricht. Als handlungsleitende Anforderung ergibt sich folglich eine simultane Sequenz für die Abstimmung.

- **Gütekriterium (A.8):** Für die Bemessung der Qualität der Abstimmung werden direkte und indirekte Kriterien angeführt. Indirekte Kriterien leiten die Qualität über mittelbar festgelegte Hilfsgrößen ab, während bei direkten Kriterien die Qualität unmittelbar bemessen wird. Bei indirekten Kriterien können Einflüsse aus der Peripherie der Abstimmung nicht ausgeschlossen werden. Somit ist die Verwendung eines direkten Gütekriteriums als Anforderung zu formulieren.
- **Lösungsraum (A.9):** Der Lösungsraum beschreibt den Umfang an Szenarios von Produktarchitektur und Liefernetzwerk für die Abstimmung. Grundsätzlich zielt die Abstimmung auf die Kompromissbildung zwischen den beiden Domänen ab. Eine unzureichende Untersuchung des Lösungsraums beschränkt diese Kompromissbildung, da einzelne Lösungsalternativen unterberücksichtigt bleiben. Folglich ist an eine Methodik zur Abstimmung die Anforderung einer umfassenden Untersuchung des Lösungsraums zu stellen.

Neben den spezifischen Anforderungen an die Methodik zur Abstimmung ergeben sich grundsätzliche Anforderungen, da die Methodik zur Abstimmung eine Entscheidungsunterstützung für Akteure an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Beschaffung darstellt. Die Methodik besitzt präskriptiven Charakter und ist folglich den grundlegenden Anforderungen aus der präskriptiven Entscheidungstheorie unterworfen. Diese Entscheidungstheorie fordert formale Rationalität<sup>40</sup>, Durchgängigkeit, Zielorientierung und Nachvollziehbarkeit. Die Methodik zur Abstimmung sollte zudem auf einem systematischen Vorgehen sowie objektivierten, vollständigen Informationen fußen. [GRÜNIG & KÜHN 2009, S. 40ff.]

### Anforderungen: Clusterverfahren für Matrixmethoden

Die vorgestellten Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 4.3.2) stellen die methodischen Grundlagen für die Methodik zur Abstimmung mittels Strukturinformationen dar. An diese Verfahren werden drei handlungsleitende und allgemeine Anforderungen gestellt.

- **Kompatibilität (A.10):** Eine grundlegende Anforderung an Clusterverfahren für die Methodik zur Abstimmung ergibt sich aus der Darstellungsform. Diese fokussiert sich auf Matrixmethoden, da sowohl für die Modellierung von Produktarchitekturen und Liefernetzwerken als auch für die Bemessung der Qualität der Abstimmung zwischen den beiden Domänen Matrizen angewendet werden. Für ein Clusterverfahren erwächst somit die handlungsleitende Anforderung der Kompatibilität mit Matrixmethoden.
- **Gütekriterium (A.11):** Die Bemessung der Qualität der Abstimmung erfolgt über direkte und indirekte Kriterien. Für Clusterverfahren sind lediglich direkte Kriterien als handlungsleitende Anforderung aufzuführen. Eine detaillierte Ausführung dieser Anforderung ist dem Anforderungskatalog für die Methodik zur Abstimmung zu entnehmen.

---

<sup>40</sup> Bei der formalen Rationalität werden die verfolgten Ziele nicht auf ihre Rationalität hinterfragt. Es wird lediglich die Sorgfalt und Systematik der Durchführung fokussiert [GRÜNIG & KÜHN 2009, S. 40ff.].

- **Lösungsraum (A.12):** Der Lösungsraum stellt auf den Umfang der betrachteten Szenarios bei der Lösungssuche ab. Bei den vorgestellten Clusterverfahren werden nur ausgewählte Szenarios berücksichtigt und beschränken somit den Lösungsraum, welcher sich negativ auf die Kompromissbildung im Rahmen der Methodik zur Abstimmung auswirkt. Die Bedeutung der Untersuchung des gesamten Lösungsraums für die Methodik zur Abstimmung wird über die Anforderung A12 dargestellt.

Die allgemeinen Anforderungen an Clusterverfahren erwachsen aus der Definition eines Algorithmus, welcher eine „festgelegte, eindeutige, endliche Folge von Vorgehensschritten und Regeln“ beschreibt, welche zu einer eindeutigen Lösung führt [VDI 1993, S. 39].

### Zusammenfassung der Anforderungen

In Tabelle 5-1 wird der Anforderungskatalog für die drei Bausteine des Lösungsansatzes zusammenfassend dargestellt. Für die allgemeinen Anforderungen an den Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung, die Methodik zur Abstimmung und das Clusterverfahren für Matrixmethoden wird auf die vorangegangenen Abschnitte verwiesen.

Tabelle 5-1: Anforderungskatalog für den Lösungsansatz

<b>Anforderungen an den Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung</b>		
A.1	<b>Domänen</b>	Berücksichtigung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk
A.2	<b>Einbettung</b>	Einbettung der Aktivitäten zur Abstimmung im Entwicklungsprozess
A.3	<b>Konkretisierung</b>	Unterstützung von Praktikern mittels konkreter Handlungsempfehlungen
<b>Anforderungen an die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk</b>		
A.4	<b>Input</b>	Verarbeitung von Strukturinformationen als Input für die Abstimmung
A.5	<b>Output</b>	Unterstützung mit konkreten Handlungsanweisungen für den Anwendungsfall
A.6	<b>Domänen</b>	Berücksichtigung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk
A.7	<b>Sequenz</b>	Simultane Sequenz der Abstimmung
A.8	<b>Gütekriterium</b>	Verwendung eines direkten Gütekriteriums bei der Abstimmung
A.9	<b>Lösungsraum</b>	Untersuchung des gesamten Lösungsraums für die Abstimmung
<b>Anforderungen an Clusterverfahren für Matrixmethoden</b>		
A.10	<b>Gütekriterium</b>	Verwendung eines direkten Gütekriteriums im Clusterverfahren
A.11	<b>Lösungsraum</b>	Untersuchung des gesamten Lösungsraums durch das Clusterverfahren
A.12	<b>Kompatibilität</b>	Anwendung des Clusterverfahrens auf (Graphen- oder) Matrixmethoden

## 6. Lösungsansatz zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk

*In diesem Kapitel wird der Lösungsansatz für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung mit Fokus auf die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Entwicklung beschrieben. Dafür werden in der Einführung ein Überblick über den Lösungsansatz gegeben und relevante Voraussetzungen und Grundlagen erarbeitet. Ferner werden die drei Bausteine des Lösungsansatzes beschrieben und deren Applikation auf ein begleitendes Anwendungsbeispiel illustriert. Die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk stellt den zentralen Baustein des Lösungsansatzes dar, welcher durch den Leitfaden für die beschaffungsgerechte Produktentwicklung eine organisatorische Verankerung erfährt. Mit dem dritten Baustein des Lösungsansatzes wird über ein Clusterverfahren für Matrixmethoden die methodische Grundlage für die Methodik zur Abstimmung bereitgestellt.*

### 6.1 Einführung zum Lösungsansatz

Die Einführung zum Lösungsansatz stellt zunächst einen Überblick über die Bausteine des Lösungsansatzes und deren Vernetzung dar, um eine einheitliche Verständnisgrundlage zu schaffen. Ferner werden die relevanten Voraussetzungen und Grundlagen für den Lösungsansatz erarbeitet, auf die sämtliche Bausteine des Lösungsansatzes gleichermaßen zurückgreifen. Die Illustration der einzelnen Bausteine des Lösungsansatzes erfolgt über ein begleitendes Anwendungsbeispiel. Kapitel 6.1.3 stellt dieses einleitend vor.

#### 6.1.1 Lösungsansatz: Überblick und Struktur

Die übergeordnete Zielsetzung der vorliegenden Dissertation ergibt sich in der Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks durch die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen. Der resultierende Lösungsansatz besteht aus drei inhaltlichen Bausteinen, welche die identifizierten Forschungslücken aus dem vorgestellten Stand der Forschung und Technik (Kapitel 4) aufgreifen. Diese werden in Kapitel 5.2 als handlungsleitende Anforderungen für den Lösungsansatz formuliert und zeichnen das Forschungsprogramm für die Bausteine und deren Vernetzung im Lösungsansatz vor.

Der erste Baustein des Lösungsansatzes umfasst den **Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung** mit Fokus auf der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Mit dem Leitfaden wird die Zielsetzung verfolgt, die Abstimmung in die Geschäftsprozesse der Unternehmen zu integrieren. Folglich fasst der Leitfaden konkrete Handlungsempfehlungen für die Abstimmung über Aktivitäten der Fachdisziplinen Entwicklung und Beschaffung zusammen. Aktivitäten aus Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung außerhalb des Fokusbereichs werden vom Leitfaden nicht adressiert.

Die **Methodik zur Abstimmung** ist essenzieller Baustein des Lösungsansatzes und fokussiert sich auf frühe Entwicklungsphasen. Diese Phasen sind durch die begrenzte Verfügbarkeit von

Informationen zur Produktarchitektur und Liefernetzwerk geprägt und nutzen folglich Strukturinformationen für die Abstimmung. Durch die simultane Abstimmung über ein mathematisches Modell wird bei der intendierten Methodik der ungewollten Beschränkung des Lösungsraums begegnet. Die mathematischen Modelle aus dem Stand der Forschung und Technik (Kapitel 4.2) weisen zudem eine umfassende Unterstützung für den spezifischen Anwendungsfall auf. Diese findet auch in die Methodik zur Abstimmung Einzug, sodass dem Anwender optimale Lösungsalternativen für Produktarchitektur und Liefernetzwerk ausgegeben werden.

Das **Clusterverfahren für Matrixmethoden** stellt einen weiteren Baustein des Lösungsansatzes dar, welcher die Zielsetzung verfolgt, sämtliche Clusteralternativen für ein beliebiges System zu identifizieren. Durch analytische Berechnung des Lösungsraums und Kombinatorik der Lösungsalternativen wird diese Zielsetzung vom Clusterverfahren adressiert. Aus dem Stand der Forschung und Technik (Kapitel 4.3) ergibt sich zudem eine Forschungslücke bei der Bemessung der Qualität des Clusterings über ein direktes Gütekriterium. Damit wird für das Clusterverfahren der Einfluss durch eine Überführung in etwaige Hilfsgrößen ausgeschlossen.

Die **Vernetzung der Bausteine des Lösungsansatzes** stellt Abbildung 6-1 schematisch dar. Die Methodik ist essenzieller Baustein für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk, welcher für die Untersuchung des gesamten Lösungsraums das Clusterverfahren für Matrixmethoden erfordert. Mit dem Clusterverfahren werden sämtliche Lösungsalternativen für Produktarchitektur und Liefernetzwerk erhoben und für den strukturellen Abgleich aufbereitet. Der Leitfaden verankert die Abstimmung in den Geschäftsprozessen der Unternehmen. Zudem umfasst er weitere Aktivitäten zur Abstimmung in Ergänzung zu der vorgestellten Methodik, welche im Wesentlichen aus den Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern erwachsen und die Ausgestaltung der Produktarchitektur oder des Liefernetzwerks merklich beeinflussen (Kapitel 3.1.2 und 3.2.2).

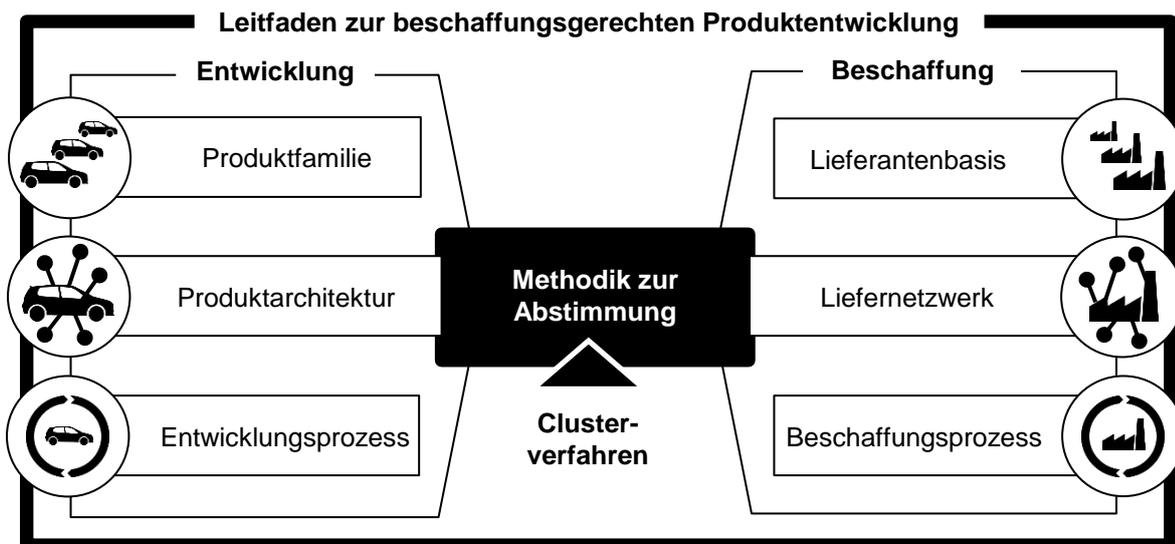


Abbildung 6-1: Überblick über die Bausteine des Lösungsansatzes

### 6.1.2 Lösungsansatz: Voraussetzungen und Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Voraussetzungen und Grundlagen für die Beschreibung der einzelnen Bausteine des Lösungsansatzes beschrieben. Das Systemmodell definiert die relevanten Domänen und Vernetzungsarten für den Lösungsansatz. Mit dem Referenzprozess erfolgt die organisatorische Einbettung der Aktivitäten aus dem Lösungsansatz zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk im Entwicklungsprozess. Über das Beschreibungsschema werden die Aktivitäten für die Anwendung in der industriellen Praxis aufbereitet.

#### Systemmodell für den Lösungsansatz

Dem Lösungsansatz liegt ein **Systemmodell** zugrunde. Dieses Modell definiert die erforderlichen Domänen und Vernetzungen für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Als Systemmodell wird eine MDM verwendet, welche die Abbildung des Systemstruktur mit Domänen und Vernetzungen erlaubt. Weitere Gründe für die Auswahl der MDM ergeben sich aus deren spezifischen Eigenschaften und werden im Folgenden aufgeführt:

- Abbildung verschiedener Domänen (und Elemente) in einem umfassenden Modell
- Abbildung verschiedener Vernetzungsarten (und Relationen)<sup>41</sup> in einem umfassenden Modell
- Abbildung von Abhängigkeiten zwischen Elementen innerhalb einer Domäne
- Abbildung von Abhängigkeiten zwischen Elementen zwischen zwei Domänen
- Darstellung von statischen und dynamischen Strukturen aus verschiedenen Perspektiven
- Darstellung von multirelationalen Abhängigkeiten zwischen Domänen (und Elementen)
- Integrative Analyse und Synthese von Systemen mittels Strukturinformationen
- Analyse und Synthese von Systemen mit nativen und errechneten Strukturinformationen
- Integrative Analyse und Synthese von Systemen aus verschiedenen Perspektiven
- Portfolio an Analyse- und Berechnungsmöglichkeiten aus DSMs und DMMs
- Überführbarkeit in alternative Darstellungsformen (bspw. Graphen)

Für die **Produktarchitektur** ergeben sich nach der Definition (Kapitel 2.1.1) die Domänen Funktion und Komponente. Ferner wird die Vernetzung innerhalb und zwischen den Domänen definiert. Die Domäne Funktion und Vernetzungsart „*Funktion benötigt Funktion*“ stellt die Funktionsstruktur dar. Die Baustruktur wird über die Vernetzungsart „*Komponente berührt Komponente*“ abgebildet. Die Definition der Transformationsbeziehung zwischen Funktion und Komponente erfolgt über die Vernetzungsart „*Komponente erfüllt Funktion*“.

Für das **Liefernetzwerk** ergibt sich eine Domäne Lieferant. Die Elemente in dieser Domäne sind nach der Definition aus Kapitel 2.2.1 grundsätzlich über drei Vernetzungsarten verknüpft. Eine Vernetzungsart beschreibt die Lieferbeziehung (Materialfluss) zwischen den Lieferanten.

---

<sup>41</sup> Vernetzungen und Relationen beschreiben im Rahmen der vorliegenden Dissertation Abhängigkeiten.

Die korrespondierende Vernetzungsart ist „*Lieferant beliefert Lieferant*“. Neben dem Materialfluss werden innerhalb der Domäne noch der Informations- und Zahlungsfluss abgebildet. Ersterer beschreibt die Vernetzungsart „*Lieferant informiert Lieferant*“ und umgekehrt, während Letzterer die Vernetzungsart „*Lieferant bezahlt Lieferant*“ umfasst.

Aus der **Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk** ergibt sich schließlich eine weitere Vernetzungsart, welche die Verknüpfung zwischen den Domänen Komponente und Lieferant darstellt. Diese Vernetzungsart wird durch „*Lieferant liefert Komponente*“ beschrieben und verknüpft die Produktarchitektur mit dem Liefernetzwerk. Mit dieser Vernetzungsart wird eine Zuordnung der Lieferanten zu Komponenten durchgeführt, welche auch für die Darstellung potenzieller Lieferbeziehungen bei der Umsetzung von Beschaffungsstrategien des Lieferantenkonzepts (Tabelle 3-4) herangezogen werden kann. Neben der Lieferbeziehung von Komponenten ist grundsätzlich auch in frühen Entwicklungsphasen eine Lieferbeziehung von Funktionen mit der Vernetzungsart „*Lieferant liefert Funktion*“ denkbar. Diese genießt in der industriellen Praxis jedoch keine breite Anwendung, sodass man sich für das Systemmodell des Lösungsansatzes auf die Lieferbeziehung der Komponenten beschränkt.

Damit ergibt sich ein Systemmodell mit drei Domänen und sieben Vernetzungsarten als Grundlage für den Lösungsansatz. In Abbildung 6-2 wird das Systemmodell als MDM dargestellt.

Systemmodell		Funktion	Komponente	Lieferant
Funktion	F	Funktion benötigt Funktion		
Komponente	K	Komponente erfüllt Funktion	Komponente berührt Funktion	
Lieferant	L		Lieferant liefert Komponente	Lieferant beliefert Lieferant Lieferant informiert Lieferant Lieferant bezahlt Lieferant

**Abbildung 6-2: Systemmodell des Lösungsansatzes**

Für die Bündelung der Komponenten in Module wird die Darstellung der Komponenten in einer  $DSM_{K-K}$  in eine blockdiagonale Form umgewandelt und somit die Module abgeleitet [MCCORMICK ET AL. 1972]. Aus den resultierenden Clustern an der Diagonalen der  $DSM_{K-K}$  ergeben sich Module, mit denen die Beschreibung der Baustruktur des Produkts komplettiert wird. Diese Alternative ist grundsätzlich auch auf die Zusammenfassung der Beschaffungsumfänge von Komponentenlieferanten bei Modullieferanten zu übertragen. Eine alternative Modellierung würde die Definition zweier weiterer Domänen im Systemmodell (Modul und Modullieferant) erfordern. Diese wird für die vorliegende Dissertation verworfen, da sie nicht mit der Ausleitung von Szenarios durch das Clusterverfahren (Kapitel 6.4) kompatibel ist.

## Referenzprozess der Produktentwicklung

Die Verortung des Lösungsansatzes in der Produktentwicklung erfolgt über einen Referenzprozess. Dieser Prozess stellt einen Überblick über die Aktivitäten bereit, welche einen Einfluss auf die Abstimmung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk besitzen. Die Aktivitäten werden zur organisatorischen Einbettung in der industriellen Praxis in dem Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (Kapitel 6.2) zusammengefasst. Grundlage für den Referenzprozess und die inhärenten Aktivitäten bilden die Ausführungen in Kapitel 2.1.2 zur Evolution der Produktarchitektur im Entwicklungsprozess und die methodischen Grundlagen in Kapitel 3. Mit dem Schwerpunkt der vorliegenden Dissertation auf frühe Entwicklungsphasen fokussiert sich der Prozess auf die Produktplanung, Konzept- und Systementwicklung.

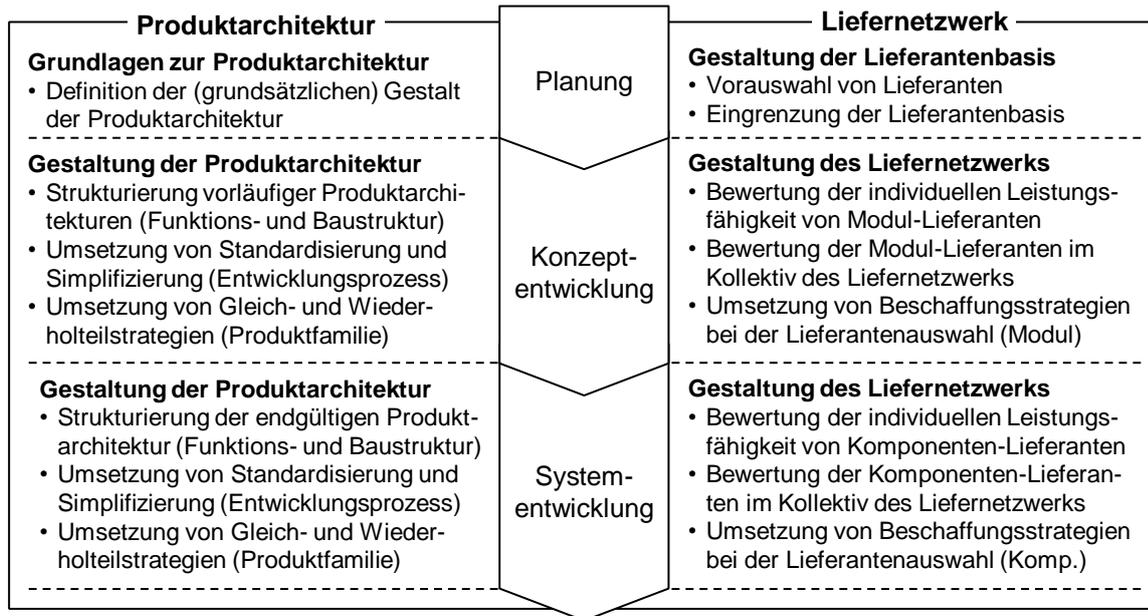
Als Grundlage für den Referenzprozess dient die Fachliteratur aus dem Forschungsfeld zu Entwicklungsprozessen und nicht die industrielle Praxis. Hierfür sind zum einen die Verfügbarkeit der Informationen und zum anderen die Diversität der Prozesse als Begründung anzuführen. Informationen zu Entwicklungsprozessen auf dem geforderten Konkretisierungsgrad der vorliegenden Dissertation, sind lediglich in der Fachliteratur verfügbar. Im Entwicklungsprozess werden das spezifische Wissen und die fachliche Expertise der Unternehmen in ihrem Tätigkeitsfeld widergespiegelt. Dieses Wissen und die Expertise werden nicht mit der breiten Öffentlichkeit geteilt, sodass nur wenige Informationen zu den individuellen Entwicklungsprozessen aus der industriellen Praxis vorliegen. Der zweite Grund (Diversität der Prozesse) liegt in der individuellen Ausgestaltung der Entwicklungsprozesse in der industriellen Praxis. Im Entwicklungsprozess wird neben dem spezifischen Wissen und der fachlichen Expertise den individuellen Bedürfnissen der Unternehmung Sorge getragen. In der Folge ist selbst innerhalb einer Branche ein Querschnitt aus den Entwicklungsprozessen und den inhärenten Aktivitäten der Unternehmen nur über die Abstraktion der Prozesse darzustellen. Diese steht in Konflikt mit dem geforderten Konkretisierungsgrad der vorliegenden Dissertation, weshalb als Grundlage für den Referenzprozess die einschlägige Fachliteratur herangezogen wird.

Für die Darstellung des Referenzprozesses werden die Phasen und Aktivitäten aus Abbildung 2-2 als Grundlage verwendet und um weitere Aktivitäten ergänzt, welche aus der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk erwachsen. Diese ergeben sich bei der Produktarchitektur aus dem Einfluss der Produktfamilie und dem Entwicklungsprozess (Kapitel 3.1). Für das Liefernetzwerk sind Aktivitäten zur Gestaltung des Liefernetzwerks und der Lieferantenbasis zu ergänzen (Kapitel 3.2). Zur Wahrung des Fokus der vorliegenden Dissertation werden einzelne Aktivitäten aus Abbildung 2-2 entfernt, sofern sie keinen expliziten Gestaltungsparameter für die Abstimmung darstellen. Hiervon sind fünf Aktivitäten betroffen. Die Integration von Lieferanten ist ein umfassendes Forschungsfeld für sich, was lediglich einen mittelbaren Einfluss auf die Abstimmung besitzt. Diese Aktivität wird folglich nicht im Referenzprozess aufgeführt (hier sei auf weiterführende Literatur verwiesen)<sup>42</sup>. Über Make-or-buy-Empfehlungen und Entscheidungen wird der Grad des Fremdbezugs festgelegt, der jedoch keinen Einfluss

---

<sup>42</sup> Die Dissertation von GROHER [2002] und die Publikationen von PETERSEN ET AL. [2005] und SIMATUPANG & SRIDHARAN [2008] bieten einen Überblick zur Integration von Lieferanten, welcher in der Publikation BEHNCKE ET AL. [2014A] und den betreuten Studienarbeiten von PE-EICHINGER [2014] und PE-WEHRLE [2014] hinsichtlich des Einflusses auf die intendierte Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk untersucht wird.

auf die Durchführung der Abstimmung hat und lediglich als Eingangsgröße für den Lösungsansatz zu betrachten ist. Die letzte Aktivität, die entfernt wurde, ist das Controlling von Modullieferanten. Sie hält lediglich die Leistungserfüllung des Lieferanten nach und verfügt über keinen aktiven Einfluss auf die Abstimmung. Ferner werden einzelne Aktivitäten zusammengefasst, um einen einheitlichen Konkretisierungsgrad zu erhalten. Der resultierende Referenzprozess für die vorliegende Dissertation wird in Abbildung 6-3 dargestellt.



**Abbildung 6-3: Referenzprozess der Produktentwicklung: Phasen und Aktivitäten**

Zur Schaffung eines einheitlichen Verständnisses werden die Phasen und Aktivitäten wie folgt erläutert. In der **Produktplanung** werden die Rahmenbedingungen für die Abstimmung festgelegt. Diese umfassen bei der Produktarchitektur die Definition von deren grundsätzlicher Gestalt. Beim Liefernetzwerk stehen die Vorauswahl von Lieferanten und die Eingrenzung der Lieferantenbasis als wesentliche Aktivitäten der Gestaltung der Lieferantenbasis im Fokus.

Die **Konzept- und Serienentwicklung** stellen den Schwerpunkt der Abstimmung dar und werden grundsätzlich von denselben Aktivitäten konstituiert, obschon sich der Konkretisierungsgrad unterscheidet. Die Konzeptentwicklung zieht die vorläufige Produktarchitektur heran, während in der Systementwicklung bereits die endgültige Architektur heranzieht. Im Liefernetzwerk werden die Aktivitäten dahingehen konkretisiert, dass sich der Fokus Modul- auf Komponentenlieferanten verschiebt. Die drei Aktivitäten zur Gestaltung der Produktarchitektur umfassen die Strukturierung der Architektur, der Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung sowie die Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien zusammen. Letztere Aktivität erwächst dabei aus dem Einfluss der Produktfamilie, während sich Standardisierung und Simplifizierung aus dem Entwicklungsprozess ergeben. Beim Liefernetzwerk steht als Ergänzung zur Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten die Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks im Vordergrund. Ferner wird auch die Umsetzung von Beschaffungsstrategien auf die Abstimmung berücksichtigt.

## Beschreibungsschema für relevante Aktivitäten

Die Anwendung des Lösungsansatzes in der industriellen Praxis erfordert eine konkrete Aufarbeitung der relevanten Phasen und Aktivitäten aus dem Referenzprozess (Abbildung 6-3), welche im Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (Kapitel 6.2) zusammengefasst werden. Hierfür identifiziert dieser Abschnitt eine adäquate Beschreibungsform.

Die Aktivitäten aus dem Leitfaden (Kapitel 6.2) beschreiben Handlungen im Referenzprozess der Produktentwicklung, welche von einer organisatorischen Einheit ausgeführt werden [PONN 2007, S. 14]. Sie umfassen Handlung und Maßnahme in frühen Entwicklungsphasen, welche der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk zuträglich sind. Dabei werden diese Handlungen und Maßnahmen zumeist von Methoden und Hilfsmitteln unterstützt.

Das Beschreibungsschema für Aktivitäten orientiert sich zum einen an der Beschreibung von Prozessbausteinen nach PONN [2007, S. 125ff.] und zum anderen an dem Münchner Methodenmodell zur Beschreibung von Arbeitsmethoden [LINDEMANN 2009, S. 239]. PONN [2007, S. 125ff.] führt für seine Beschreibung von Prozessbausteinen fünf Kategorien an, welche Name, Kurzbeschreibung, Abbildung, Aktivität, Input und Output umfassen. LINDEMANN [2009, S. 239] führt für die Beschreibung von Arbeitsmethoden hingegen sechs Kategorien an: Name, Kurzbeschreibung, Abbildung, Zweck, Voraussetzung und Wirkung.

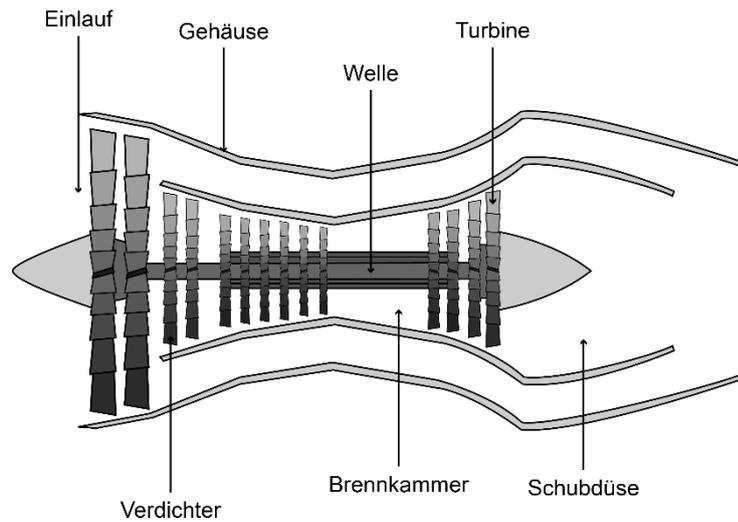
Des Weiteren lehnt sich das Beschreibungsschema an den Ausführungen von FILOUS [2011, S. 67ff.] zu einem Aktivitätssteckbrief für die lizenzierungsgerechte Produktentwicklung an, der für einen anderen Betrachtungsgegenstand denselben Zweck verfolgt. Tabelle 6-1 stellt das Beschreibungsschema für Aktivitäten des Lösungsansatzes mit sechs Kategorien dar. Eine Erläuterung der Kategorien erfolgt auf Basis der Ausführungen von PONN [2007, S. 125ff.] und LINDEMANN [2009, S. 239] ebenfalls in Tabelle 6-1. Eine Verortung der Aktivitäten in die Aufbauorganisation von Unternehmen erfolgt aufgrund der Diversität in der industriellen Praxis lediglich über die Zuordnung der Aktivitäten zu den Fachabteilungen der Entwicklung (Produktarchitektur) und Beschaffung (Liefernetzwerk).

**Tabelle 6-1: Beschreibungsschema von Aktivitäten des Lösungsansatzes**

<b>Titel der Aktivität:</b> Eindeutige Bezeichnung der spezifischen Aktivität	<b>Identifikationsnummer:</b> Zuordnung der spezifischen Aktivität
<b>Vorgehensbeschreibung (inklusive Zweck):</b> Bei der Vorgehensbeschreibung werden die einzelnen Schritte der spezifischen Aktivität erläutert.	
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Eingangsgrößen und Voraussetzung für die Anwendung der spezifischen Aktivität	<b>Wirkung (Output):</b> Ausgangsgröße und intendierte Wirkung der spezifischen Aktivität
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> Werkzeuge und Hilfsmittel für die Anwendung der spezifischen Aktivität	

### 6.1.3 Lösungsansatz: Anwendungsbeispiel

Die Anwendung des Lösungsansatzes wird mit Hilfe eines begleitenden Anwendungsbeispiels illustriert. Bei dem Anwendungsbeispiel handelt es sich um ein Flugzeugtriebwerk. Dieses wird auf hohem Abstraktionsgrad modelliert, um die Anzahl an Elementen in Produktarchitektur und Liefernetzwerk zu beschränken. Mit einer geringeren Anzahl an Elementen wird die Nachvollziehbarkeit des Lösungsansatzes zugunsten eines realitätsnahen Abstraktionsgrads fokussiert. Abbildung 6-4 zeigt eine schematische Darstellung eines Flugzeugtriebwerks, aus der die Anzahl der physischen Bestandteile des Produkts direkt hervorgeht.



**Abbildung 6-4: Flugzeugtriebwerk – Schema**

[Bildquelle in Anlehnung an Wikipedia]

Abbildung 6-5 zeigt exemplarisch die Abhängigkeiten zwischen den Komponenten und trifft eine Zuordnung der Komponenten zu potenziellen Lieferanten. Das Flugzeugtriebwerk ist als Derivat einer bestehenden Produktfamilie zu entwickeln. Hinsichtlich der Unabhängigkeit von Produktbestandteilen wird eine physische und funktionale Unabhängigkeit intendiert.

Ausschnitt aus dem Systemmodell		Komponenten							Lieferanten								
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	
Komponenten	Gehäuse	K1		K	K		K	K									
	Einlauf	K2	K		F												
	Verdichter	K3	K	F		F			K								
	Brennkammer	K4			F		F										
	Turbine	K5	K			F		F	K								
	Schubdüse	K6	K				F										
	Welle	K7			K		K										

**Abbildung 6-5: Flugzeugtriebwerk – Ausschnitt aus dem Systemmodell**

Die Abhängigkeiten zwischen den Komponenten sind überlagerte Kontakt- und Funktionsbeziehungen. In Abbildung 6-5 werden Kontaktbeziehungen mit K und Funktionsbeziehungen mit F gekennzeichnet. Die resultierende  $DSM_{K-K, \text{Funktion und Kontakt}}$  bildet die Produktarchitektur des Flugzeugtriebwerks ab. Bei dem Entwicklungsprojekt wird die Reduzierung der Produktkosten fokussiert. Diese Reduzierung soll über die systematische Ausschöpfung verbleibender Potenziale der bestehenden Lieferantenbasis gehoben werden, weshalb bereits bekannte Lieferanten aus der Produktfamilie zum Einsatz kommen. Eine Zuordnung der potenziellen Lieferanten zu den Komponenten des Flugzeugtriebwerks ist Abbildung 6-5 zu entnehmen.

Einflüsse auf die Ausgestaltung des Liefernetzwerks für das Flugzeugtriebwerk aus Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern werden in Tabelle 6-2 über die Beschaffungskonzepte (Areal-, Lieferanten- und Objektkonzept) beschrieben.

**Tabelle 6-2: Gestaltung des Liefernetzwerks für das Flugzeugtriebwerk**

Beschaffungsumfang		Beschaffungsquelle		Beschaffungskonzepte		
				Areal	Lieferanten	Objekt
Gehäuse	K1	Lieferant C	L3	Domestic	Single	Component
Einlauf	K2	Lieferant B	L2	Domestic	Single	Modular
Verdichter	K3	Lieferant D	L4	Domestic	Sole	Component
Brennkammer	K4	Lieferant A	L1	Domestic	Dual	Component
		Lieferant F	L6	Domestic		Component
Turbine	K5	Lieferant E	L5	Global	Sole	Modular
Schubdüse	K6	Lieferant H	L8	Global	Single	Component
Welle	K7	Lieferant G	L7	Global	Single	Component

Den Einfluss auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur aus den Schnittstellen zum Entwicklungsprozess und der Produktfamilie stellt Tabelle 6-3 für das Flugzeugtriebwerk dar.

**Tabelle 6-3: Gestaltung der Produktarchitektur für das Flugzeugtriebwerk**

Beschaffungsumfang		Einfluss auf die Ausgestaltung	
		Entwicklungsprozess	Produktfamilie
Gehäuse	K1	Standardisierung	Wiederholteilstrategie
Einlauf	K2	Standardisierung	Wiederholteilstrategie
Verdichter	K3	-	Gleichteilstrategie
Brennkammer	K4	Simplifizierung	-
Turbine	K5	-	Gleichteilstrategie
Schubdüse	K6	Standardisierung	Wiederholteilstrategie
Welle	K7	Standardisierung	Wiederholteilstrategie

## 6.2 Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung<sup>43</sup>

Der erste Baustein des Lösungsansatzes umfasst den Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung. Dieser verankert die Methodik zur Abstimmung in die Geschäftsprozesse der Unternehmung. Ferner ergänzt der Leitfaden relevante Aktivitäten für die Abstimmung aus den Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern. In diesem Kapitel wird einleitend das Anwendungsgebiet des Leitfadens erläutert, um der Beschreibung des Leitfadens den nötigen Kontext zu liefern und die Rahmenbedingungen abzustecken. Abschließend wird der Ergebnisbeitrag dieses Bausteins für den Lösungsansatz zusammengefasst.

### 6.2.1 Leitfaden: Klärung des Anwendungsgebiets

Dieses Kapitel beschreibt die Zielsetzung und -gruppe für den Leitfaden. Ferner wird eine Empfehlung für die Anwendung in der industriellen Praxis formuliert.

#### **Welche Zielsetzung verfolgt der Leitfaden?**

Die Zielsetzung für den Leitfaden ergibt sich aus der identifizierten Forschungslücke und dem ableitenden Handlungsbedarf aus Kapitel 5. Demnach zielt der Leitfaden auf die Verankerung der Abstimmung in die Geschäftsprozesse der Unternehmung (A.2) ab, um eine erfolgreiche Abstimmung in der industriellen Praxis zu ermöglichen. Zudem liefert der Leitfaden die organisatorische Einbettung für die Methodik zur Abstimmung (Kapitel 6.3) und verortet Aktivitäten mit Einfluss auf die Abstimmung aus Entwicklung und Beschaffung im Entwicklungsprozess. Folglich ist die Berücksichtigung dieser organisatorischen Einheiten mit der korrespondierenden Repräsentation der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks eine Voraussetzung für den intendierten Leitfaden (A.1). Für die erfolgreiche Abstimmung fordert die industrielle Praxis zudem eine umfassende Unterstützung durch konkrete Handlungsanweisungen (A.3).

#### **Wer ist die Zielgruppe für den Leitfaden?**

Die Zielgruppe für den Leitfaden sind Unternehmen bei denen ein signifikanter Anteil der Wertschöpfung durch das Liefernetzwerk erbracht wird. Bei einem geringen eigenen Wertschöpfungsanteil der Unternehmen bestimmt die Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks über den wirtschaftlichen Erfolg der Unternehmung [D'AVANZO ET AL. 2003]. Dieser Effekt spiegelt die ungleich höhere Hebelwirkung der Beschaffung auf die Umsatzrendite wider [WILDEMANN 2008, S. 2ff.]<sup>44</sup>. In der produzierenden Industrie weisen vor allem Originalteilhersteller und Lieferanten mit umfassender Systemverantwortung diese charakteristische Wertschöpfungsverteilung auf. Zielgruppen in den Unternehmen sitzen zum einen in der Entwicklungsprozessplanung. In diesem Fall wird der Leitfaden für die Gestaltung und Planung der Prozesse mit Fokus auf der Kollaboration an der organisatorischen Schnittstelle zwischen Entwicklung und

---

<sup>43</sup> Grundlage für die Ausführungen zum Leitfaden bilden die Publikation von BEHNCKE ET AL. [2014B] und die betreuten Studienarbeiten von PE-HOLSTEIN [2014] und PE-KRETZSCHMAR [2014].

<sup>44</sup> Nach WILDEMANN [2008, S. 2ff.] hat ein Reduzierung der Materialkosten in der Beschaffung eine ungleich höhere Hebelwirkung auf die Umsatzrendite als eine Steigerung des Umsatzes durch den Vertrieb.

Beschaffung genutzt. Zum anderen stellen Praktiker, welche sich dieser Schnittstelle widmen, eine Zielgruppe dar. Diese erhalten durch den Leitfaden eine Unterstützung in der operativen Durchführung der Abstimmung sowie den ergänzenden Tätigkeiten.

### **Wann empfiehlt sich die Anwendung des Leitfadens?**

In diesem Abschnitt wird eine Empfehlung für den Zeitpunkt und den Schwerpunkt der Anwendung des Leitfadens formuliert. Für die Anwendung im Rahmen der Gestaltung und Planung des Entwicklungsprozesses bietet sich der Leitfaden als orientierende Hilfestellung an, welcher die relevanten Aktivitäten für die Abstimmung hervorhebt. In diesem Fall empfiehlt sich die Einbindung des Leitfadens bereits bei der Projektdefinition zu Beginn der Produktplanung. Zur Unterstützung der Kollaboration an der organisatorischen Schnittstelle zwischen Entwicklung und Beschaffung entfaltet der Leitfaden sein Potenzial in der Konzept- und Systementwicklung. In diesem Fall kann eine Anpassung des Leitfadens auf die unternehmensspezifische Bedarfe erforderlich werden.

## **6.2.2 Leitfaden: Anwendung und Beschreibung**

Der Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (DfP) nutzt als Grundlage den Referenzprozess (Abbildung 6-3) mit den relevanten Phasen und Aktivitäten in Ergänzung zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Mit dem Leitfaden werden Gestaltungsrichtlinien für die Abstimmung formuliert, welche in Form von konkreten Aktivitäten in die Geschäftsprozesse der Unternehmung Einzug erhalten sollen. Der Leitfaden fokussiert sich gemäß seiner begrifflichen Herkunft<sup>45</sup> auf charakteristische Aktivitäten und gibt orientierende Hinweise für die Abstimmung. Er wird nachfolgend beschrieben. Dabei wird zunächst ein Überblick über das grundlegende Vorgehen gegeben, und anschließend werden die spezifischen Aktivitäten anhand des Beschreibungsschemas aus Tabelle 6-1 erläutert.

### **Vorgehen zum Leitfaden (DfP)**

Der Leitfaden umfasst die drei Entwicklungsphasen aus dem Referenzprozess (Abbildung 6-3). Diese Phasen beinhalten 17 Aktivitäten, welche im Folgenden erläutert werden.

Die Produktplanung (DfP.A) legt die Rahmenbedingungen für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk fest. Bei der Produktarchitektur wird über deren grundsätzliche Gestalt entschieden (DfP.A1), während beim Liefernetzwerk die Gestaltung der Lieferantenbasis im Vordergrund steht. Die Gestalt wird hinsichtlich der Abstimmung durch zwei Aktivitäten konstituiert. Diese umfassen zum einen die Vorauswahl von Lieferanten (DfP.A2) und zum anderen die Eingrenzung der Lieferantenbasis (DfP.A3).

---

<sup>45</sup> Der Begriff „Leitfaden“ geht auf das Labyrinth in Knossos zurück, welches Theseus mit einem Wollknäuel durchschritt, der ihm beim Rückweg durch das Labyrinth Orientierung geben sollte. Insofern ist ein Leitfaden Wegweiser in einem komplexen Sachgebiet, ohne den Anspruch, sämtliche Details des Sachgebiets zu beschreiben.

In der Konzeptentwicklung (DfP.B) erfolgt erstmals eine Abstimmung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk über die Methodik aus Kapitel 6.3 (DfP.B7). Diese wird durch die Strukturierung vorläufiger Produktarchitekturen (DfP.B1) begleitet. Ferner berücksichtigt die Konzeptentwicklung den Einfluss von Produktfamilie und Entwicklungsprozess auf die Gestaltung der Produktarchitektur über Aktivitäten (DfP.B2 und DfP.B3). Beim Lieferantennetzwerk stehen Aktivitäten zu dessen Gestaltung im Fokus, welche die Beschaffungsstrategien (DfP.B6) und die Bewertung von Lieferanten (DfP.B4 und DfP.B5) umfasst.

In der Systementwicklung (DfP.C) werden bei der Gestaltung der Produktarchitektur dieselben Aktivitäten wie bei der Konzeptentwicklung mit der endgültigen Architektur durchgeführt (DfP.C1–DfP.C3). Für das Liefernetzwerk stehen weiterhin die drei Aktivitäten aus der Konzeptentwicklung im Fokus, welche in der Systementwicklung stärker auf die Komponentenlieferanten ausgerichtet sind (DfP.C4–DfP.C6). In der Serienentwicklung wird die Methodik zur Abstimmung auf Basis der endgültigen Produktarchitektur durchgeführt (DfP.C7).

Abbildung 6-6 zeigt das schematische Vorgehen des Leitfadens zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung mit den relevanten Entwicklungsphasen und Aktivitäten. Von dem Leitfaden werden nicht sämtliche Facetten der Abstimmung mit eigens entwickelten Ansätzen adressiert, da die Fachliteratur bereits eine ausreichende Grundlage bereitstellt. In diesen Fällen werden die Grundlagen aus Kapitel 3 für den Leitfaden aufbereitet. Die Aktivitäten mit eigens entwickelten Ansätzen umfassen DfP.B1, DfP.B5 und DfP.B7 sowie die äquivalenten Aktivitäten in der Systementwicklung (Abbildung 6-6). Abschließend werden die Ergebnisse der Aktivitäten an dem begleitenden Anwendungsbeispiel illustriert.

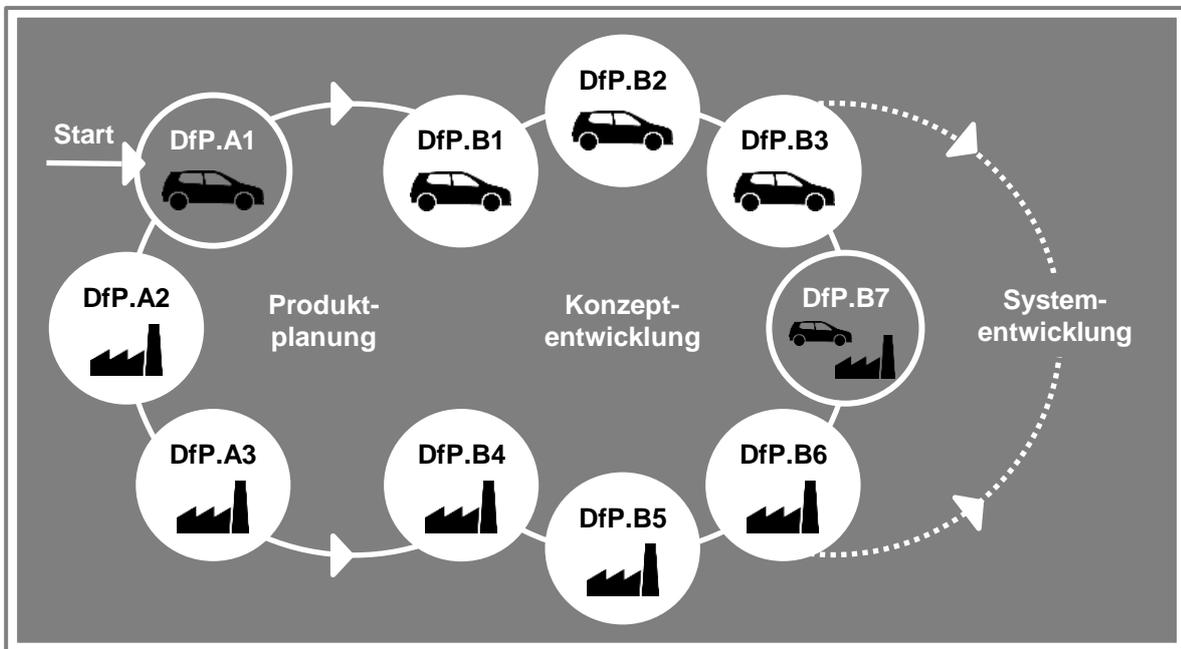


Abbildung 6-6: Vorgehen des Leitfadens zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung

## DfP.A: Aktivitäten in der Produktplanung

Die Produktplanung (DfP.A) legt die Rahmenbedingungen für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk fest. Eingangsgröße für ihre Aktivitäten stellt die grundlegende Entscheidung für einen der vier Typen von Entwicklungsprojekten dar. Diese umfassen Entwicklungsprojekte zu neuen Produktplattformen, Derivaten einer bestehenden Produktplattform, inkrementelle Überarbeitung eines bestehenden Produkts und Entwicklung eines fundamental neuen Produkts. Den Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Dissertation stellen die drei letzten Arten von Entwicklungsprojekten dar, da diese ein spezifisches Produkt fokussieren. Auf dieser Grundlage wird die grundsätzliche Gestalt der Produktarchitektur bestimmt (DfP.A1) und die Lieferantenbasis durch die Vorauswahl von Lieferanten (DfP.A2) und deren Eingrenzung (DfP.A3) gestaltet. Die Reihenfolge der Beschreibung der Aktivitäten stellt eine grundsätzliche Empfehlung für die Abfolge dar, welche in der industriellen Praxis jedoch auf die individuelle Situation anzupassen ist.

**DfP.A1 – Definition der Gestalt der Produktarchitektur:** Mit dieser Aktivität wird die Gestalt der Produktarchitektur für die weitere Entwicklungstätigkeit definiert. Für die Entscheidung ist die intendierte funktionale und physische Unabhängigkeit der Produktbestandteile zu bestimmen. Dies erfolgt über eine Abfrage in der DfP.A1-Checkliste (Abbildung 10-1). Mit dieser Abfrage wird eine Zuordnung der Produktarchitektur zu einer der vier Ausprägungen aus Abbildung 2-1 getroffen. Mit den verschiedenen Ausprägungen sind charakteristische Eigenschaften assoziiert (Tabelle 10-1), welche die Absicherung der ausgewählten Ausprägung über die DfP.A1-Checkliste erlauben. Stimmen die charakteristischen Eigenschaften der ausgewählten Ausprägung der Produktarchitektur nicht mit den intendierten Eigenschaften überein, ist eine andere Ausprägung der Produktarchitektur in Erwägung zu ziehen. Mit der Auswahl der Gestalt der Produktarchitektur wird in Hinblick auf die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk eine Priorisierung der funktionalen und physischen Abhängigkeiten vorgenommen. Tabelle 6-4 führt das Beschreibungsschema dieser Aktivität auf.

**Tabelle 6-4: DfP.A1 – Definition der Gestalt der Produktarchitektur**

<b>Titel der Aktivität:</b> Definition der Gestalt der Produktarchitektur	<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.A1
<b>Vorgehensbeschreibung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entscheidung zur intendierten funktionalen und physischen Unabhängigkeit der Produktbestandteile</li> <li>• Ableitung der korrespondierenden Ausprägung der Produktarchitektur</li> <li>• Absicherung der Ausprägung über assoziierte Eigenschaften der Ausprägung der Produktarchitektur</li> </ul>	
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Typ des Entwicklungsprojekts	<b>Wirkung (Output):</b> (Grundsätzliche) Gestalt der Produktarchitektur
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> DfP.A1-Checkliste: Definition der Gestalt der Produktarchitektur (Abbildung 10-1)	

**DfP.A2 – Vorauswahl von Lieferanten:** Diese Aktivität stellt auf die Identifikation von potenziellen neuen Lieferanten am Beschaffungsmarkt als Ergänzung zu den bekannten Lieferanten ab. Die bekannten Lieferanten sind dabei den bestehenden Materialgruppen zu entnehmen. Die Fachliteratur bietet ein Portfolio an Methoden zur Identifikation von neuen Lieferanten (vgl. Tabelle 10-9), welches bei innovativen und Technologie-intensiven Beschaffungsumfängen durch die Methode des Lieferantenscoutings mittels systematischer Patentrecherche zu erweitern ist. Bei dieser Methode werden aus Patenten bekannter Lieferanten für einen Beschaffungsumfang oder eine spezifische Technologie aus der Codierung der internationalen Patentklassifikation (IPC) entnommen. Diese IPCs klassifizieren die verschiedenen Patente hinsichtlich ihres Anwendungsbereichs.<sup>46</sup> Bei der Suche nach neuen Lieferanten wird folglich mit den identifizierten IPCs nach Patenmeldungen von unbekanntem Lieferanten gesucht. Eine detaillierte Beschreibung der Methode zum Lieferantenscouting mittels systematischer Patentrecherche ist PE-LI [2012] zu entnehmen. Die neuen Lieferanten in Ergänzung zu den bereits bekannten, bilden das Ergebnis der Vorauswahl von Lieferanten (DfP.A2). Das Beschreibungsschema in Tabelle 6-5 fasst diese Aktivität abschließend zusammen.

**Tabelle 6-5: DfP.A2 – Vorauswahl von Lieferanten**

<b>Titel der Aktivität:</b> Vorauswahl von Lieferanten	<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.A2
<b>Vorgehensbeschreibung:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifikation von bekannten Lieferanten (aus Materialgruppe)</li> <li>• Identifikation von potenziellen neuen Lieferanten am Beschaffungsmarkt</li> </ul>	
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Bekannte Lieferanten für Beschaffungsumfang oder spezifische Technologie (aus Materialgruppe)	<b>Wirkung (Output):</b> Vorauswahl an Lieferanten (bekannte und neue Lieferanten)
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b>	
Methoden zur Identifikation von neuen Lieferanten (Tabelle 10-9)	
Methode zum Lieferantenscouting mittels systematischer Patentrecherche	

**DfP.A3 – Eingrenzung der Lieferantenbasis:** Bei dieser Aktivität wird die Vorauswahl von Lieferanten einer groben Eignungsbewertung zur Eingrenzung der Lieferantenbasis unterzogen. Die Aktivität trägt zur übergeordneten Zielsetzung der Gestaltung der Lieferantenbasis bei, welche die Bereitstellung einer performanten Lieferantenbasis beschreibt. In der industriellen Praxis empfehlen sich für die Eignungsbewertung die Lieferantenselbstauskunft, Lieferantenbefragungen mit Ausschlusskriterien, Lieferantenbesuche, Lieferantenaudits, Zertifikate und Befragungen von Referenzkunden [JANKER 2008, S. 37ff.; HEB 2008, S. 286–287]. Diese Methoden unterscheiden sich hinsichtlich der Fehlerfreiheit der Informationen, des Aufwands

<sup>46</sup> Die internationale Patentklassifikation findet sich auf folgender Webseite <https://depatisnet.dpma.de/ipc/init.do>.

für die Datenerhebung und der Planungssicherheit.<sup>47</sup> Die Methoden ziehen dabei einen Satz an Lieferanten- und Beziehungsmerkmalen heran (Tabelle 10-10), welche an den spezifischen Anwendungsfall zu adaptieren sind. Mit der Eignungsbewertung der Lieferanten wird eine Reihung über Lieferantengruppen gebildet. Die Lieferantengruppen ergeben sich aus der Verarbeitung der Eignungsbewertung mittels ratioskalierter, nominalskalierter und ordinalskalierter Vergleichsmethoden. Aus der Reihung ergeben sich zwei grundlegende Lieferantengruppen (vergabefähig und nicht vergabefähig). DfP.A3-Checkliste (Abbildung 10-3) unterstützt somit die Auswahl der Lieferanten- und Beziehungsmerkmale. Die Aktivität zur Eingrenzung der Lieferantenbasis (DfP.A3) wird über das bekannte Beschreibungsschema in Tabelle 6-6 dokumentiert.

**Tabelle 6-6: DfP.A3 – Eingrenzung der Lieferantenbasis**

<b>Titel der Aktivität:</b> Eingrenzung der Lieferantenbasis		<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.A3
<b>Vorgehensbeschreibung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl relevanter Lieferanten- und Beziehungsmerkmale</li> <li>• (Grobe) Eignungsbewertung der Lieferanten mittels relevanter Merkmale</li> <li>• Bildung und Reihung von Lieferantengruppen mittels Vergleichsmethoden</li> </ul>		
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Vorauswahl an Lieferanten (bekannte und neue Lieferanten)	<b>Wirkung (Output):</b> vergabefähige Lieferantengruppen (performante Lieferantenbasis)	
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> DfP.A3-Checkliste; Eingrenzung der Lieferantenbasis (Abbildung 10-3)		

## DfP.B: Aktivitäten in der Konzeptentwicklung

Die Konzeptentwicklung (DfP.B) greift die Ergebnisse aus der Produktplanung auf, und es erfolgt erstmals eine Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk (DfP.B7). Diese wird durch die Aktivität zur Strukturierung vorläufiger Produktarchitekturen (DfP.B1) begleitet. Ferner wird bei der Produktarchitektur der Einfluss aus Produktfamilie und Entwicklungsprozess auf die Gestalt der Architektur berücksichtigt. Beim Entwicklungsprozess steht die Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung (DfP.B2) im Fokus, während sich aus der Produktfamilie die Gleich- und Wiederholteilstrategien (DfP.B3) ergeben. Die Vorauswahl an Lieferanten (DfP.A3) ist Grundlage für die Gestaltung des Liefernetzwerks. Hierfür findet eine Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten statt (DfP.B4). Als Ergänzung dazu werden diese Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks bewertet (DfP.B5). Zudem wird im Liefernetzwerk die Umsetzung von Beschaffungsstrategien (DfP.B6) adressiert.

<sup>47</sup> Die Kriterien lehnen sich an der Bewertung der Methoden zur Informationsakquisition aus Tabelle 10-21 an.

**DfP.B1 – Strukturierung vorläufiger Produktarchitekturen:** Diese Aktivität strukturiert die vorläufigen Alternativen der Produktarchitektur. Dabei wird auf Produktkonzepte zurückgegriffen. Aktivität DfP.A1 gibt die Gestalt der Produktarchitektur für die Konzepte vor (Abbildung 10-1). Bei modularen Architekturen stellt die Strukturierung auf die Modularisierung ab, während für die integrale Ausprägung keine weitere Strukturierung vorgenommen wird. Für die Modularisierung eines einzelnen Produkts<sup>48</sup> bietet die Fachliteratur diverse Ansätze (Tabelle 10-4). In Abhängigkeit der Gestalt der Produktarchitektur werden über die DfP.B1-Checkliste passende Methoden ausgegeben. Grundsätzlich stellen die Methoden zur Modularisierung eines einzelnen Produkts auf Clusterverfahren ab. Kapitel 6.4 stellt ein eigens entwickeltes Clusterverfahren für Matrixmethoden vor, welches die bekannten Methoden ergänzt. Die Bewertung der Qualität der Strukturierung zieht die Kennzahlen aus Tabelle 10-20 heran. Diese werden beim Clustering zugleich als Zielfunktionen verwendet. Damit unterstützt die DfP.B1-Checkliste (Abbildung 10-4) die Auswahl einer Methoden zur Modularisierung und die Bewertung der Strukturierung. Tabelle 6-7 fasst diese Aktivität zusammen.

**Tabelle 6-7: DfP.B1 – Strukturierung vorläufiger Produktarchitekturen**

<b>Titel der Aktivität:</b> Strukturierung vorläufiger Produktarchitekturen		<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.B1	
<b>Vorgehensbeschreibung:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl einer Methode zur Modularisierung eines einzelnen Produkts</li> <li>• Bewertung der Strukturierung der vorläufigen Produktarchitekturen</li> </ul>			
<b>Voraussetzungen (Input):</b>		<b>Wirkung (Output):</b>	
Produktkonzepte Gestalt der Produktarchitektur		Vorläufige Produktarchitektur mit Funktions-, Baustruktur und Transformationsbeziehung	
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b>			
DfP.B1-Checkliste: Strukturierung vorläufiger Produktarchitekturen (Abbildung 10-4)			

**DfP.B2 – Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung:** Diese Aktivität deckt den Einfluss aus dem Entwicklungsprozess auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur ab. Dieser erwächst aus Gestaltungsrichtlinien, welche spezifische Ziele für nachfolgende Phasen im Lebenszyklus adressieren. Standardisierung stellt auf die Festlegung von Standards für Komponenten und Module ab. In der Konzeptentwicklung werden Module fokussiert. Bei der Simplifizierung liegt der Schwerpunkt auf der Vereinfachung des Produkts und der Prozesse durch die Reduzierung der Teileanzahl. Tabelle 10-7 gibt einen Überblick über Gestaltungsrichtlinien, welche eine Standardisierung oder Simplifizierung von Produktbestandteilen erwirken. Die DfP.B2-Checkliste (Abbildung 10-5) fragt die Produktbestandteile systematisch nach Auslösern für Standardisierung und Simplifizierung ab. Tabelle 6-8 fasst die Aktivität zusammen.

<sup>48</sup> In der vorliegenden Dissertation wird ausschließlich die Modularisierung eines einzelnen Produkts fokussiert.

**Tabelle 6-8: DfP.B2 – Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung**

<b>Titel der Aktivität:</b> Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung		<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.B2
<b>Vorgehensbeschreibung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfrage von Auslösern für die Standardisierung von (Komponenten und) Modulen</li> <li>• Abfrage von Auslösern für die Simplifizierung von (Komponenten und) Modulen</li> </ul>		
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Vorläufige Produktarchitektur mit Funktions-, Baustruktur und Transformationsbeziehung	<b>Wirkung (Output):</b> Standards für (Komponenten und) Module Reduzierung der Teileanzahl des Produkts	
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> DfP.B2-Checkliste: Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung (Abbildung 10-5)		

**DfP.B3 – Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien:** Diese Aktivität deckt den Einfluss aus der Produktfamilie auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur ab. Dieser umfasst Gleich- und Wiederholteilstrategien (Tabelle 10-5). Beide Strategien stellen auf eine Mehrfachverwendung von Produktbestandteilen ab. Durch die frühzeitige Einbindung von Modullieferanten wird in der Konzeptphase der Fokus auf Module gelegt. Gleichteile sind Beschaffungsumfänge, welche mehrmals in einem individuellen Produkt verbaut sind. Wiederholteile (auch: Übernahmeteile) finden hingegen in verschiedenen Produkten Anwendung und werden in einer Produktfamilie mehrfach verbaut. Über die DfP.B3-Checkliste (Abbildung 10-6) werden für (Komponenten und) Module der vorläufigen Produktarchitektur die Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien abgefragt. Das Beschreibungsschema in Tabelle 6-9 fasst diese Aktivität zusammen.

**Tabelle 6-9: DfP.B3 – Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien**

<b>Titel der Aktivität:</b> Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien		<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.B3
<b>Vorgehensbeschreibung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfrage von Gleichteilstrategien für (Komponenten und) Module</li> <li>• Abfrage von Wiederholteilstrategien für (Komponenten und) Module</li> </ul>		
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Vorläufige Produktarchitektur mit Funktions- und Baustruktur sowie Transformationsbeziehung	<b>Wirkung (Output):</b> Gleich- und Wiederholteile in der vorläufigen Produktarchitektur	
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> DfP.B3-Checkliste: Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien (Abbildung 10-6)		

**DfP.B4 – Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten:** Vor der Beauftragung der Lieferanten erfolgt eine Bewertung ihrer individuellen Leistungsfähigkeit. Dafür werden Bewertungskriterien (und Gewichtung) angewendet, um eine wirklichkeitsgetreue und objektivierte Einschätzung der Leistungsfähigkeit des Lieferanten zu erhalten. Einen Überblick über solche Kriterien liefert Tabelle 10-11. Auf dieser Grundlage stellt die Fachliteratur zahlreiche Bewertungsverfahren (Tabelle 10-12) bereit. Der DfP.B4-Checkliste (Abbildung 10-7) ist eine Vorauswahl an Verfahren für den spezifischen Anwendungsfall zu entnehmen. Diese Vorauswahl ergibt sich aus der Abfrage der Bewertungskriterien. In der Konzeptentwicklung werden aufgrund ihrer frühzeitigen Einbindung vornehmlich Modullieferanten bewertet. Für diese Lieferanten ist die Fähigkeit, ein Liefernetzwerk zu koordinieren, essenziell und bei Modullieferanten zu berücksichtigen. In Tabelle 6-10 wird die Aktivität zusammengefasst.

**Tabelle 6-10: DfP.B4 – Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten**

<b>Titel der Aktivität:</b> Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten		<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.B4
<b>Vorgehensbeschreibung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Präferenzabfrage von Kriterien für die Lieferantenbewertung</li> <li>• Auswahl eines Bewertungsverfahrens für den spezifischen Anwendungsfall</li> <li>• Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten</li> </ul>		
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Liste zu beschaffender Umfänge (Module) Vergabefähige Lieferantengruppen	<b>Wirkung (Output):</b> Bewertung der Lieferanten hinsichtlich ihrer individuellen Leistungsfähigkeit	
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> DfP.B4-Checkliste: Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten (Abbildung 10-7)		

**DfP.B5 – Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks:** Mit dieser Aktivität wird die Stellung der Lieferanten im Liefernetzwerk bewertet. Sie wird von keinem der bestehenden Ansätze in der Fachliteratur aus Tabelle 10-12 unterstützt. Für diese Forschungslücke in den methodischen Grundlagen wird in der vorliegenden Dissertation eine Methode zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks entwickelt. Diese Methode berechnet die Abhängigkeiten zwischen den Lieferanten aus den Strukturinformationen im Systemmodell (Abbildung 6-2). Sie nutzt funktionale und geometrische Abhängigkeiten zwischen den Komponenten (und Modulen). Aus den Abhängigkeiten zwischen den Lieferanten lässt sich schließlich die Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks ableiten. Eine detaillierte Beschreibung der Methode schließt sich dem Beschreibungsschema für diese Aktivität in Tabelle 6-11 an. Die operative Durchführung der Methode wird über die DfP.B5-Checkliste (Abbildung 10-8) unterstützt.

Tabelle 6-11: DfP.B5 – Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks

<b>Titel der Aktivität:</b> Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks (Modul)		<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.B5
<b>Vorgehensbeschreibung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl der grundsätzlichen Beschaffungsstrategien (Prämissen für Materialgruppen)</li> <li>• Absicherung der Strategien über assoziierte Eigenschaften der Beschaffungsstrategien</li> </ul>		
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Vorläufige Produktarchitektur Liste zu beschaffender Umfänge (Module)	<b>Wirkung (Output):</b> Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks	
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> DfP.B5-Checkliste: Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks (Abbildung 10-8)		

Bei der **Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks**<sup>49</sup> werden die Abhängigkeiten zwischen den Lieferanten auf Basis der funktionalen und geometrischen Abhängigkeiten zwischen den Komponenten für die Bewertung herangezogen.

Die geometrischen Abhängigkeiten werden mit Formel 6-1 aus den Kontaktbeziehungen berechnet ( $DSM_{L-L, \text{Kontakt}}$ ). Für die Berechnung werden Kontaktbeziehungen der Komponenten ( $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$ ) und die Zuordnung der Lieferanten zu Komponenten ( $DMM_{L-K, \text{Liefer}}$ ) genutzt.

$$DSM_{L-L, \text{Kontakt}} = DMM_{L-K, \text{Liefer}} \times DSM_{K-K, \text{Kontakt}} \times DMM_{L-K, \text{Liefer}}^T \quad \text{Formel 6-1}$$

Die funktionalen Abhängigkeiten der Lieferanten ( $DSM_{L-L, \text{Funktion}}$ ) werden über die Formel 6-2 erhoben und nutzen die Flussbeziehung zwischen den Funktionen ( $DSM_{F-F, \text{Fluss}}$ ). Ferner wird die Lieferbeziehung zwischen Funktionen und Lieferanten ( $DMM_{L-F, \text{Liefer}}$ ) herangezogen. In der industriellen Praxis wird diese Lieferbeziehung nur selten erhoben, weshalb in diesem Fall auf eine alternative Berechnung über die Lieferbeziehung zwischen Komponenten und Lieferanten ( $DMM_{L-K, \text{Liefer}}$ ) sowie die Transformationsbeziehung zwischen Funktionen und Komponenten ( $DMM_{K-F, \text{Trafo}}$ ) zurückgegriffen wird. Diesen Sonderfall beschreibt bei der Applikation der Methode auf das begleitende Anwendungsbeispiel Formel 6-3.

$$DSM_{L-L, \text{Funktion}} = DMM_{L-F, \text{Liefer}} \times DSM_{F-F, \text{Fluss}} \times DMM_{L-F, \text{Liefer}}^T \quad \text{Formel 6-2}$$

Aus der  $DSM_{L-L, \text{Funktion}}$  wird die Kritikalität der Lieferanten berechnet. Diese ergibt sich aus der Aktiv- und Passivsumme des Lieferanten und erlaubt eine Einteilung in unkritische und kritische Lieferanten über ein Portfolio. Die Berechnungsformeln dieser Strukturkennzahlen sind [MAURER 2007, S. 199–239] zu entnehmen. In Abbildung 6-7 wird das Portfolio zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks aufgezeigt. Zudem werden die vier Quadranten Normstrategien aus der Fachliteratur dargestellt [WILDEMANN 2008, S. 99ff.].

<sup>49</sup> Grundlage für die Ausführungen der Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks bilden die Publikation BEHNCKE ET AL. [2013C] und die betreute Studienarbeit von PE-KÜBEL [2011].

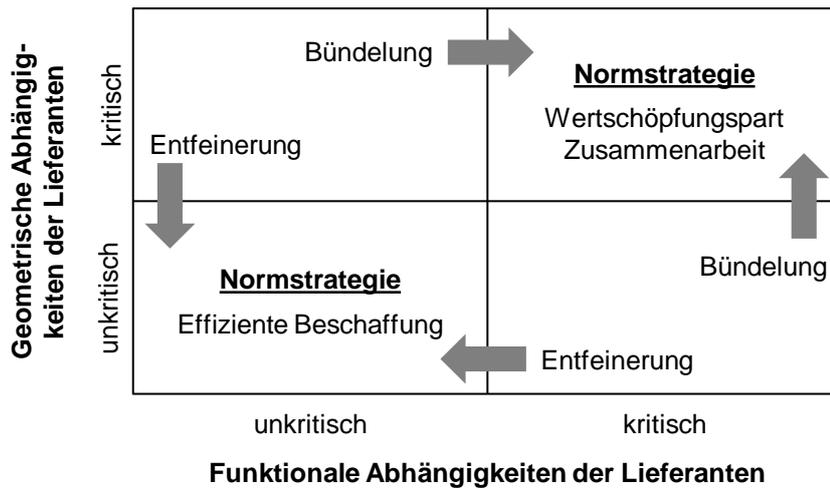


Abbildung 6-7: Portfolio zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks

**DfP.B6 – Umsetzung von Beschaffungsstrategien:** Diese Aktivität legt die Beschaffungsstrategien fest und setzt somit genaue Kenntnis über die Beschaffungsumfänge voraus. Die Konzeptentwicklung fokussiert Modullieferanten, da diese frühzeitig im Entwicklungsprozess eingebunden werden. Tabelle 3-4 gibt einen Überblick über bestehende Strategien. Die Abstimmung beeinflusst lediglich das Lieferanten-, Objekt- und Arealkonzept. Diese bilden die relevanten Beschaffungsstrategien für die Abfrage in der DfP.B6-Checkliste (Abbildung 10-9). Mit den Strategien sind Eigenschaften assoziiert, welche für die Beschaffungsumfänge abzusichern sind. Tabelle 6-12 zeigt das Beschreibungsschema der Aktivität.

Tabelle 6-12: DfP.B6 – Umsetzung von Beschaffungsstrategien

<b>Titel der Aktivität:</b> Umsetzung von Beschaffungsstrategien		<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.B6
<b>Vorgehensbeschreibung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl eines Beschaffungskonzepts und -strategien für zu beschaffenden Umfang (Tabelle 3-4)</li> <li>• Absicherung der ausgewählten Beschaffungsstrategien über assoziierte Eigenschaften</li> </ul>		
<b>Voraussetzungen und Input:</b> Liste zu beschaffender Umfänge (Module) Vergabefähige Lieferantengruppen	<b>Wirkung und Output:</b> Beschaffungsstrategie für zu beschaffende Umfänge (Modul)	
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> DfP.B6-Checkliste: Umsetzung von Beschaffungsstrategien (Abbildung 10-9)		

**DfP.B7 – Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk:** Kapitel 6.3 beschreibt die Abstimmung im Detail. Daher wird an dieser Stelle auf weitere Ausführungen verzichtet. Tabelle 6-13 dokumentiert im Sinne einer vollständigen Darstellung des Leitfadens die Aktivität zur Abstimmung über das bekannte Bewertungsschema.

Tabelle 6-13: DfP.B7 – Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk

<b>Titel der Aktivität:</b> Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk		<b>Identifikationsnummer:</b> DfP.B7
<b>Vorgehensbeschreibung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akquisition relevanter Informationen (APL.A)</li> <li>• Generierung von Szenarios für die Produktarchitektur (APL.B1)</li> <li>• Generierung von Szenarios für das Liefernetzwerk (APL.B2)</li> <li>• Abgleich der Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk (APL.C)</li> <li>• Bewertung und Darstellung der Lösungsalternativen (APL.D)</li> </ul>		
<b>Voraussetzungen (Input):</b> Informationen der DSM <sub>F-F, Fluss</sub> , DSM <sub>K-K, Kontakt</sub> , DMM <sub>K-F, Trafo</sub> und DMM <sub>L-F, Liefer</sub>		<b>Wirkung (Output):</b> Optimale Lösungsalternativen für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk
<b>Werkzeug und Hilfsmittel:</b> Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk (Kapitel 6.3)		

### DfP.C: Aktivitäten in der Systementwicklung

Die Systementwicklung (DfP.C) konkretisiert die vorläufige Produktarchitektur weiter bis eine endgültige Architektur vorliegt. Bei der Gestaltung der Produktarchitektur werden dieselben Aktivitäten wie bei der Konzeptentwicklung mit der endgültigen Architektur durchgeführt (DfP.C1–DfP.C3). Die Aktivitäten zum Liefernetzwerk sind in dieser Phase stärker auf die Komponentenlieferanten ausgerichtet (DfP.C4–DfP.C6). Serien- und Konzeptentwicklung umfassen dieselben Aktivitäten, weshalb sich im Folgenden auf die Unterschiede beschränkt wird.

**DfP.C1 – Strukturierung der endgültigen Produktarchitektur:** In dieser Aktivität erfolgt die Strukturierung der endgültigen Produktarchitektur auf Basis der Ergebnisse aus der Konzeptentwicklung. Für die Auswahl einer Methode zur Modularisierung und die Bewertung der Strukturierung kommt die DfP.B1-Checkliste (Abbildung 10-4) erneut zum Einsatz. Weitere Unterschiede zur Aktivität DfP.B1 ergeben sich nicht (Beschreibungsschema: Tabelle 6-7).

**DfP.C2 – Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung:** Diese Aktivität stellt auf den Einfluss von Standardisierung und Simplifizierung des Produkts ab. Dabei verschiebt sich der Schwerpunkt von Modulen auf Komponenten. Demnach wird in der Systementwicklung die Standardisierung und Simplifizierung von Komponenten forciert. In der Folge wird die DfP.B2-Checkliste (Abbildung 10-5) herangezogen (Beschreibungsschema: Tabelle 6-8).

**DfP.C3 – Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien:** Gleich- und Wiederholteilstrategien stellen den Einfluss aus der Produktfamilie auf die Gestaltung der Produktarchitektur dar. Mit dieser Aktivität wird dieser Einfluss während der Systementwicklung adressiert. Während in der Konzeptentwicklung Module im Vordergrund stehen, werden in der Systementwicklung die Komponenten fokussiert. Die Abfrage über die DfP.B3-Checkliste (Abbildung 10-6) bleibt von diesem Unterschied jedoch unberührt (Beschreibungsschema: Tabelle 6-9).

**DfP.C4 – Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit von Lieferanten:** Die Lieferantenbewertung ist essenziell für die Gestaltung des Liefernetzwerks. In der Systementwicklung fokussiert sich diese Aktivität auf die Bewertung von Komponentenlieferanten, während zuvor vornehmlich Modullieferanten einer Bewertung unterzogen werden. Diese zeichnen sich durch die Fähigkeit aus, ein Liefernetzwerk zu koordinieren. Somit verändert sich die Gewichtung der Kriterien für die Lieferantenbewertung. Die DfP.B4-Checkliste (Abbildung 10-7) und die Bewertungsverfahren bleiben davon jedoch unberührt (Beschreibungsschema: Tabelle 6-10).

**DfP.C5 – Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks:** Diese Aktivität ergänzt die Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten. Im Gegensatz zur Konzeptentwicklung fokussiert diese Aktivität Komponentenlieferanten. Die Methode zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks bleibt von diesem Unterschied unberührt, sodass für die operative Unterstützung dieser Aktivität die DfP.B5-Checkliste (Abbildung 10-8) heranzuziehen ist (Beschreibungsschema: Tabelle 6-11).

**DfP.C6 – Umsetzung von Beschaffungsstrategien bei der Lieferantenauswahl:** Die Abstimmung wird durch Beschaffungsstrategien beeinflusst. In der Konzeptentwicklung adressieren diese Strategien vornehmlich Module, während in der Systementwicklung Komponenten fokussiert werden. Die Abfrage der Strategien über die DfP.B6-Checkliste (Abbildung 10-9) wird von dem Unterschied nicht beeinträchtigt (Beschreibungsschema: Tabelle 6-12).

**DfP.C7 – Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk:** Die zentrale Aktivität zur Abstimmung wird hinlänglich von der Methodik in Kapitel 6.3 beschrieben. Lediglich die Eingangsgrößen haben sich verändert, sodass in der Serienentwicklung nicht länger auf vorläufige Produktarchitekturen zurückgegriffen werden muss. Inhalt und Umfang der Methodik bleiben davon jedoch unberührt (Beschreibungsschema: Tabelle 6-13).

### **Applikation des Leitfadens auf das begleitende Anwendungsbeispiel**

Der Leitfaden umfasst 17 relevante Aktivitäten für die Abstimmung. In der Konzept- und Systementwicklung werden dieselben Aktivitäten durchgeführt, weshalb sie nur für eine Entwicklungsphase dargestellt werden. Die letzte Aktivität in der Konzept- und Systementwicklung beschreibt die Abstimmung (DfP.B7 und DfP.C7). Diese wird in Form der Methodik zur Abstimmung in Kapitel 6.3.2 im Detail für das begleitende Anwendungsbeispiel dargestellt. Die Aktivitäten zur Strukturierung der Produktarchitektur (DfP.B1 und DfP.C1) werden durch das Clusterverfahren für Matrixmethoden unterstützt. Die Applikation des Verfahrens demonstriert Kapitel 6.4.2, weshalb von weiteren Ausführungen zu diesen Aktivitäten abgesehen wird.

Die Applikation des Leitfadens auf das begleitende Anwendungsbeispiel fokussiert sich auf die Unterstützung der Aktivitäten über die vorgestellten Checklisten. Demnach werden die Checklisten für die einzelnen Aktivitäten im Anhang (Kapitel 10.4) für das Flugzeugtriebwerk dargestellt. Die Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks wird als essenzieller Ergebnisbeitrag im Folgenden für das begleitende Anwendungsbeispiel durchgeführt.

**Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks:** Im Systemmodell zum begleitenden Anwendungsfall (Abbildung 6-5) liegen Informationen zu den funktionalen und geometrischen Abhängigkeiten der Komponenten vor. Zudem ist Abbildung 6-5

die Zuordnung der Komponenten zu Lieferanten zu entnehmen. Damit ergeben sich die geometrischen Abhängigkeiten zwischen den Lieferanten aus Formel 6-1. Für die Berechnung der funktionalen Abhängigkeiten der Lieferanten wird Formel 6-2 herangezogen. Diese ist für den Anwendungsfall aufgrund der verfügbaren Informationen anzupassen (Formel 6-3).

$$DSM_{L-L, Funktion} = DMM_{L-K, Liefer} \times DSM_{K-K, Funktion} \times DMM_{L-K, Liefer}^T \quad \text{Formel 6-3}$$

Das Ergebnis aus der Berechnung für die funktionalen und geometrischen Abhängigkeiten der Lieferanten stellen Abbildung 6-8 als  $DSM_{K-K, Funktion}$  und  $DSM_{K-K, Kontakt}$  dar. Die Matrizen sind ungerichtet, sodass auf die Darstellung eines Einflussportfolios verzichtet wird.

		Kontaktbeziehung										Funktionsbeziehung									
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	AS   PS	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	AS   PS		
Lieferanten	L1									1									3		
	L2									1									1		
	L3									4									0		
	L4									2									3		
	L5									2									3		
	L6									1									3		
	L7									2									0		
	L8									1									1		

Abbildung 6-8: Anwendungsbeispiel – Funktionale und geometrische Abhängigkeiten der Lieferanten

Aus der Aktiv- und Passivsumme (AS|PS) wird die Kritikalität der Lieferanten berechnet und für die Einordnung im Portfolio genutzt (Abbildung 6-9). Demnach ergeben sich zwei kritische Lieferanten (L4 und L5). Die weiteren Lieferanten sind zumeist aus nur einer Perspektive kritisch (Lieferant L1, L3, L6 und L7), während die übrigen Lieferanten unkritisch sind.

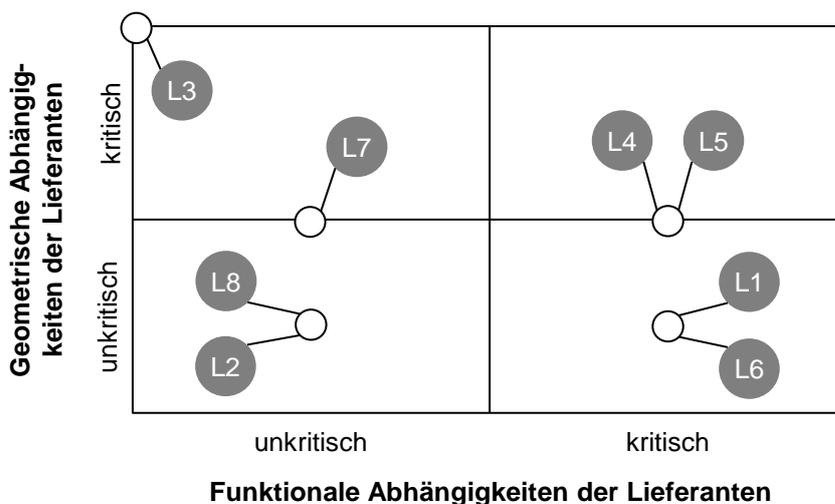


Abbildung 6-9: Anwendungsbeispiel – Portfolio zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks

### 6.2.3 Leitfaden: Zusammenfassung und Ergebnisbeitrag

In diesem Kapitel wird der Ergebnisbeitrag des Leitfadens zusammengefasst und ein Abgleich mit den handlungsleitenden Anforderungen aus Tabelle 5-1 durchgeführt.

Der Leitfaden umfasst die Planung, Konzept- und Serienentwicklung auf Basis der Referenzprozesses der Entwicklung (Abbildung 6-3). Er greift 17 relevante Aktivitäten für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk auf, welche über das einheitliche Beschreibungsschema (Tabelle 6-1) dokumentiert werden. Durch die Dokumentation der Aktivitäten wird die Verankerung der Abstimmung in den Geschäftsprozessen der Unternehmung unterstützt. Damit wird die Anforderung nach der organisatorischen Einbettung durch den Leitfaden abgedeckt. Die Aktivitäten sind sowohl in der Entwicklung und Beschaffung verortet und adressieren entweder die Produktarchitektur oder das Liefernetzwerk, sodass der Leitfaden auch die Anforderung an die zu berücksichtigenden Domänen erfüllt (A.1).

Die Produktplanung (DfP.A) legt die Rahmenbedingungen für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk fest. Demnach wird die grundsätzliche Gestalt der Produktarchitektur bestimmt. In der Beschaffung wird die Gestaltung der Lieferantenbasis durch die Vorauswahl von Lieferanten und deren Eingrenzung fokussiert. Für diese drei Aktivitäten erfolgt über Checklisten eine umfassende Unterstützung des Anwenders.

Die Konzeptentwicklung (DfP.B) stimmt Produktarchitektur und Liefernetzwerk ab. Diese Abstimmung wird durch sechs weitere Aktivitäten in Entwicklung und Beschaffung begleitet. Die Aktivitäten werden nicht explizit von der Methodik zur Abstimmung berücksichtigt und werden folglich in dem vorliegenden Leitfaden beschrieben. Bei der Gestaltung der Produktarchitektur manifestieren sich diese Aktivitäten in der Strukturierung vorläufiger Architekturen für das Produkt und der Umsetzung von Standardisierung, Simplifizierung, Gleich- und Wiederholteilstrategien. Bei der Gestaltung des Liefernetzwerks steht hingegen die Bewertung der Lieferanten hinsichtlich ihrer individuellen Leistungsfähigkeit und im Kollektiv des Liefernetzwerks im Fokus. Ferner wird die Umsetzung von Beschaffungsstrategien durch eine Aktivität adressiert. Der Leitfaden stellt auch für diese Aktivitäten unterstützende Checklisten zur Verfügung. Für die Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks wird darüber hinaus eine eigens entwickelte Methode vorgestellt.

In der abschließenden Systementwicklung (DfP.C) erfolgt ebenfalls eine Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Dabei werden sowohl bei der Gestaltung der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks dieselben Aktivitäten wie in der Konzeptentwicklung angewendet. Bei der Produktarchitektur wird lediglich mit der endgültigen Architektur gearbeitet. Die weiteren Unterschiede zwischen den beiden Entwicklungsphasen ergeben sich in einer Verschiebung des Betrachtungsgegenstands von Modulen zu Komponenten des Produkts. Demnach kommen in der Serienentwicklung die bereits bekannten Checklisten und Methoden aus der Konzeptentwicklung erneut zum Einsatz.

Mit den konkreten Handlungsempfehlungen für die einzelnen Aktivitäten über die vorgestellten Checklisten und Methoden wird vom Leitfaden auch die Anforderung an die Konkretisierung (A.3) erfüllt. Der vorgestellte Leitfaden adressiert folglich sämtliche Anforderungen und liefert damit die organisatorische Einbettung für die Methodik zur Abstimmung.

## 6.3 Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk<sup>50</sup>

Der zweite Baustein des Lösungsansatzes umfasst die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen. Dieser wird von dem Leitfaden in den Geschäftsprozessen der Unternehmung verankert. Die Methodik zur Abstimmung ist essenzielles Vehikel zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks. Nach Klärung des Anwendungsgebiets wird die Anwendung der Methodik zur Abstimmung eingehend beschrieben und der Ergebnisbeitrag zusammengefasst.

### 6.3.1 Methodik: Klärung des Anwendungsgebiets

Für die Klärung des Anwendungsgebiets wird die Zielsetzung und -gruppe der Methodik zur Abstimmung abgegrenzt. Zudem wird eine Empfehlung für die Anwendung in der industriellen Praxis formuliert und eine Verortung im Referenzprozess (Abbildung 6-3) vorgenommen.

#### **Welche Zielsetzung verfolgt die Methodik zur Abstimmung?**

Die Zielsetzung der Methodik zur Abstimmung erwächst aus der identifizierten Forschungslücke, welche Kapitel 5.2 als handlungsleitende Anforderungen an den Lösungsansatz formuliert. Die Methodik zielt auf die Abstimmung in frühen Phasen der Entwicklung ab (A.6). Es wird eine Abstimmung auf der Ebene von Strukturattributen fokussiert, da diese einen merklichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks verspricht [GAN & GRUNOW 2013; MIN & ZHOU 2002]. Durch die Abstimmung über Strukturattribute und die Verfügbarkeit von Informationen zu Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen ist die Abstimmung auf Basis von Strukturinformationen (A.4) durchzuführen. Ferner fordert die industrielle Praxis eine umfassende Unterstützung durch konkrete Handlungsanweisungen für den spezifischen Anwendungsfall (A.5). Diese Art der Unterstützung schreibt die Zielsetzung eines mathematischen Modells mit fallspezifischer Optimierung fest. Für die Bemessung der Qualität der Abstimmung wird auf ein direktes Gütekriterium abgestellt (A.8), welches sich durch die Verwendung von Strukturinformationen (A.4) in Kombination mit einem mathematischen Modell (A.5) zur Zielsetzung eines strukturellen Gütekriteriums ergibt. Aus der geforderten Untersuchung des gesamten Lösungsraums (A.9) erwächst zudem die Zielsetzung einer simultanen Sequenz bei der Abstimmung (A.7).

#### **Wer ist die Zielgruppe für die Methodik zur Abstimmung?**

Die Zielgruppe für die Methodik zur Abstimmung sind analog zur Zielgruppe des Leitfadens Unternehmen mit einem geringen eigenen Wertschöpfungsanteil. Daraus ergibt sich bei der Erstellung von komplexen technischen Produkten ein gewisser Umfang der Lieferantenbasis, aus dem der Bedarf nach einer Abstimmung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk

---

<sup>50</sup> Grundlage für die Methodik bilden die Publikation von BEHNCKE ET AL. [2014D] und die betreuten Studienarbeiten von PE-SCHRENK [2014] und PE-WALTER [2013].

erwächst. In der produzierenden Industrie weisen Originalteilhersteller und Lieferanten mit umfassender Systemverantwortung diese charakteristische Wertschöpfungsverteilung auf. Beispiel für eine Branche wäre die Automobilindustrie [BARDI 2002, S. 10]. Zielgruppe in den Unternehmen sind Praktiker, welche sich der Kollaboration an der organisatorischen Schnittstelle zwischen Entwicklung und Beschaffung widmen. Diese Praktiker bringen ihre fachspezifische Expertise in Simultaneous Engineering Teams (SE-Teams) ein, welche folglich durch die Methodik zur Abstimmung in frühen Entwicklungsphasen methodisch unterstützt werden.

### **Wann empfiehlt sich die Anwendung der Methodik zur Abstimmung?**

Zuletzt wird eine Empfehlung zum Zeitpunkt und Schwerpunkt der Anwendung der Methodik gegeben. Mit dem Fokus auf frühe Entwicklungsphasen werden grundsätzlich die Planung, Konzept- und Systementwicklung mit ihren inhärenten Aktivitäten aus Abbildung 6-3 betrachtet. Die Planung legt die Rahmenbedingungen für die Abstimmung über grundlegende Gestaltungsrichtlinien fest. Diese werden jedoch nicht der Forderung der Anwender nach einer umfassenden Unterstützung gerecht. Damit liegt der Fokus auf der Konzept- und Systementwicklung. Neben dem Zeitpunkt wird ferner eine Empfehlung für den Schwerpunkt der Anwendung gegeben. Das Liefernetzwerk umfasst analog zur Definition in der vorliegenden Dissertation (Kapitel 2.2.1) den Fluss (Material, Information und Kapital) vom Rohstofflieferanten bis zum Originalteilhersteller. Die Auswahl von Rohstoffen sowie korrespondierenden Rohstofflieferanten beschreiben nach GAN & GRUNOW [2013] detaillierte Attribute von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Damit berücksichtigt die Methodik zur Abstimmung keine Rohstofflieferanten in dem resultierenden Liefernetzwerk.

### **6.3.2 Methodik: Beschreibung der Anwendung**

Die Methodik zur Abstimmung (APL) nutzt als Grundlage den Ansatz von BEHNCKE ET AL. [2014D], welcher entsprechend den handlungsleitenden Anforderungen (Kapitel 5.2) ergänzt wird. Die Methodik leitet konkrete Handlungsempfehlungen für die Abstimmung auf Basis einer mathematischen Optimierung unter Verwendung von Strukturinformationen aus. Einen Überblick über das grundlegende Vorgehen der Methodik schließt sich einer detaillierten Beschreibung der einzelnen Vorgehensschritte an.

#### **APL: Vorgehen der Methodik zur Abstimmung**

Die Methodik zur Abstimmung umfasst fünf Schritte und fußt auf der initialen Akquisition von relevanten Informationen (APL.A) zu den Domänen des Systemmodells (Abbildung 6-2).

Die simultane Generierung von Szenarios für Produktarchitektur (APL.B1) und Liefernetzwerk (APL.B2) beschreibt den Lösungsraum für die Abstimmung. Damit begegnet die Methodik der Begrenzung des Lösungsraums aus der Sequenz der Abstimmung. Die Szenarios für die Produktarchitektur werden zudem von der Produktfamilie und dem Entwicklungsprozess beeinflusst (Kapitel 3.1.2). Vier Aktivitäten (DfP.B2, DfP.B3, DfP.C2 und DfP.C3) aus dem Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung beschreiben diesen Einfluss. Beim Liefernetzwerk besitzen hingegen Lieferantenbasis und -management (Kapitel 3.2.2) einen Einfluss auf die Szenarios des Liefernetzwerks, welche durch drei Aktivitäten des Leitfadens (DfP.A3,

DfP.B6 und DfP.C6) abgedeckt werden. Die Aktivitäten beschreiben den Einfluss vollumfänglich, weshalb dieser nicht weiter beschrieben wird.

Im vierten Schritt (APL.C) erfolgt der Abgleich zwischen den Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Für den Abgleich wird die strukturelle Übereinstimmung als Gütekriterium herangezogen, welche ausschließlich auf Strukturinformationen zurückgreift.

In dem abschließenden Schritt (APL.D) erfolgt eine individuelle Bewertung der Lösungsalternativen über eine Auswahl an Metriken mit der Zielsetzung, dem Anwender konkrete Handlungsanweisungen für den spezifischen Anwendungsfall bereitzustellen. Eine Lösungsalternative beschreibt dabei ein spezifisches Szenario für Produktarchitektur und Liefernetzwerk.

Abbildung 6-10 zeigt schematisch das Vorgehen der Methodik zur Abstimmung. Die fünf Schritte werden im Folgenden detailliert beschrieben und deren Ergebnisse an dem begleitenden Anwendungsbeispiel aus Kapitel 6.1.3 dargestellt.

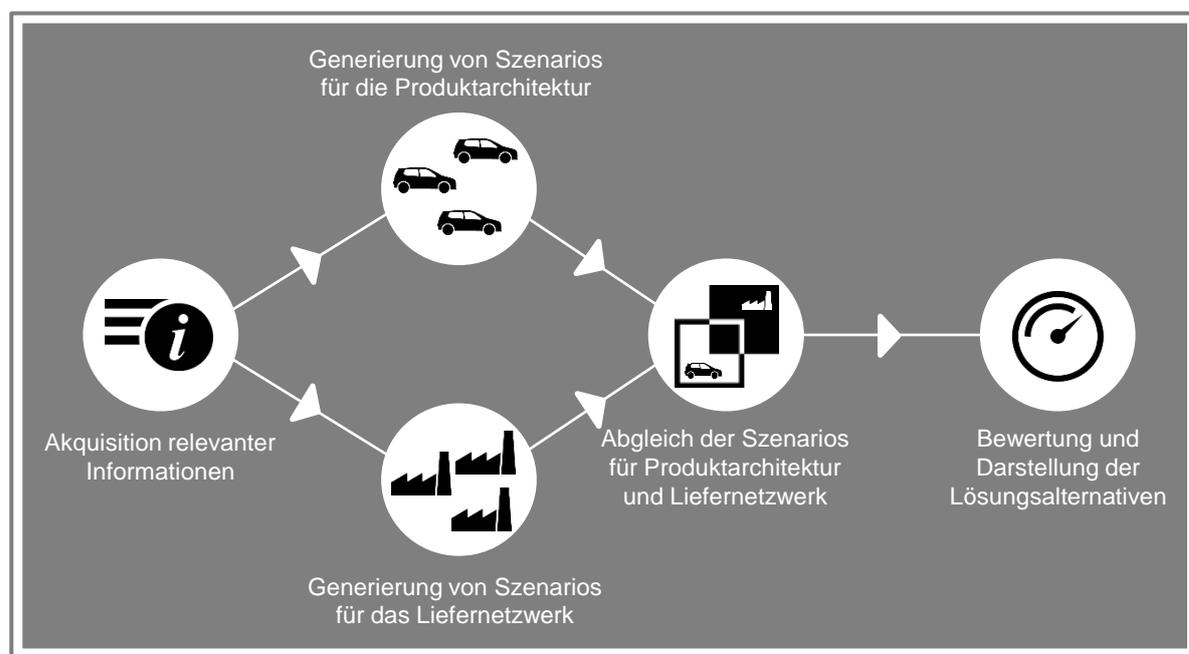


Abbildung 6-10: Vorgehen der Methodik zur Abstimmung

### APL.A: Akquisition relevanter Informationen

Der erste Schritt fokussiert die **Erhebung erforderlicher Informationen** aus dem Systemmodell (Abbildung 6-2). Damit werden Informationen zu Elementen einer Domäne und zu Relationen einer Vernetzungsart dargestellt. Die Fachliteratur stellt verschiedene Methoden zur Informationsakquisition bereit. Die Auswahl einer Methode ist an den Anwendungsfall zu adaptieren und wird von geforderter Fehlerfreiheit, antizipierter Planungssicherheit und voraussichtlichem Aufwand für die Datenerhebung konstituiert [LINDEMANN ET AL. 2009, S. 79ff.].

Mit der Fehlerfreiheit wird das Risiko beschrieben, mit dem durch die Methode der Informationsakquisition eine falsche Relation erhoben oder eine richtige Relation vergessen wird. In der

industriellen Praxis wird dieses Risiko über Plausibilitätschecks mitigiert. Die Planungssicherheit bewertet die langfristige Verfügbarkeit der Informationsquellen und Vollständigkeit der Informationen. Das letzte Kriterium ist der Aufwand für die Datenerhebung. Dieser setzt sich aus dem Aufwand für die Vorbereitung (Verfügbarkeit und Form vorhandener Informationen), Durchführung (Methode der Informationsakquisition) und Nachbereitung (Fehlerkontrolle erhobener Informationen) zusammen. Tabelle 10-21 stellt fünf grundlegende **Methoden zur Informationsakquisition** (Interviews und Workshops, Fragebogen, Einzelarbeit und Teamarbeit, Modelltransformation und Data Mining) vor [LINDEMANN ET AL. 2009, S. 82ff.].

Für die Methodik zur Abstimmung sind native Strukturinformationen aus vier Matrizen erforderlich. Die Erhebung dieser Informationen wird im Folgenden beschrieben. Die Reihenfolge der Beschreibung stellt einen grundsätzlichen Vorschlag für die Abfolge der Erhebung dar.

**Erhebung der DSM<sub>F-F, Fluss</sub>:** Die DSM stellt die Abhängigkeiten (Flussbeziehungen) zwischen den einzelnen Funktionen des Produkts dar und beschreibt die Funktionsstruktur. Für die Erhebung dieser Informationen bieten Funktionsmodelle eine methodische Grundlage. LINDEMANN [2009, S. 117ff.] stellt vier Arten von Funktionsmodellen vor.<sup>51</sup> Aus der Zielstruktur für diese DSM wird ein hierarchisches Funktionsmodell fokussiert, was einen einheitlichen Konkretisierungsgrad der Funktionen erfordert. Für die grundlegende Erhebung der relevanten Funktionen bieten sich jedoch umsatzorientierte oder relationsorientierte Funktionsmodelle an. Diese Modelle bieten dem Anwender durch Hilfsmittel<sup>52</sup> eine umfassendere Unterstützung bei der Identifikation von relevanten Funktionen und erlauben bei der Überführung in ein hierarchisches Funktionsmodells die Berücksichtigung des Konkretisierungsgrads. Folglich wird durch ein umsatzorientiertes oder relationsorientiertes Funktionsmodell die Vollständigkeit sichergestellt, während die Überführung in ein hierarchisches Funktionsmodell einen einheitlichen Konkretisierungsgrad und die Konformität mit der Zielstruktur (Hierarchie) gewährleistet. Für die Erstellung des initialen Funktionsmodells (umsatzorientiert oder relationsorientiert) bietet sich die Durchführung eines Workshops an, welcher eine hohe Fehlerfreiheit und Ergebnisqualität durch die Einbindung mehrere Teilnehmer aus der Entwicklung und die Möglichkeit der Nachfrage verspricht. Für die Überführung der initialen Informationen in ein hierarchisches Funktionsmodell bietet sich eine Modelltransformation an, welche zur Sicherstellung der Ergebnisqualität abschließend noch mit den Teilnehmern aus dem Workshop zu diskutieren ist.

**Erhebung der DSM<sub>K-K, Kontakt</sub>:** Diese DSM gibt einen Überblick über Kontaktbeziehungen zwischen Produktkomponenten und zielt auf die Abbildung der Baustruktur des Produkts ab. Die Baustruktur beschreibt die physischen Beziehungen zwischen Komponenten analog zu den Flussbeziehungen der Funktionsstruktur. Die Beziehungen stellen auf Schnittstellen zwischen den Komponenten ab [GÖPFERT 2009, S. 104]. Bei bestehenden Produkten sind Informationen zu den Komponenten der Stückliste zu entnehmen und Kontaktbeziehungen über gängige

---

<sup>51</sup> Bei den vier Modellen handelt es sich um ein umsatzorientiertes, relationsorientiertes, nutzerorientiertes und hierarchisches Funktionsmodell [LINDEMANN 2009, S. 117ff.].

<sup>52</sup> Hilfsmittel bei relationsorientierten Funktionsmodellen sind Fragen zu nützlichen und schädlichen Funktionen. Bei umsatzorientierten Funktionsmodellen unterstützt die Trennung in Haupt- und Nebenumsätze sowie die Formulierung von Ergänzungs-, Bedingungs- und Prozesszuständen den Anwender.

CAD-Systeme mittels einer Kollisionsanalyse abzuleiten. In diesem Fall kann durch eine Modelltransformation eine hohe Planungssicherheit bei geringem Aufwand für die Datenerhebung kombiniert werden. Belastbare Informationen zu diesen Abhängigkeiten sind bei fundamental neuen Produkten ab der System- und Einzelteilentwicklung zu erheben. In der Konzeptentwicklung wird die grundlegende Struktur über die Dekomposition des Produkts festgelegt [ULRICH & EPPINGER 2004, S. 99ff.] und kann als Grundlage für eine initiale Erhebung der Kontaktbeziehungen über semistrukturierte Workshops mit erfahrenen Entwicklern dienen. In diesem Fall steht dem (vergleichsweise) hohen Aufwand für die Datenerhebung nur eine moderate Fehlerfreiheit gegenüber, da in der Konzeptentwicklung die Omnipräsenz von Unsicherheiten die Informationsakquisition beeinflusst. Zudem ist die geringe Planungssicherheit von Workshops bei der Erhebung in dieser Entwicklungsphase zu berücksichtigen.

**Erhebung der  $DMM_{K-F, \text{Trafo}}$ :** Mit dieser DMM wird die Transformationsbeziehung von Funktionen und physischen Komponenten als Bestandteile der Produktarchitektur beschrieben. Dabei handelt es sich um eine Zuordnung, welche Komponenten eine spezifische Funktion erfüllen. Grundsätzlich wird bei dieser Zuordnung zwischen einer Integral- und Differentialbauweise unterschieden [MÜLLER 2013, S. 719]. Bei Ersterer werden mehrere Funktionen von einer Komponente erfüllt, während bei der Differentialbauweise jede Komponente genau eine Funktion übernimmt. In der industriellen Praxis herrschen Mischformen vor, welche zwischen diesen beiden extremen Ausprägungen der Bauweise anzusiedeln sind. Für die Erhebung dieser DMM werden aus der  $DSM_{F-F, \text{Fluss}}$  die Funktionen und aus der  $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$  die Komponenten des Produkts abgeleitet. Die Zuordnung zwischen diesen beiden Domänen erfolgt schließlich über einen Workshop mit mehreren Teilnehmern aus der Entwicklung, sofern es sich um ein fundamental neues Produkt handelt und keine bestehenden Informationen herangezogen werden können. Planungssicherheit, Fehlerfreiheit und Aufwand für die Datenerhebung für den Workshop sind Tabelle 10-21 zu entnehmen.

Mit den Informationen aus den drei obenstehenden Matrizen lässt sich die Architektur eines Produkts eindeutig beschreiben. In der industriellen Praxis empfiehlt sich eine **integrierte Erhebung der relevanten Informationen** zur Funktions- und Baustruktur sowie deren Transformationsbeziehung in einem Workshop. Mit der initialen Erhebung der Funktionen über ein Funktionsmodell ( $DSM_{F-F, \text{Fluss}}$ ) wird anschließend die enge Assoziation der Entwickler zwischen Funktionen und Komponenten für die Erhebung der  $DMM_{K-F, \text{Trafo}}$  genutzt. Zum Abschluss dieses integrierten Workshops mit mehreren Teilnehmern aus der Entwicklung wird die Baustruktur ( $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$ ) synthetisiert und bei bestehenden Produkten ein Plausibilitätscheck der Komponenten über die Stückliste durchgeführt. Finden sich nicht alle Komponenten aus der Stückliste in der  $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$  wieder, ist das ein Hinweis auf fehlende Funktionen, Komponenten oder Transformationsbeziehungen zwischen den beiden Domänen. Folglich ist ein Iterationsschritt im integrierten Workshop der Auflösung dieses Widerspruchs zu widmen.

Neben den nativen Strukturinformationen zur Produktarchitektur ( $DSM_{F-F, \text{Fluss}}$ ,  $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$ ,  $DMM_{K-F, \text{Trafo}}$ ) ist zudem eine grundlegende Zuordnung von Beschaffungsumfängen zu potenziellen Beschaffungsquellen aus der Lieferantenbasis erforderlich.

**Erhebung der  $DMM_{L-F, \text{Liefer}}$ :** Mit dieser DMM erfolgt eine Zuordnung von potenziellen Lieferanten zu Produktfunktionen über die Lieferbeziehung. Damit wird geprüft, ob die Lieferantenbasis potenzielle Lieferanten für die spezifischen Produktfunktionen und das resultierende

Set an erforderlichen Kompetenzen bereitstellt. Die Zuordnung von Lieferanten zu den Funktionen erfolgt bei neuen Produkten in einem interdisziplinären Workshop mit Teilnehmern aus Entwicklung und Beschaffung. Die Erhebung der relevanten Informationen in dem interdisziplinären Workshop fußt dabei auf der Zusammenstellung an Funktionen aus der Funktionsstruktur ( $DMM_{K-F, \text{Trafo}}$ ) und den potenziellen Lieferanten aus der Lieferantenbasis. Der Aufwand für die initiale Zuordnung von Funktionen zu potenziellen Lieferanten (Datenerhebung) ist hoch, verspricht zugleich aber eine hohe Fehlerfreiheit (vgl. Tabelle 10-21). Bei bestehenden Produkten können aus den Stücklisten die relevanten Informationen zur Zuordnung von Lieferanten zu Komponenten ( $DMM_{L-K, \text{Liefer}}$ ) über eine Modelltransformation ausgeleitet werden. Diese Informationen sind zumeist dem Warenwirtschaftssystem der Unternehmung zu entnehmen. Die Zuordnung von Lieferanten zu Funktionen wird konsekutiv über die Abhängigkeiten zwischen Komponenten und Funktionen ( $DMM_{K-F, \text{Trafo}}$ ) sowie der Zuordnung von Lieferanten zu Komponenten ( $DMM_{L-K, \text{Liefer}}$ ) mittels Matrixmultiplikation nach Formel 6-4 berechnet.

$$DMM_{L-F, \text{Liefer}} = DMM_{L-K, \text{Liefer}} \times DMM_{K-F, \text{Trafo}} \quad \text{Formel 6-4}$$

Mit der Modelltransformation werden eine hohe Fehlerfreiheit und ein geringer Aufwand für die Datenerhebung bei der Zuordnung potenzieller Lieferanten zu Produktfunktionen kombiniert.

### APL.B1: Generierung von Szenarios für die Produktarchitektur

Im zweiten Schritt wird der Lösungsraum an Szenarios für die Produktarchitektur aus den nativen Strukturinformationen des vorhergehenden Schritts APL.A generiert. Die Szenarios beschreiben Alternativen für die Dekomposition des Produkts in Module. In der Praxis erfolgt die Dekomposition mittels Clusterverfahren. Cluster bündeln Komponenten auf Basis ihrer Abhängigkeiten zu Modulen und beschreiben somit ein spezifisches Szenario für die Produktarchitektur. Bei alternativen Szenarios ergibt sich eine andere Zusammenstellung der Cluster, sodass die Komponenten in anderen Modulen gebündelt werden.

Die Generierung von Szenarios erfordert die abgeleiteten Informationen aus einer Matrix, welche auf Basis der nativen Strukturinformationen (APL.A) zu berechnen sind. Diese Berechnung wird gemeinsam mit der Ableitung und Reduzierung des Lösungsraums im Folgenden beschrieben.

**Berechnung der  $DSM_{K-K, \text{Funktion}}$ :** Diese DSM zeigt die Funktionsbeziehung zwischen Komponenten, welche mit den Kontaktbeziehungen der Komponenten die wesentlichen Abhängigkeiten für das Clustering und die Bündelung von Komponenten in Modulen<sup>53</sup> darstellen. Die  $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$  liefert native Informationen zu den Kontaktbeziehungen zwischen den Komponenten des Produkts. In der Konzeptentwicklung steht lediglich eine vorläufige Produktarchitektur zur Verfügung, sodass insbesondere die Kontaktbeziehungen noch erheblichen Unsicher-

---

<sup>53</sup> Die Ansätze zur Modularisierung (Tabelle 10-4) greifen ausschließlich auf funktionale oder geometrische sowie eine Kombination aus beiden Abhängigkeiten zurück.

heiten unterworfen sind. In dieser Entwicklungsphase bieten sich folglich funktionale Abhängigkeiten zwischen den Komponenten für das Clustering an. Die Berechnung dieser DSM erfolgt über Formel 6-5 und bildet die Funktionsbeziehungen der Komponenten ab.

$$DSM_{K-K, \text{ Funktion}} = DMM_{K-F, \text{ Trafo}} \times DMM_{K-F, \text{ Trafo}}^T \quad \text{Formel 6-5}$$

Die alternative Berechnung der  $DSM_{K-K, \text{ Funktion}}$  über die  $DMM_{K-F, \text{ Trafo}}$  und  $DSM_{F-F, \text{ Fluss}}$  wurde aufgrund der Stärke der Relation nicht verwendet. Mit zunehmender Länge indirekter Abhängigkeiten nimmt deren Stärke ab [LINDEMANN ET AL. 2009, S. 96ff.]. Zudem ergibt diese Berechnung eine weitere Möglichkeit für die Verknüpfung von Komponenten. Demnach wären Komponenten auch verknüpft, wenn sie unterschiedliche Funktionen erfüllen, welche jedoch miteinander verbunden sind. Mit der zunehmenden Konkretisierung des Produkts sind ab der Systementwicklung belastbarere Informationen zu Kontakt- und Funktionsbeziehungen vorhanden, weshalb ab dieser Entwicklungsphase funktionale und geometrische Abhängigkeiten für das Clustering herangezogen werden können. Hierfür ergeben sich zwei Alternativen, welche in der industriellen Praxis gleichermaßen angewendet werden. Bei der ersten Alternative werden die beiden Abhängigkeiten (funktional und geometrisch) mittels einer Summen-DSM überlagert. In der Summen-DSM gehen jedoch die initialen Abhängigkeiten verloren, sodass diese Alternative in der vorliegenden Dissertation keine Anwendung findet. Die zweite Alternative nutzt die beiden Abhängigkeiten in einer Sequenz. Für ein initiales Clustering werden die funktionalen Abhängigkeiten verwendet, womit auf die Ergebnisse der Konzeptentwicklung zurückgegriffen werden kann. Anschließend werden die resultierenden Cluster mit den geometrischen Abhängigkeiten abgeglichen und Widersprüche identifiziert sowie aufgehoben.

**Ableitung des Lösungsraums:** Die Generierung der Szenarios für die Produktarchitektur erfolgt mittels Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) auf der Basis von Informationen aus der berechneten  $DSM_{K-K, \text{ Funktion}}$ . In diesem Kapitel wird die Methodik zur Abstimmung (APL) fokussiert, weshalb lediglich der relevante Ergebnisbeitrag des Clusterverfahrens aufgegriffen wird. Eine detaillierte Beschreibung des Clusterverfahrens ist Kapitel 6.4.2 zu entnehmen. Über freie Kombinatorik wird der Lösungsraum an Szenarios für die Produktarchitektur ausgeleitet. Der Umfang des Lösungsraums wird ausschließlich von der Anzahl der Produktkomponenten konstituiert. Für ein initiales Clustering bieten sich exklusive Cluster an. Diese berücksichtigen keine überlappenden Cluster und beschreiben somit lediglich einen Teil des Lösungsraums für ein gegebenes System. Für exklusive Cluster wird der Lösungsraum mathematisch über eine Auswahlproblematik ohne Wiederholung mit Reihenfolge beschrieben. Die Berechnung erfolgt über die Stirling-Zahl zweiter Art (Formel 6-6), die es ermöglicht, eine bestimmte Menge  $n$  in nichtleere, disjunkte Teilmengen mit einer spezifischen Größe  $k$  aufzuteilen. In Tabelle 10-22 wird die Anzahl an Szenarios auf Basis der Stirling-Zahl exemplarisch für einzelne Werte für die Menge  $n$  und die Größe  $k$  dargestellt.

$$S(n, k) = \frac{1}{k!} \sum_{i=0}^k (-1)^{k-i} \cdot \binom{k}{i} \cdot i^n \quad \text{Formel 6-6}$$

Bei der Sterlingzahl wird aus der Menge  $n$  eine bestimmte Anzahl  $k$  gezogen, die verbleibende Menge an Elementen  $(n-k)$  wird aber nicht berücksichtigt [EVERITT ET AL. 2011, S. 121]. In dieser Menge lassen sich jedoch weitere Cluster identifizieren, welche schließlich das Szenario

für die Produktarchitektur beschreiben. Die Berechnung dieser weiteren Cluster wird als Partitionierungsproblem beschrieben [ALIDAEE ET AL. 2005; MERTENS 2006] und kann durch eine Summation nach Formel 6-7 bestimmt werden. Demnach ergibt sich die Anzahl der Szenarios ( $n_{PA}$ ) aus der Summe der Sterling-Zahl zweiter Art für die Anzahl an Komponenten ( $n_K$ ) des Produkts. In Tabelle 10-22 wird der Lösungsraum an Szenarios als Zeilensumme aus der Sterling-Zahl zweiter Art für verschiedene Teilmengen der Größe  $k$  dargestellt.

$$n_{PA} = \sum_{k=1}^{n_K} \frac{1}{k!} \sum_{i=0}^k (-1)^{k-i} \cdot \binom{k}{i} \cdot i^{n_K} \quad \text{Formel 6-7}$$

Für eine Untersuchung des gesamten Lösungsraums ist die Berücksichtigung überlappender Cluster unerlässlich, weshalb diese von dem Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) fokussiert werden. Mit Formel 6-16 ergibt sich schließlich der Lösungsraum an Szenarios für die Produktarchitektur unter Berücksichtigung überlappender Cluster. Die Formel wird in Kapitel 6.4.2 ausführlich erläutert. In Tabelle 7-5 wird der Vergleich zwischen dem Lösungsraum an exklusiven und überlappenden Clustern für verschiedene Systemgrößen aufgezeigt. Die Darstellung der Cluster für ein Szenario erfolgt über blockdiagonale Matrizen und Clusterdiagramme<sup>54</sup> [MCCORMICK ET AL. 1972; EVERITT ET AL. 2011, S. 72ff.].

**Reduzierung des Lösungsraums:** Bereits für Produkte mit einer geringen Anzahl an Komponenten ergeben sich zahlreiche Szenarios für die Produktarchitektur (Tabelle 7-5). Um den Lösungsraum auf eine handhabbare Anzahl an Szenarios zu begrenzen, wird in der Praxis eine Bewertung der Szenarios durchgeführt. Nach BEHNCKE ET AL. [2014C] ergeben sich für diese Bewertung zwei Perspektiven (Cluster und System). In Form von Metriken sind diese essenzieller Bestandteil des Clusterverfahrens für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) und werden dort ausführlich beschrieben. Folglich liefert das Clusterverfahren eine Auswahl an Szenarios für die Produktarchitektur mit einer vorgeschriebenen Qualität. Neben dieser intendierten Reduzierung des Lösungsraums wird die spezifische Ausgestaltung eines Szenarios durch Mechanismen aus Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern beeinflusst (Kapitel 3.1.2). Dieser Einfluss beschreibt Mechanismen, welche über vier Aktivitäten (DfP.B2, DfP.B3, DfP.C2 und DfP.C3) aus dem Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung adressiert und dort beschrieben werden. Der Effekt der Mechanismen wird im Folgenden zum besseren Verständnis aufgeführt:

- **Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung (DfP.B2 und DfP.C2):** Komponenten und Module werden hinsichtlich ihrer geometrischen Eigenschaften und Schnittstellen vereinheitlicht festgelegt (Standardisierung), was die freie Kombination einschränkt und den Lösungsraum reduziert. Ferner werden Produkt und Prozess durch eine Reduzierung der Teileanzahl vereinfacht (Simplifizierung). Die Anzahl der Komponenten konstituiert den Umfang des Lösungsraums, folglich wird damit der Lösungsraum beschränkt.
- **Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien (DfP.B3 und DfP.C3):** Komponenten und Module werden innerhalb eines Produkts (Gleichteil) oder innerhalb einer Produktfamilie (Wiederholteil) mehrfach verwendet. Dies schränkt die freie Kombination ein und kann somit in einer Reduzierung des Lösungsraums resultieren.

<sup>54</sup> Diese lehnen sich an dem Dendrogramm für hierarchische Clusterverfahren an [EVERITT ET AL. 2011, S. 72ff.].

## APL.B2: Generierung von Szenarios für das Liefernetzwerk

Simultan zum Schritt APL.B1 erfolgt die Generierung von Szenarios für das Liefernetzwerk, welche analog zur Produktarchitektur Alternativen für die Aufteilung des Produkts beschreiben. Dabei wird nicht die Dekomposition des Produkts per se fokussiert, sondern die Aufteilung der Produktbestandteile auf die Beschaffungsquellen sowie die resultierende Zusammenstellung des Liefernetzwerks. In der Praxis erfolgt diese Aufteilung durch die graduelle Beauftragung von Lieferanten für spezifische Beschaffungsumfänge (Komponenten und Module). Ein Szenario für das Liefernetzwerk beschreibt, wie über Modullieferanten, welche die Lieferungen von Komponentenlieferanten bündeln, sämtliche Beschaffungsumfänge der Unternehmung zugeführt werden. Bei alternativen Szenarios ergibt sich eine andere Zusammenstellung, sodass die Lieferungen von Komponentenlieferanten bei anderen Modullieferanten gebündelt werden.

Die Generierung von Szenarios erfordert abgeleitete Informationen zu Abhängigkeiten zwischen Komponenten auf Basis der Lieferbeziehungen. Die Berechnung dieser Informationen wird gemeinsam mit der Ableitung und Reduzierung des Lösungsraums im Folgenden beschrieben.

**Berechnung der  $DSM_{L-L, Liefer, X}$ :** Diese DSM stellt eine Lieferbeziehung zwischen Lieferanten dar und erlaubt die Konfiguration von alternativen Liefernetzwerken. Diese Beziehung wird über eine Transformation abgeleitet, um den strukturellen Vergleich im dritten Schritt der Methodik zur Abstimmung (APL.C) zu ermöglichen. Die Berechnung der  $DSM_{L-L, Liefer}$  greift auf native Strukturinformationen der  $DMM_{L-F, Liefer}$  zurück. Mit dieser DMM wird eine Zuordnung potenzieller Lieferanten aus der Lieferantenbasis zu Produktfunktionen über die Lieferbeziehung getroffen. Die Beauftragung eines potenziellen Lieferanten stellt die Auswahl einer spezifischen Lieferalternative dar und wird maßgeblich von Beschaffungsstrategien beeinflusst. Diese werden von den Aktivitäten DfP.B6 und DfP.C6 des Leitfadens adressiert. Die Anzahl der resultierenden Lieferalternativen auf Basis der  $DMM_{L-F, Liefer}$  ergibt sich aus Formel 6-8. Demnach ergibt sich die Anzahl an Lieferalternativen ( $n_{SA}$ ) aus der Anzahl der Komponenten ( $n_K$ ) und der Anzahl der potenziellen Lieferanten für eine Komponente ( $n_{L,i}$ ). Folglich wird jede Lieferalternative (X) über eine individuelle  $DMM_{L-F, Liefer, X}$  abgebildet.

$$n_{SA} = \prod_i^{n_K} n_{L,i} \quad \text{Formel 6-8}$$

Mit den Informationen aus der individuellen  $DMM_{L-F, Liefer, X}$  wird schließlich die  $DSM_{L-L, Liefer}$  über Formel 6-9 berechnet. Diese DSM bildet die Lieferbeziehung ab, sofern Lieferanten eine Funktion liefern, welche miteinander verbunden sind.

$$DSM_{L-L, Liefer, X} = DMM_{L-F, Liefer, X} \times DSM_{F-F, Fluss} \times DSM_{L-F, Liefer, X}^T \quad \text{Formel 6-9}$$

Bei der alternativen Berechnung ohne Flussbeziehung der Funktionen ( $DSM_{F-F, Fluss}$ ) werden Verknüpfungen von Lieferanten im Liefernetzwerk nur unzureichend abgebildet, weshalb diese Alternative für die vorliegende Dissertation ausgeschlossen wurde.

**Ableitung des Lösungsraums:** Die Generierung der Szenarios für das Liefernetzwerk erfolgt mittels Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) auf der Basis von Informationen aus der berechneten  $DSM_{L-L, Liefer, X}$  für die verschiedenen Lieferalternativen. Dieses Kapitel fokussiert die Methodik zur Abstimmung (APL), weshalb lediglich der relevante Ergebnisbeitrag des

Clusterverfahrens aufgegriffen wird. Für eine detaillierte Beschreibung des Clusterverfahrens wird auf Kapitel 6.4.2 verwiesen. Die Berechnung des Lösungsraums an Szenarios erfolgt analog zu Schritt APL.B1 über Formel 6-16. In der Folge konstituiert die Anzahl an ausgewählten Lieferanten der Lieferalternative den Umfang des Lösungsraums. Die Darstellung der Cluster erfolgt ebenfalls über blockdiagonale Matrizen und Clusterdiagramme [MCCORMICK ET AL. 1972; EVERITT ET AL. 2011, S. 72ff.].

Der intendierte Vergleich von Strukturen (APL.C) erfordert übereinstimmende Domänen (und Elemente). Da in Essenz das Liefernetzwerk über die  $DSM_{L-L, Liefer, X}$  und die Produktarchitektur über die  $DSM_{K-K, Funktion}$  beschrieben wird, ist eine Transformation erforderlich. In frühen Entwicklungsphasen steht das Produkt im Zentrum, weshalb in der vorliegenden Dissertation die Transformation des Liefernetzwerks verfolgt wird. Hierfür werden über Formel 6-10 die Szenarios für das Liefernetzwerk in eine komponentenbasierte  $DSM_{K-K, Liefer, X}$  umgewandelt. Voraussetzung dafür ist, dass es sich um ein fundamental neues Produkt handelt und keine belastbaren Informationen zur Vernetzung von Komponenten und Lieferanten vorhanden sind. Sind diese Informationen hingegen verfügbar, kann Formel 6-10 vereinfacht und das Kreuzprodukt der  $DMM_{K-F, Trafo}$  und der  $DMM_{F-L, Liefer}$  durch die  $DMM_{K-L, Liefer}$  ersetzt werden.

$$DSM_{K-K, Liefer, X} = DMM_{K-F, Trafo} \times DMM_{F-L, Liefer} \times DSM_{L-L, Liefer, X} \times DMM_{F-L, Liefer}^T \times DMM_{K-F, Trafo}^T \quad \text{Formel 6-10}$$

**Reduzierung des Lösungsraums:** Der Lösungsraum enthält bereits für eine geringe Anzahl an Lieferanten eine Vielzahl an Szenarios für das Liefernetzwerk, weshalb analog zu Schritt APL.B1 eine Bewertung der Szenarios durchgeführt wird. Demnach werden die Szenarios mit dem Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) in Form von Metriken hinsichtlich der Cluster- und Systemperspektive bewertet. Eine Reduzierung des Lösungsraums wird schließlich über die Vorgabe eines bestimmten Qualitätsniveaus der Szenarios realisiert. Neben dieser intendierten Reduzierung des Lösungsraums wird die Ausgestaltung der Szenarios für das Liefernetzwerk an den Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern (Lieferantenbasis und -management) beeinflusst (Kapitel 3.2.2). Dieser Einfluss wird über drei Aktivitäten aus dem Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (DfP.A1, DfP.B6 und DfP.C6) adressiert und dort beschrieben. Der Effekt der Aktivitäten wird im Folgenden kurz aufgeführt.

- **Eingrenzung der Lieferantenbasis (DfP.A3):** Die Reduzierung der Lieferantenbasis führt zu einer begrenzten Anzahl an Lieferanten für die Konfiguration des Liefernetzwerks. Zudem beeinflussen Geschäftsbeziehungen zwischen den Lieferanten die Lieferantenbasis. Abhängigkeitsverhältnisse oder Wettbewerbsbeziehungen zwischen den Lieferanten resultieren in Konfigurationsverboten, welche den Lösungsraum reduzieren.
- **Umsetzung von Beschaffungsstrategien (DfP.B6 und DfP.C6):** Die Ausgestaltung des Liefernetzwerks wird durch spezifische Beschaffungsstrategien (Lieferanten-, Areal- und Objektkonzept) beeinflusst. Das Lieferkonzept beschreibt den Einfluss durch den Umfang an alternativen Lieferanten für die Konfiguration des Liefernetzwerks. Das Objektkonzept legt hingegen die bevorzugte Art der Beschaffung von spezifischen Umfängen (Markt- und Systemteile) fest. Beim Arealkonzept wirkt sich eine Abweichung im Wirtschaftsraum von Komponenten und Modulen eines Produkts aus, sodass die Konfiguration des Liefernetzwerks eingegrenzt wird.

### APL.C: Abgleich der Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk

Im Anschluss an die simultane Generierung der Szenarios für Produktarchitektur (APL.B1) und Liefernetzwerk (APL.B2) erfolgt deren struktureller Abgleich. Durch die Transformation der Informationen zum Szenario des Liefernetzwerks findet der Abgleich auf Basis der  $DSM_{K-K}$  für Funktions- ( $DSM_{K-K, \text{Funktion}}$ ) und Lieferbeziehungen ( $DSM_{K-K, \text{Liefer, X}}$ ) zwischen den Komponenten statt. Diese beiden DSMs besitzen dieselben Elemente und unterscheiden sich lediglich in den Relationen. Diese Relationen werden schließlich für die Berechnung der Übereinstimmung in Form eines Konformitätsindex herangezogen.

**Lösungsraum des Abgleichs:** Der Abgleich der Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk erfolgt über einen paarweisen Vergleich. Die Anzahl der resultierenden Vergleiche ( $n_{VS}$ ) lässt sich über die Formel 6-11 berechnen und ergibt sich aus der Anzahl der Szenarios für die Produktarchitektur ( $n_{PA}$ ) und das Liefernetzwerk. Für Letzteres ist die Anzahl der Liefernetzwerke ( $n_{SCN,i}$ ) pro Lieferalternativen ( $n_{SA}$ ) zu berücksichtigen.

$$n_{VS} = n_{PA} \cdot \sum_{i=1}^{n_{SA}} n_{SCN,i} \quad \text{Formel 6-11}$$

Bereits für Produkte mit einer geringen Anzahl an Elementen ergibt sich eine Vielzahl an paarweisen Vergleichen, welche für den strukturellen Abgleich erforderlich sind. LINDEMANN [2009, S. 150] schlägt einen Klassenvergleich vor, um die Anzahl möglicher Kombinationen bei dem paarweisen Vergleich zu reduzieren. Für den strukturellen Abgleich bietet sich die Anzahl der ausgewiesenen Module der Produktarchitektur und die Anzahl an Systemlieferanten des Liefernetzwerks an. Unterschiede in diesen elementaren Eigenschaften schließen eine hohe Übereinstimmung aus.

**Berechnung der Übereinstimmung:** Die Berechnung der strukturellen Übereinstimmung zwischen den Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk erfolgt über den Konformitätsindex (1. Ordnung) nach BEHNCKE ET AL. [2014D]. Mit dem Index werden die übereinstimmenden Relationen aus der  $DSM_{K-K, \text{Funktion}}$  und der  $DSM_{K-K, \text{Liefer, X}}$  ins Verhältnis zur möglichen Anzahl der Relationen gesetzt. Die Delta-Matrix für die Abhängigkeiten der Komponenten weist die Differenz zwischen der  $DSM_{K-K, \text{Funktion}}$  und der  $DSM_{K-K, \text{Liefer, X}}$  aus. Die Berechnung dieser Delta-DSM ist Formel 6-12 zu entnehmen.

$$\Delta DSM_{K-K, \text{Funktion \& Liefer, X}} = DSM_{K-K, \text{Funktion}} - DSM_{K-K, \text{Liefer, X}} \quad \text{Formel 6-12}$$

Aus der Delta-DSM ergibt sich die Anzahl an nicht-übereinstimmenden Relationen ( $n_{nÜR}$ ), welche mit der möglichen Anzahl der Relationen ( $n_{mR}$ ) die Berechnung der übereinstimmenden Relationen erlaubt. Aus diesen Werten lässt sich der Konformitätsindex 1. Ordnung ( $KI_1$ ) mit Formel 6-13 berechnen. Als Zähler ergibt sich die Anzahl an übereinstimmenden Relationen der Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Der Nenner beschreibt die Anzahl möglicher Relationen. Der Konformitätsindex ( $KI_1$ ) nimmt folglich Werte zwischen 0 % und 100 % an. Dabei indiziert ein hoher KI-Wert eine hohe strukturelle Übereinstimmung.

$$KI_1 = \frac{n_{mR} - n_{nÜR}}{n_{mR}} \quad \text{Formel 6-13}$$

Der Konformitätsindex 1. Ordnung zeigt eine rudimentäre Berechnung der Übereinstimmung von Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk, welche durch den Konformitätsindex

2. Ordnung ( $KI_2$ ) erweitert wird. Die beiden Kennzahlen ( $KI_1$  und  $KI_2$ ) kommen zu ähnlichen Ergebnissen, obgleich  $KI_2$  dezidiertere Aussagen zulässt. Dessen Berechnung erfolgt über Formel 6-14, welche die übereinstimmenden Relationen in der Überlappung der Clusterszenarios ( $n_{\bar{u}R,\bar{u}C}$ ), die übereinstimmenden Relationen der Clusterszenarios ( $n_{\bar{u}R,C}$ ) und  $KI_1$  heranziehen.

$$KI_2 = \frac{n_{\bar{u}R,\bar{u}C}}{n_{\bar{u}R,C}} - (1 - KI_1) \quad \text{Formel 6-14}$$

Der letzte Term beschreibt die Übereinstimmung innerhalb der Überlappung der Clusterszenarios, welcher bei einer kompletten Überstimmung der Relationen in der Überlappung den Wert null annimmt. Der erste Term stellt auf die Bewertung der Überstimmung der Relationen der Clusterszenarios ab. Für perfekt übereinstimmende Clusterszenarios werden in der Überlappung sämtliche übereinstimmenden Relationen gebündelt. Für diesen Fall nimmt  $KI_2$  den Wert 100 % an, wenn  $KI_1$  ebenfalls optimal (100 %) ist. Werden in der Überlappung keinerlei übereinstimmende Relationen gebündelt, ergibt sich für  $KI_2$  der Wert -100 % an, welcher zugleich das Worst-Case-Szenario für die Überstimmung beschreibt.

#### **APL.D: Bewertung und Darstellung der Lösungsalternativen**

Mit dem strukturellen Abgleich der Szenarios erfolgt in Schritt APL.D die Darstellung und Bewertung der Lösungsalternativen. Für die Bewertung wird für die Übereinstimmung der Konformitätsindex 2. Ordnung ( $KI_2$ ) herangezogen, welcher die individuelle Bewertung der Szenarios durch die Metriken (Cluster- und Systemperspektive) ergänzt.

**Bewertung der Lösungsalternativen:** Bei der Bewertung wird der Konformitätsindex 2. Ordnung ( $KI_2$ ) für die Lösungsalternativen berechnet und eine Reihung der Ergebnisse aufgestellt. Für ausgewählte Lösungsalternativen werden die Metriken (Cluster- und Systemperspektive) für die Produktarchitektur und das Liefernetzwerk erhoben, um die Ergebnisqualität in diesen beiden Bereichen sicherzustellen. Die beiden Metriken bemessen die Qualität von Clustern in der Produktarchitektur und dem Liefernetzwerk. Für eine weiterführende Optimierung der Produktarchitekturen wird auf die Ansätze zu deren Ausgestaltung in Tabelle 10-4 verwiesen. Tabelle 10-8 zeigt hingegen weiterführende Ansätze zur Optimierung des Liefernetzwerks.

**Darstellung der Lösungsalternativen:** Auf Basis der Bewertung werden abschließend die Ergebnisse für die beiden Metriken (Cluster- und Systemperspektive) mit dem Konformitätsindex ( $KI$ ) in einem Profil für die ausgewählten Lösungsalternativen ausgegeben. Der Anwender kann folglich aus mehreren Lösungsalternativen mit vergleichbarer Qualität in den Dimensionen Produktarchitektur, Liefernetzwerk und Übereinstimmung der beiden auswählen. Über die Aufbereitung von mehreren Lösungsalternativen können Anwender ihr implizites Wissen bei der Entscheidungsfindung einbringen, welches nicht im Systemmodell oder der Zielfunktion des Clusterverfahrens formalisiert ist. Dieses Vorgehen verspricht bei Clusterverfahren die Auswahl einer idealen Lösung [BEHNCKE ET AL. 2014C] und wird dementsprechend für die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk aufgegriffen. Die finale Ausgabe der Lösungsalternativen erfolgt schließlich in Form von Matrizen.

## Applikation der Methodik auf das begleitende Anwendungsbeispiel

In diesem Abschnitt wird die Methodik zur Abstimmung auf das begleitende Anwendungsbeispiel appliziert. Zudem greift die Methodik teils auf Ergebnisse des Leitfadens (Kapitel 6.2) und des Clusterverfahrens (Kapitel 6.4) zurück.

Der **erste Schritt (APL.A)** fokussiert die Erhebung der erforderlichen Informationen aus dem Systemmodell (Abbildung 6-2). Diese Informationen sind für das Flugzeugtriebwerk bereits vorhanden und dem instanziierten Systemmodell in Abbildung 6-5 zu entnehmen. Für das Anwendungsbeispiel kann auf die  $DSM_{K-K, \text{Funktion}}$  und  $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$  zurückgegriffen werden. Diese beschreiben die Produktarchitektur des Flugzeugtriebwerks. Die Verknüpfung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk wird durch die  $DMM_{L-K, \text{Liefer}}$  geleistet. Diese ersetzt die  $DMM_{L-F, \text{Liefer}}$  bei dem Anwendungsbeispiel, da die  $DMM_{L-K, \text{Liefer}}$  auf bestehende Lieferbeziehungen aufbaut. Somit sind Abbildung 6-5 bereits sämtliche Informationen zu entnehmen.

Im **zweiten Schritt (APL.B1)** steht die Generierung des Lösungsraums an Szenarios für die Produktarchitektur im Vordergrund. Dafür wird die Überlagerung von funktionalen und geometrischen Abhängigkeiten ( $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$  und  $DSM_{K-K, \text{Funktion}}$ ) mittels einer Summen-DSM verwendet. Die Berechnung dieser  $DSM_{K-K, \text{Funktion}}$  und  $DSM_{K-K, \text{Kontakt}}$  stellt Abbildung 6-11 dar.

Berechnung der Summen-DSM		Kontaktbeziehung							Funktionsbeziehung							Summenbeziehung								
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7		
Komponenten	Gehäuse	K1																						
	Einlauf	K2																						
	Verdichter	K3																						
	Brennkammer	K4																						
	Turbine	K5																						
	Schubdüse	K6																						
	Welle	K7																						

**Abbildung 6-11: Anwendungsbeispiel – Überlagerung von funktionalen und geometrischen Abhängigkeiten der Komponenten**

Die Informationen aus Abbildung 6-11 sind für das Flugzeugtriebwerk vorhanden und können für die Generierung des Lösungsraums verwendet werden. Für diesen Schritt wird das Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) mit den Informationen aus der  $DMM_{K-K, \text{Funktion}}$  und  $DMM_{K-K, \text{Kontakt}}$  angewendet. Damit ergeben sich analog zur Applikation des Clusterverfahrens für das begleitende Anwendungsbeispiel (Kapitel 6.4.2) rund 16 Milliarden potenzielle Lösungen. Darunter befinden sich 5.716 Szenarios für die Produktarchitektur, welche den grundlegenden Anforderungen entsprechen. Aus der Pareto-Optimierung über das Clusterverfahren ergeben sich neun optimale Lösungen in vier verschiedenen Lösungsklassen (Abbildung 6-15). Abschließend wird die Reduzierung des Lösungsraums an Szenarios für die Produktarchitektur durch Standardisierung, Simplifizierung, Gleich- und Wiederholteilstrategie untersucht. Die Umsetzung dieser Mechanismen und Strategien wird durch die Aktivitäten DfP.B2 und DfP.B3 des Leitfadens zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (Kapitel 6.2.2) operationalisiert. Den Checklisten für diese beiden Aktivitäten (Abbildung 10-5 und Abbildung 10-6) sind vier

Komponenten zu entnehmen, für die die Mechanismen und Strategien zur Anwendung kommen. Bei keiner der vier Komponenten ergibt sich jedoch eine Einschränkung des Lösungsraums, weshalb sich neun Szenarios aus dem zweiten Schritt der Methodik (APL.B1) ergeben.

Simultan zu APL.B1 erfolgt im **dritten Schritt (APL.B2)** die Generierung von Szenarios für das Liefernetzwerk. Dafür ist die Berechnung der  $DSM_{L-L, Liefer, X}$  erforderlich, welche eine Lieferbeziehung zwischen Lieferanten darstellt. In dem begleitenden Anwendungsfall steht eine Zuordnung der Lieferanten zu Komponenten zur Verfügung, weshalb eine Anpassung der Berechnung der  $DSM_{L-L, Liefer, X}$  über Formel 6-9 erforderlich ist. Bei dieser Abwandlung wird nicht auf die Zuordnung von Lieferanten zu Funktionen ( $DMM_{L-F, Liefer}$ ) und die Flussbeziehung zwischen den Funktionen ( $DSM_{F-F, Fluss}$ ) zurückgegriffen, sondern die vorhandenen Informationen zum Flugzeugtriebwerk aus der  $DMM_{K-K, Funktion \text{ und } Kontakt}$  verwendet. Die Berechnung für den begleitenden Anwendungsfall ist schließlich Formel 6-15 zu entnehmen.

$$DSM_{L-L, Liefer, X} = DMM_{L-K, Liefer, X} \times DSM_{K-K, Funktion \text{ und } Kontakt} \times DSM_{K-F, Liefer, X}^T \quad \text{Formel 6-15}$$

Auf dieser Grundlage wird schließlich der Lösungsraum an Szenarios für das Liefernetzwerk über das Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) ausgeleitet. Aus der Beschreibung der Lieferantenbasis für den begleitenden Anwendungsfall ergibt sich für sämtliche Komponenten bis auf die Brennkammer (K4) eine 1:1-Zuordnung von Komponenten und Lieferanten. Bei der Brennkammer (K4) werden zwei alternative Lieferanten für die Lieferantenauswahl berücksichtigt, obgleich auch diese Komponente an einen Lieferanten vergeben werden soll. Somit kommt bei sämtlichen Quellen eine Einzel- oder Monopolquellenbeschaffung zur Anwendung. Der Lösungsraum an Szenarios für das Liefernetzwerk besitzt somit denselben Umfang wie der für die Produktarchitektur. Durch den alternativen Lieferanten für die Brennkammer (K4) befinden sich unter Verwendung von Formel 6-8 im Lösungsraum 18 paretooptimale Szenarios für das Liefernetzwerk. Abbildung 6-12 zeigt ein exemplarisches Szenario des Liefernetzwerks in dem der Lieferant L1 den Beschaffungsumfang K4 (Brennkammer) verantwortet. Dabei ergeben sich drei überlappende Cluster (Abbildung 6-12 rechts).

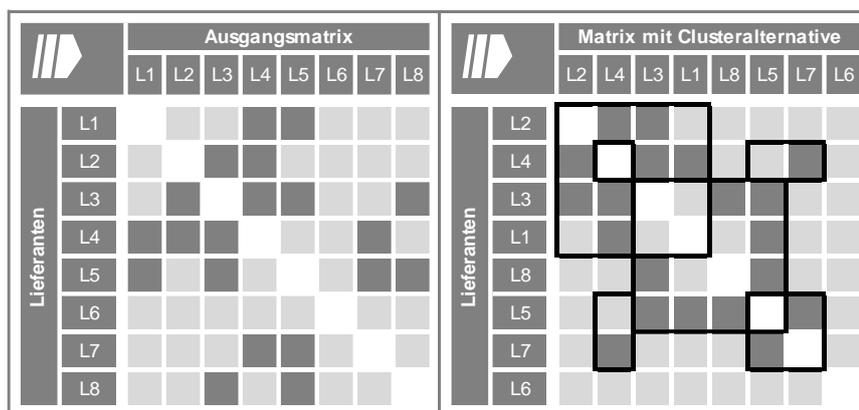


Abbildung 6-12: Anwendungsbeispiel – Szenario für das Liefernetzwerk ( $DSM_{L-L, Liefer, 1/2}$ )

Mit dem alternativen Lieferanten L6 für die Brennkammer (K4) wird die Anzahl an Lösungen verdoppelt, da sämtliche Lösungen für beide alternativen Lieferanten im Lösungsraum enthalten sind. Die abschließende Reduzierung des Lösungsraums wird über die Aktivitäten DfP.B6

und DfP.B7 aus dem Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (Kapitel 6.2.2) operationalisiert. Die Gestaltung der Lieferantenbasis (DfP.A3) stellt in dem Anwendungsfall des Flugzeugtriebwerks aufgrund der Vorgaben zum Entwicklungsprojekt keinen Gestaltungsparameter dar. Die Zuordnung der Beschaffungsstrategien (Lieferanten-, Areal- und Objekt-konzept) für die Komponenten sind Tabelle 6-2 zu entnehmen. Die ausgewählten Strategien haben keinen Einfluss auf den Lösungsraum, sodass der dritte Schritt (APL.B2) mit 18 Szenarios für das Liefernetzwerk abgeschlossen wird.

Der **vierte Schritt der Methodik (APL.C)** gleicht die Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk ab. Dafür wird die strukturelle Übereinstimmung der  $DSM_{K-K}$  für die Produktarchitektur ( $DMM_{K-K, \text{Funktion und Kontakt}}$ ) und das Liefernetzwerk ( $DSM_{K-K, \text{Liefer, X}}$ ) berechnet. Mit den neun Szenarios für die Produktarchitektur und 18 Szenarios für das Liefernetzwerk ergibt sich aus Formel 6-11 grundsätzlich eine Anzahl von 162 paarweisen Vergleichen für das Flugzeugtriebwerk. Durch den Einsatz von Klassenvergleichen nach LINDEMANN [2009, S. 150] lässt sich die Anzahl auf 46 paarweise Vergleiche reduzieren. Zudem besitzen die Lieferalternativen (L1 und L6) für die Brennkammer (K4) dieselben strukturellen Eingeschalten. Für die Berechnung der Übereinstimmung verbleiben somit 23 Paarungen von Produktarchitektur und Liefernetzwerk, welche auf der Basis der Delta-DSM (Formel 6-12) über den Konformitätsindex 2. Ordnung (Formel 6-14) bewertet werden. Aus der Delta-DSM und der resultierenden Delta-DMM ergeben sich folglich die erforderlichen Eingangsgrößen für den Konformitätsindex 1. Ordnung (Formel 6-13) und 2. Ordnung (Formel 6-14). Die Ergebnisse des strukturellen Abgleichs (APL.C) werden in Tabelle 6-14 für das begleitende Anwendungsbeispiel mit der Bewertung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk mit den Metriken zur Cluster- und Systemperspektive aus dem nachfolgenden Schritt (APL.D) zusammengefasst. Unter den 23 Clusteralternativen weisen neun Alternativen eine optimale Übereinstimmung ( $KI_2 = 100\%$ ) auf.

Im **fünften Schritt der Methodik (APL.D)** erfolgen die Bewertung und Darstellung der Lösungsalternativen für das begleitende Anwendungsbeispiel. Dafür werden für die 23 verbleibenden Paarungen über ihren Konformitätsindex 2. Ordnung ( $KI_2$ ), sowie die Metriken zur Cluster- und Systemperspektive von Produktarchitektur und Liefernetzwerk bewertet. In Tabelle 6-14 wird das Ergebnis der Bewertung für die 23 Lösungsalternativen gegenübergestellt. Für eine einheitlichere Darstellung der Ergebnisse in Tabelle 6-14 werden die Metriken zur Cluster- und Systemperspektive invertiert, sodass sich fortan optimale Werte für die Metriken bei 100 % ergeben und nicht zu 0 % wie Formel 6-17 und Formel 6-18 nahe legen.

Mit der Aufbereitung mehrerer Lösungsalternativen können Anwender ihr implizites Wissen bei der Entscheidungsfindung einbringen, welches nicht im Systemmodell oder der Zielfunktion des Clusterverfahrens formalisiert ist. Für das begleitende Anwendungsbeispiel ergeben sich vier Lösungsalternativen, welche in sämtlichen Kenngrößen eine hohe Qualität besitzen. In Tabelle 6-14 werden diese Lösungsalternativen hervorgehoben, welche die höchste Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks versprechen. Diese Alternativen zeichnen sich als Ergebnis der Methodik zur Abstimmung durch die beste Übereinstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk aus.

Tabelle 6-14: Bewertungsprofil für die Lösungsalternativen

Angaben in [%]	PA <sub>1,1</sub>	P <sub>2,1</sub>	PA <sub>2,2</sub>	PA <sub>2,3</sub>	PA <sub>3,1</sub>	PA <sub>3,2</sub>	PA <sub>3,3</sub>	PA <sub>4,1</sub>	PA <sub>4,2</sub>	CP	SP		
LN <sub>1,1</sub>	100									100,0	0,0		
LN <sub>2,1</sub>		100	78,0	29,5							100,0	54,6	
LN <sub>2,2</sub>		78,0	100	29,5							80,0	63,6	
LN <sub>2,3</sub>		29,5	29,5	100							60,0	72,7	
LN <sub>3,1</sub>					100	41,5	47,8					60,0	63,6
LN <sub>3,2</sub>					41,5	100	<b>79,4</b>					90,0	72,7
LN <sub>3,3</sub>					47,8	<b>79,4</b>	100					80,0	90,9
LN <sub>4,1</sub>								100	<b>83,7</b>	90,0	63,6		
LN <sub>4,2</sub>								<b>83,7</b>	100	80,0	72,7		
CP	100	100	80,0	60,0	60,0	90,0	80,0	90,0	80,0				
SP	0	54,6	63,6	72,7	63,6	72,7	90,9	63,6	72,7				
Hinweis: Lösungsalternativen mit höchster Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks wurden hervorgehoben													

### 6.3.3 Methodik: Zusammenfassung des Ergebnisbeitrags

Die Methodik zur Abstimmung wird im Folgenden hinsichtlich ihres Ergebnisbeitrags zusammengefasst. Zudem wird der Abgleich mit den handlungsleitenden Anforderungen diskutiert.

Die Grundlage für die Methodik bildet die Erhebung von nativen Strukturinformationen über Methoden zur Informationsakquise (APL.A). Das Systemmodell dokumentiert dieser Informationen in Form von Matrizen. Im weiteren Verlauf werden weitere Abhängigkeiten zwischen den Systemelementen ausschließlich über diese initialen Matrizen ausgeleitet. Folglich ist die Qualität der Informationsakquisition maßgebend für die Ergebnisse der Abstimmung verantwortlich. Die Methodik zur Abstimmung erfüllt durch die Verarbeitung von Strukturinformationen die Anforderung an den Input (A.4). Bei der Informationsakquisition ist jedoch die Fehlerfreiheit der erhobenen Informationen durch korrespondierende Methoden und Plausibilitätschecks nachzuhalten. Der resultierende Ergebnisbeitrag dieses Schritts stellt die Bereitstellung der nativen Strukturinformationen für die nachfolgenden Vorgehensschritte dar.

Im zweiten Schritt werden simultan Szenarios für Produktarchitektur (APL.B1) und Liefernetzwerk (APL.B2) generiert. Somit wird die Methodik der Anforderung an eine simultane Sequenz für die Abstimmung (A.7) und der Anforderung an die Berücksichtigung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk (A.6) gerecht. Für die Generierung der Szenarios werden im Schritt APL.B1 die Funktionsbeziehung zwischen Komponenten abgeleitet. Auf dieser Basis leitet das Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) den gesamten Lösungsraum an Szenarios

für die Produktarchitektur aus. Zur Beschränkung des Lösungsraums auf Erfolg versprechende Szenarios werden zwei Metriken (Cluster- und Systemperspektive) zur Bewertung herangezogen. Im gleichzeitig verlaufenden Schritt APL.B2 wird die Lieferbeziehung zwischen Komponenten berechnet. Hierfür wird die Lieferbeziehung zwischen Lieferanten abgeleitet. Mit der Lieferbeziehung zwischen Komponenten wird analog zur Produktarchitektur mit dem Clusterverfahren aus Kapitel 6.4 der gesamte Lösungsraum an Szenarios für das Liefernetzwerk ausgeleitet. Die Bewertung der Szenarios erfolgt ebenfalls hinsichtlich der beiden Metriken (Cluster- und Systemperspektive). Für die Schnittstellen zu mediaten Forschungsfeldern wird der Lösungsraum für Szenarios von Produktarchitektur und Liefernetzwerks beschränkt. Die Reduzierung des Lösungsraums ist nicht auf die Methodik zurückzuführen, womit die Anforderung an die Berücksichtigung des gesamten Lösungsraums (A.9) uneingeschränkt gerecht wird. Als Ergebnisbeitrag stellt dieser Schritt die verschiedenen Szenarios bereit.

Im dritten Schritt (APL.C) erfolgt der Abgleich der Szenarios auf Grundlage von Abhängigkeiten zwischen den Komponenten über Funktions- und Lieferbeziehungen. Der Abgleich erfolgt über einen paarweisen Vergleich in Lösungsklassen über einen Konformitätsindex ( $KI_2$ ). Dieser greift ausschließlich auf Strukturinformationen zurück und bemisst die Übereinstimmung auf der Basis von Strukturattributen. Folglich wird die Methodik der Anforderung an ein direktes Gütekriterium (A.8) gerecht und erlaubt die unmittelbare Bewertung der Qualität der Abstimmung. Diese Bewertung ist zugleich der wesentliche Ergebnisbeitrag dieses Vorgehensschritts.

Im abschließenden Schritt (APL.D) werden Paarungen von Szenarios für die Produktarchitektur und das Liefernetzwerk (Lösungsalternativen) bewertet und dargestellt. Bei der Bewertung wird eine Reihung der Lösungsalternativen hinsichtlich des Konformitätsindex ( $KI_2$ ) und den zwei Metriken (Cluster- und Systemperspektive) für Produktarchitektur und Liefernetzwerk dargestellt, um ein ganzheitliches Optimum in dem Spannungsfeld der Abstimmung zu realisieren. Damit erfüllt die Methodik die Anforderung an den Output der Abstimmung (A.5), welcher ein mathematisches Modell mit konkreten Handlungsanweisungen für einen spezifischen Anwendungsfall fordert. Aus dem resultierenden Bewertungsprofil kann der Anwender schließlich aus mehreren Lösungsalternativen mit vergleichbarer Qualität auswählen. Der Ergebnisbeitrag stellt die Reihung der verschiedenen Lösungsalternativen für den Anwender dar, welche zur Auswahl angeboten werden.

Die Methodik erfüllt mit ihren fünf Schritten die handlungsleitenden Anforderungen und erlaubt die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen über die Verwendung von Strukturinformationen. Sie kombiniert somit die umfassende Unterstützung einer mathematischen Optimierung für den spezifischen Anwendungsfall unter den Randbedingungen begrenzter Informationen in frühen Entwicklungsphasen.

## 6.4 Clusterverfahren für Matrixmethoden<sup>55</sup>

Im dritten Baustein des Lösungsansatzes wird der methodische Kern für die Abstimmung beschrieben, welcher ein Clusterverfahren für Matrixmethoden umfasst. Nach Klärung des Anwendungsgebiets werden das Verfahren und sein Ergebnisbeitrag präsentiert.

### 6.4.1 Clusterverfahren: Klärung des Anwendungsgebiets

In diesem Kapitel werden Zielsetzung und -gruppe des Clusterverfahrens beschrieben. Zudem wird eine Empfehlung formuliert, in welchen Anwendungsfällen das Clusterverfahren in der industriellen Praxis das größte Potenzial verspricht. Mit diesen drei Abschnitten erfolgt die Klärung des Anwendungsgebiets für das Clusterverfahren für Matrixmethoden.

#### Welche Zielsetzung verfolgt das Clusterverfahren?

Die Zielsetzung des Clusterverfahrens ergibt sich aus den handlungsleitenden Anforderungen (Kapitel 5.2) der Kompatibilität mit Matrixmethoden, dem Umfang des untersuchten Lösungsraums und dem verwendeten Gütekriterium für die Bestimmung der Qualität des Clusterings. Diese Anforderungen erwachsen aus der Forschungslücke zu Clusterverfahren im Rahmen der vorliegenden Dissertation und zeichnen das Forschungsprogramm vor. Die übergeordnete Zielsetzung für das Clusterverfahren ist die Untersuchung des gesamten Lösungsraums (A.11). Die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk stellt auf eine Kompromissbildung zwischen den beiden Domänen ab. Durch eine unzureichende Abdeckung des Lösungsraums werden optimale Lösungen für die Abstimmung nicht berücksichtigt. Durch die Anwendung der Methodik zur Abstimmung in frühen Entwicklungsphasen sind die verfügbaren Informationen für das Clusterverfahren auf Strukturinformationen begrenzt. Diese Informationen greifen auf Abhängigkeiten zwischen den Systemelementen zurück und können sowohl über Graphen als auch Matrixmethoden abgebildet werden. Produktarchitekturen und Liefernetzwerke werden gleichermaßen über diese Methoden abgebildet, obgleich für den Umgang mit komplexen Sachverhalten Matrizen zu präferieren sind [SAGE 1992, S.278]. Damit ist die Kompatibilität mit Matrixmethoden als Grundvoraussetzung für das intendierte Clusterverfahren aufzuführen (A.12). Für die Bewertung des Clusterings wird auf ein direktes Gütekriterium abgezielt (A.10), welches nicht auf mittelbar festgelegte Hilfsgrößen zurückgreift. Damit wird ein Einfluss bei der Bewertung des Clusterings durch die Überführung in Hilfsgrößen ausgeschlossen.

#### Wer ist die Zielgruppe für das Clusterverfahren?

Die Zielgruppe für das Clusterverfahren im Kontext der vorliegenden Dissertation ergibt sich analog zu der Zielgruppe für die Methodik zur Abstimmung in Unternehmen mit einem geringen eigenem Wertschöpfungsanteil (Kapitel 6.3.1). Im Kontext der Unternehmung beschreibt die Zielgruppe Praktiker, welche in SE-Teams an organisatorischen Schnittstellen zwischen Entwicklung und Beschaffung tätig sind. Durch das Clusterverfahren wird das SE-Team bei

---

<sup>55</sup> Grundlage für die Ausführungen und den Quellcode des Clusterverfahrens bilden die Publikation von BEHNCKE ET AL. [2014C] und die betreute Studienarbeit von PE-WALZ [2015].

der Generierung der Szenarios für Produktarchitektur (APL.B1) und Liefernetzwerk (APL.B2) methodisch unterstützt. Die Zielgruppe kann allgemein ohne den spezifischen Kontext der vorliegenden Dissertation als Anwender von Clusterverfahren in Forschung und Praxis beschrieben werden, welche den Fokus auf eine erschöpfende Untersuchung des Lösungsraums legen. Diese Anwender widmen sich erfahrungsgemäß der Kompromissbildung an organisatorischen Schnittstellen, welche sich in einer Verschränkung von Lösungsräumen aus verschiedenen Perspektiven manifestiert. Als vitales Beispiel für eine solche organisatorische Schnittstelle ergibt sich aus dem 3D-Concurrent Engineering die Abstimmung zwischen Produktarchitektur und Produktionsstruktur sowie Produktionsstruktur und Liefernetzwerk. Bei der Abstimmung verschiedener Perspektiven, verspricht die erschöpfende Untersuchung des Lösungsraums bessere Alternativen für die Kompromissbildung als bestehende Verfahren aus der Fachliteratur.

### **Wann empfiehlt sich die Anwendung des Clusterverfahrens?**

Die Anwendung des Clusterverfahrens im Kontext dieser Dissertation bietet sich in der Konzept- und Systementwicklung an. In diesen Phasen sind Strukturinformationen verfügbar und bilden mit der Abbildung von Abhängigkeiten zwischen Systemelementen die Grundlage für die Anwendung des Clusterverfahrens. Das Verfahren empfiehlt sich allgemein ohne den spezifischen Kontext der vorliegenden Dissertation für Anwendungsfälle in Forschung und Praxis, bei denen der Fokus auf einer erschöpfenden Untersuchung des Lösungsraums und der Qualität des Clusterings liegt. Die Geschwindigkeit der Lösungssuche wird klar der Vermeidung von etwaigen Einschränkungen des Lösungsraums (bspw. durch Pfadabhängigkeit oder Dimensionen von Matrizen) untergeordnet. Der Untersuchung des gesamten Lösungsraums kommt der Kompromissbildung zwischen verschiedenen Perspektiven eine besondere Bedeutung zu. Eine unzureichende Abdeckung des Lösungsraums führt in den Anwendungsfällen zu einer Vernachlässigung gesamter Lösungsklassen und schränkt den Lösungsraum merklich ein.

## **6.4.2 Clusterverfahren: Anwendung und Beschreibung**

Das Clusterverfahren für Matrixmethoden (CVM) nutzt als Grundlage die Clustertechnik für exklusive Cluster nach BEHNCKE ET AL. [2014C], welche entsprechend der Anforderungen (Kapitel 5.2) um die Berücksichtigung von überlappenden Clusteralternativen erweitert wurde. Mit dieser Erweiterung untersucht das Clusterverfahren auf der Basis von Strukturinformationen den gesamten Lösungsraum. Im Folgenden wird ein Überblick über das Vorgehen des Verfahrens gegeben, bevor die Benutzeroberfläche und die Vorgehensschritte beschrieben werden.

### **CVM: Vorgehen des Clusterverfahrens für Matrixmethoden**

Das Clusterverfahren für Matrixmethoden umfasst drei Schritte von der Generierung des Lösungsraums im „Preprocessing“, der Bewertung der Lösungsalternativen im „Processing“ und der grafischen Ausgabe der Lösungsalternativen im „Postprocessing“.

Alle drei Schritte werden in einem MATLAB® Skript implementiert. MATLAB® weist einen effizienten Umgang mit Matrizen auf. Dieser ist essenziell für das intendierte Clusterverfahren für Matrixmethoden. Zudem erfordert MATLAB® keine Angabe des Datentyps oder umfas-

sende Deklaration der Variablen und erleichtert damit die Programmerstellung merklich. Aufgrund der weiten Verbreitung von MATLAB® in Forschung und Praxis ist davon auszugehen, dass die Anwender des Clusterverfahrens bereits Erfahrungen mit MATLAB® besitzen und durch den „Open Source“-Charakter die Möglichkeit zur Modifikation des Verfahrens für den individuellen Bedarf eingeräumt wird. Durch den modularen Aufbau wird die Modifikation zusätzlich unterstützt und erlaubt eine individuelle Anpassung des Verfahrens mit moderatem Aufwand. Die Bedienung erfolgt über eine grafische Benutzeroberfläche und erlaubt die Anwendung des Clusterverfahrens auch ohne Vorkenntnisse. Ein weiterer Vorzug von MATLAB® ergibt sich aus der direkten Ausführung des Quellcodes ohne zwischenzeitliches Kompilieren.

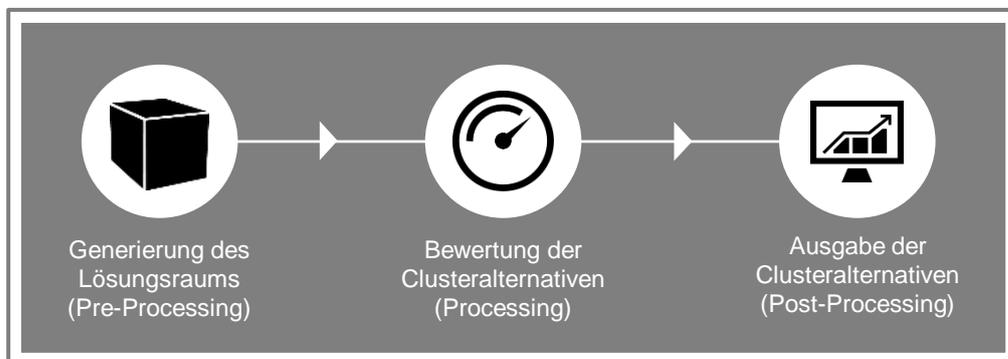
Für die vorliegende Dissertation steht das Clusterverfahren und nicht die rechnergestützte Umsetzung in MATLAB® im Vordergrund, sodass sich die folgenden Ausführungen auf das Clusterverfahren und seine Facetten fokussieren.

Im ersten Schritt (CVM.A) wird über Kombinatorik der gesamte Lösungsraum an Clusteralternativen generiert, welcher ausschließlich von der Anzahl der Elemente im System konstituiert wird. Die Relationen zwischen den Elementen nehmen keinen Einfluss auf den Umfang des Lösungsraums und werden erst beim „Processing“ (CVM.B) berücksichtigt. Folglich stellt das „Preprocessing“ einen generischen Schritt dar, welcher unabhängig von den restlichen Schritten durchgeführt und für Systeme gleicher Größe wiederverwendet werden kann.

Im zweiten Schritt (CVM.B) erfolgt die Berücksichtigung der Relationen aus dem spezifischen Clusterproblem. Die Relationen werden mit den verschiedenen (generischen) Clusteralternativen aus dem generierten Lösungsraum überlagert, sodass spezifische Clusteralternativen vorliegen. Die beiden Metriken (Cluster- und Systemperspektive) nach BEHNCKE ET AL. [2014C] bemessen schließlich die Qualität von Clustern.

Der abschließende Schritt (CVM.C) stellt die bewerteten Clusteralternativen aus dem zweiten Schritt (CVM.B) über ein Clusterdiagramm dar. Dieses Diagramm erlaubt die Abbildung von überlappenden Clustern auch für umfangreiche Systeme im Gegensatz zur Darstellungsform über Graphen und Matrizen.

Abbildung 6-13 stellt das schematische Vorgehen des Clusterverfahrens für Matrixmethoden dar, welches im Folgenden über die drei Vorgehensschritte detailliert beschrieben wird.



**Abbildung 6-13: Vorgehen des Clusterverfahrens für Matrixmethoden**

### CVM: Benutzeroberfläche des Clusterverfahrens

Das Clusterverfahren für Matrixmethoden besitzt eine Benutzeroberfläche, über die relevante Systeminformationen (Anzahl der Systemelemente und deren Relationen) vom Nutzer abgefragt werden. Die Benutzeroberfläche ist grundlegend für die drei Vorgehensschritte des Clusterverfahrens und weist die Ausführung der korrespondierenden Module der drei Vorgehensschritte an. Es werden sämtliche Funktionalitäten des Clusterverfahrens über die Benutzeroberfläche abgebildet, sodass der Anwender ohne Manipulation des Quellcodes das Verfahren nutzen kann. Der Zweck des Verfahrens ist die Erzeugung und Bewertung von Clusteralternativen für ein gegebenes System (Clusterproblem), bei dem sich die Untersuchung des gesamten Lösungsraums empfiehlt. Über die Bedienoberfläche wird entschieden wie viele Clusteralternativen dargestellt werden sollen (Abbildung 6-14). Die ausgegebenen Alternativen durchlaufen eine Pareto-Optimierung, sodass optimale Lösungen vom Verfahren dargestellt werden.

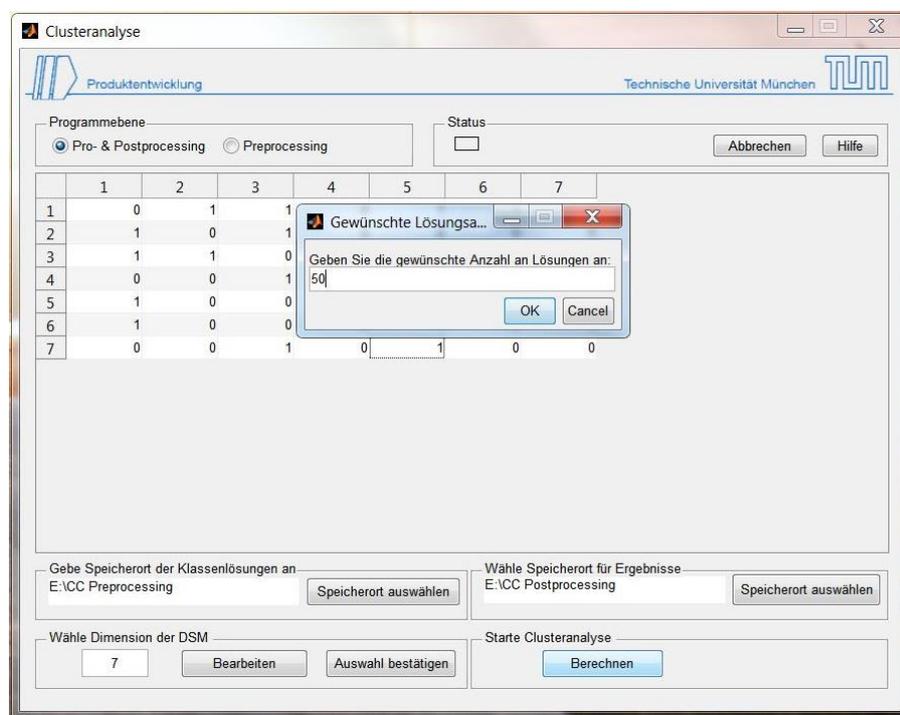


Abbildung 6-14: Benutzeroberfläche des Clusterverfahrens

[PE-WALZ 2015, S. 16]

### CVM.A: Generierung des Lösungsraums (Pre-Processing)

Im ersten Schritt wird der gesamte Lösungsraum an Clusteralternativen generiert dieser umfasst alle Klassenlösungen aus einer definierten Anzahl an Systemelementen. Die Anzahl dieser Elemente konstituiert den Umfang des Lösungsraums. Die Relationen zwischen den Systemelementen nehmen keinen Einfluss auf den Lösungsraum und werden erst beim „Processing“ (CVM.B) berücksichtigt. Folglich stellt das Pre-Processing einen generischen Vorgehensschritt dar, welcher für Systeme mit der gleichen Anzahl an Elementen nur einmalig durchzuführen ist. Die Ergebnisse aus dem initialen Durchlauf des Pre-Processings können konsekutiv als

Vorlage für nachfolgende Durchläufe genutzt und unabhängig von den restlichen Vorgehensschritten des Clusterverfahrens durchgeführt werden. Das Clusterverfahren für Matrixmethoden besitzt einen modularen Aufbau. Im Pre-Processing ergeben sich die Ergebnisse aus sechs Modulen, welche nachfolgend einzeln erläutert werden.

**Modul CVM.A1:** Über dieses Modul erfolgt die Ausgabe der Clusteralternativen auf der Benutzeroberfläche. Zusätzlich wird der Umfang des Lösungsraums (Anzahl an Clusteralternativen) für den Nutzer dargestellt. Dieses Modul weist zudem die Ausführung der weiteren Module an. Ferner wird in diesem Modul die Annahme getroffen, dass Cluster mindestens aus drei Elementen bestehen. Damit sind Cluster mit zwei Elementen ausgeschlossen. Folglich wird die Anzahl an Teilmengen mit mindestens drei Elementen bestimmt, welche als Eingangsgröße für das Modul CVM.A4 dient.

**Modul CVM.A2:** Mit diesem Modul werden die einzelnen Clusteralternativen aus dem Modul „cluster\_create“ zusammengefasst und beschreiben somit den gesamten Lösungsraum. Die Clusteralternativen erfüllen sämtliche Forderungen, welche im Modul CVM.A5 und dem Modul CVM.A7 abgesichert werden. Die Clusteralternativen werden in einzelnen Arbeitsschritte (tasks) aufgeteilt, um eine parallele Bearbeitung zu ermöglichen (Modul CVM.A3). Zudem schreibt dieses Modul die verschiedenen Clusteralternativen nach einem vollständigen Durchlauf in eine (externe) Textdatei, welche in nachfolgenden Durchläufen für die gleiche Anzahl an Systemelementen als Vorlage wiederverwendet werden kann.

**Modul CVM.A3:** Modul CVM.A3 trägt der hohen Rechenzeit bei der Erzeugung des gesamten Lösungsraums an Clusteralternativen Rechnung. Der Zeitaufwand ergibt sich aus der Anzahl an Clusteralternativen (Tabelle 7-5). Zur Reduzierung des Zeitaufwands wird die Erzeugung des Lösungsraums in einzelne Arbeitsschritte (tasks) aufgeteilt. Dies erlaubt eine parallele Bearbeitung der Arbeitsschritte über leistungsstarke Rechner mit mehreren Prozessorkernen oder über Rechnercluster, wodurch die Rechnerzeit des Pre-Processings signifikant zu reduzieren ist. Bei der Aufteilung der Arbeitsschritte wird als Richtwert für die Anzahl der Arbeitsschritte über die eine vordefinierte Funktion in MATLAB® (nchoosek) der Binomialkoeffizient berechnet. Dieser gibt alle möglichen Kombinationen aus und stellt die theoretische Grenze für die Anzahl an Arbeitsschritten dar.

**Modul CVM.A4:** Dieses Modul generiert sämtliche Clusteralternativen für ein vorgegebenes System. Die Generierung der Alternativen erfolgt über Formel 6-16, welche auf die Berechnung der Anzahl von Lösungen ohne Reihenfolge mit Wiederholung basiert [BRONSTEIN ET AL. 2005, S. 768ff.]. Das Modul CVM.A1 trifft die Annahme, dass Cluster mindestens aus drei Elementen bestehen. In Formel 6-16 wird diese Annahme über den zweiten Term berücksichtigt, welcher Clusteralternativen mit weniger Elementen ausschließt. Die Clusteralternativen werden in Form eines binären Spaltenvektors erstellt. Ein Beispiel für einen solchen binären Spaltenvektor zeigt Tabelle 10-23. Formel 6-16 erfordert neben der Anzahl der Elemente (n) die Angabe der Klassenlösung (k). Diese Klassenlösungen beziehen sich auf die Anzahl verschiedener Cluster in einer Clusteralternative für das gegebene System.

$$\sum_{n,k=0}^{n,k} \frac{(n+k-1)! - k! [2n! + (n+1)!]}{2k! (n-1)!}$$

Formel 6-16

Tabelle 10-26 zeigt die Berechnung der Clusteralternativen über Formel 6-16 exemplarisch anhand der Fallstudie des Heizgeräts der Webasto Thermo & Comfort SE. Die Alternativen werden im Modul CVM.A1 zusammengefasst.

**Modul CVM.A6:** Dieses Modul stellt einen Laufparameter für die Erzeugung der Clusteralternativen dar. Dieser wird im Modul CVM.A4 über die Abzählmatrix in die Erzeugung der Alternativen eingebunden. Der Laufparameter stellt sicher, dass sämtliche Kombinationsmöglichkeiten bei der Erzeugung der Clusteralternativen berücksichtigt und somit der gesamte Lösungsraum durchsucht wird. Dieses Modul greift auf die Anzahl an Teilmengen mit mindestens drei Elementen zurück, welche aus der Annahme einer Mindestgröße von Clustern (drei Elemente) aus dem Modul CVM.A1 resultiert.

**Modul CVM.A5:** Dieses Modul stellt sicher, dass es sich um eine valide Clusteralternative handelt. Hierfür überprüft das Modul die erzeugten Clusteralternativen hinsichtlich dreier Forderungen. Es wird untersucht, ob sämtliche Elemente von dem Clusterverfahren berücksichtigt werden (1). Ferner erfolgt der Nachweis über die lineare Unabhängigkeit der Cluster (2). Mit linear unabhängigen Clustern ist sichergestellt, dass ein Cluster nicht aus anderen Clustern kombinierbar und das Cluster ein Unikum ist. Folglich ist ein Cluster auch nicht vollständig in einem anderen Cluster enthalten. Dieser Fall wird von dem Modul CVM.A7 gesondert untersucht. Abschließend wird in diesem Modul noch die Forderung geprüft, ob ein Systemelement in mehr als drei Clustern enthalten ist (3). Werden diese drei Forderungen erfüllt, handelt es sich um eine valide Clusteralternative.

**Modul CVM.A7:** Dieses Modul basiert auf einer Funktion des Clusteralgorithmus von THEBEAU [2001]<sup>56</sup>. Diese Funktion löscht Cluster (Quelldatei: Delete\_Clusters.m), welche identisch mit anderen oder vollständig in anderen Clustern enthalten sind. Für das Clusterverfahren der vorliegenden Dissertation trägt dieses Modul zur Absicherung der Forderung nach der linearen Unabhängigkeit von Clustern bei. Folglich stellt das Ergebnis dieses Moduls eine essenzielle Eingangsgröße für das Modul CVM.A5 dar.

### **CVM.B: Bewertung der Clusteralternativen (Processing)**

Im zweiten Schritt (CVM.B) des Clusterverfahrens erfolgt die Untersuchung eines spezifischen Clusterproblems. Durch eine Abfrage auf der Bedienoberfläche kann der Anwender ein spezifisches System mit seinen individuellen Elementen und Relationen in Form einer DSM eingeben (Clusterproblem). Diese abgefragte DSM wird mit den generischen Clusteralternativen aus dem ersten Schritt des Verfahrens (CVM.A) verknüpft, um eine Bewertung der Alternativen für das spezifische System zu erhalten. Dafür werden die Relationen in die Clusteralternativen eingetragen und eine mehrstufige Bewertung durchgeführt. Die Optimierung identifiziert optimale Lösungen unter den zahlreichen Clusteralternativen, welche den beiden Metriken (Cluster- und Systemperspektive) gerecht werden. Das Clusterverfahren besitzt einen modularen Aufbau. Die Module des „Processings“ (CVM.B) sind den folgenden Ausführungen zu entnehmen.

---

<sup>56</sup> Der MATLAB-Quellcode für den Algorithmus ist auf der Webseite [www.dsm.org](http://www.dsm.org) frei verfügbar.

**Modul CVM.B1:** In diesem Modul erfolgt die Bewertung und Optimierung der Clusteralternativen auf Basis der Eingabeinformationen zu dem System durch den Nutzer über die Benutzeroberfläche. In diesem Modul wird zudem die Ausführung der weiteren Module angewiesen. Das Modul CVM.B2 fokussiert sich dabei auf sämtliche Module, welche mit der Bewertung der Clusteralternativen assoziiert sind. Eine weitere Funktion in diesem Modul umfasst die Visualisierung der Ergebnisse auf der Benutzeroberfläche. Diese Funktion ist mit dem Post-Processing (CVM.C) assoziiert und wird daher in diesem Vorgehensschritt erläutert.

**Modul CVM.B2:** In diesem Modul werden die gespeicherten Clusteralternativen aus der Textdatei (Modul CVM.A2) ausgelesen und auf der Ebene von Arbeitsschritten mit den Relationen aus der abgefragten DSM zusammengeführt. Dabei werden in der DSM die Relationen aus der Nutzereingabe dargestellt. Die Clusteralternativen aus dem Pre-Processing (CVM.A) müssen dafür von einem binären Spaltenvektor in eine DSM-Repräsentation überführt werden (Modul CVM.B8). Für die unterschiedlichen Clusteralternativen wird über das Modul CVM.B5 zunächst eine aufwandsarme Vorbereitung der Alternativen durchgeführt. In dem anschließenden Modul CVM.B6 erfolgt die umfangreichere Bewertung über zwei Metriken (Cluster- und Systemperspektive) lediglich für aussichtsreiche Clusteralternativen, welche eine erfolgreiche Vorbewertung besitzen. Um den benötigten Speicher für die Abbildung des Lösungsraums an Clusteralternativen zu reduzieren, werden die Alternativen abschließend in eine dezimale Repräsentation umgewandelt (Modul CVM.B4).

**Modul CVM.B4:** Dieses Modul überführt die binären Spaltenvektoren der Clusteralternativen ( $n$ -dimensional) in eine äquivalente dezimale Repräsentation, was den benötigten Speicher für die Abbildung des Lösungsraums an Clusteralternativen merklich reduziert. Für eine Clusteralternative ( $k$ ) ist folglich in dezimaler Repräsentation nur ein  $1 \times k$  Vektor notwendig, während ein  $n \times k$  Spaltenvektor für die Abbildung desselben Informationsgehalts erforderlich ist. Tabelle 10-24 illustriert diese Transformation eines binären Spaltenvektors in eine dezimale Repräsentation an einem Beispiel.

**Modul CVM.B5:** Dieses Modul überprüft eine aufwandsarme Vorbewertung der Clusteralternativen. Dabei wird überprüft, ob in jedem Cluster mindestens eine Relation enthalten ist. Cluster, die keine Relationen enthalten, besitzen analog zu den Gütekriterien (Formel 6-17 und Formel 6-18) eine schlechte Qualität und sind in Folge dieser Vorbewertung bereits auszuschließen. Somit kann der Rechenaufwand für die Bewertung der Clusteralternativen in dem Modul CVM.B6 reduziert werden, da lediglich aussichtsreiche Alternativen dieser Bewertung zugeführt werden. Der Aufwand für die Vorbewertung ist im Vergleich zur Bewertung im Modul CVM.B6 deutlich geringer, wodurch dieses Modul die Rechenzeit verkürzt.

**Modul CVM.B6:** In diesem Modul wird die Qualität der ausgewählten Clusteralternative bestimmt. Dafür verfügt die Fachliteratur über eine Vielzahl an Gütekriterien, welche bei Clusterverfahren in Form von Zielfunktionen Berücksichtigung finden. Tabelle 10-20 gibt einen Überblick über diese Kriterien. Darunter befinden sich zwei Metriken (System- und Clusterperspektive), welche für die Bewertung der Qualität von Clustern herangezogen werden. Diese Metriken basieren auf der grundlegenden Definition von Clustern [BEHNCKE ET AL. 2013]. Über die Clusterperspektive (Formel 6-17) wird der Quotient aus der Anzahl unbesetzter Relationen in den Clustern ( $x_{z,e}$ ) und der Anzahl unbesetzter Relationen in dem gesamten System bestimmt.

Für eine optimale Clusteralternative nimmt CP den Wert null an, da keine unbesetzten Relationen im Cluster vorhanden sind und der Zähler von CP zu null wird.

$$CP = \frac{x_{z,e}}{x_{z,p}} \quad \text{Formel 6-17}$$

Die zweite Metrik beschreibt die Systemperspektive (Formel 6-18). Diese setzt die Anzahl der Relationen innerhalb der Cluster ( $x_{i,e}$ ) zu der Anzahl der möglichen Relationen in dem System ( $x_{i,p}$ ) ins Verhältnis. Für optimale Clusteralternativen nimmt SP den Wert null an, da in den Clustern sämtliche Relationen gebündelt werden und sich somit der Zähler zu null ergibt.

$$SP = \frac{x_{i,p} - x_{i,e}}{x_{i,p}} \quad \text{Formel 6-18}$$

**Modul CVM.A6:** Bei diesem Modul handelt es sich um einen Laufparameter, welcher bereits im Vorgehensschritt Preprocessing (CVM.A) beschrieben ist und lediglich die aktuelle Kombinationsmöglichkeit einer Clusteralternative wiedergibt.

**Modul CVM.B8:** Die Clusteralternativen werden im Preprocessing (CVM.A) in Form eines binären Spaltenvektors abgespeichert. Dieses Modul wandelt die Clusteralternativen in eine DSM-Repräsentation um. Hierfür wird aus den Spaltenvektoren die Zuordnung der Elemente zu den verschiedenen Clustern entnommen. Tabelle 10-25 illustriert diesen Vorgang an einem Beispiel. Diese Informationen dienen der Befüllung der oberen Dreiecksmatrix der DSM mit Relationen, welche abschließend an der Diagonalen gespiegelt werden. Mit diesem Schritt ergeben sich aus diesem Modul stets symmetrische Matrizen.

**Modul CVM.B3:** Dieses Modul berechnet und gibt die Paretofront von bestimmten Datenpunkten aus. Dabei greift es auf die Ergebnisse aus Modul CVM.B7 zurück, welches im Anschluss erläutert wird. Für die Implementierung dieser grundlegenden Funktion (Ausgabe der Paretofront) greift die vorliegende Dissertation auf eine bestehende Funktion „Pareto Group“ der MATLAB® CENTRAL Plattform zurück<sup>57</sup>.

**Modul CVM.B7:** Dieses Modul gibt die Paretofront von beliebigen Datenpunkten aus. Bei der Paretofront im Kontext des vorliegenden Clusterverfahrens für Matrixmethoden handelt es sich um eine Menge an Datenpunkten für die eine Verbesserung in der Metrik zur Clusterperspektive (Formel 6-17) keine Verschlechterung der Metrik zur Systemperspektive (Formel 6-18) bedeutet. Umgekehrt ist diese Aussage ebenfalls zutreffend. Die Datenpunkte beschreiben die Qualität der Clusteralternativen im Lösungsraum über die beiden Metriken, welche in Modul CVM.B6 berechnet werden. Für die Implementierung dieser Funktion wird analog zu dem Modul CVM.B3 auf eine bestehende Funktion „Pareto Front“ von der MATLAB® CENTRAL Plattform zurückgegriffen<sup>58</sup>.

---

<sup>57</sup> Der MATLAB-Quellcode für die Funktion „Pareto Group“ (© Yi Cao 2008) ist frei über folgenden Link <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/17251-pareto-front/content/paretoGroup.m> verfügbar.

<sup>58</sup> Der MATLAB-Quellcode für die Funktion „Pareto Front“ (© Yi Cao 2008) ist frei über folgenden Link <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/17251-pareto-front> verfügbar.

### **CVM.C: Ausgabe der Clusteralternativen (Post-Processing)**

Dieser Schritt (CVM.C) stellt die bewerteten Clusteralternativen über ein Clusterdiagramm und eine DSM-Repräsentation dar. Im Diagramm werden die Systemelemente und deren Zuordnung zu Clustern dargestellt. Die Darstellung der Relationen zwischen den Elementen erfolgt über die ergänzende DSM-Repräsentation, welche im Gegensatz zu Clusterdiagrammen Relationen abbilden. Dieser Vorgehensschritt greift auf Ergebnisse und einzelne Module aus den vorangegangenen Vorgehensschritten zurück und überlappt inhaltlich nicht zuletzt wegen den Verknüpfungen mit dem Processing (CVM.B). Durch den modularen Aufbau des vorgestellten Clusterverfahrens für Matrixmethoden, wird im Post-Processing lediglich auf ein neues Modul zurückgegriffen. Diese greift auf vier bekannte Module aus dem Pre-Processing (CVM.A) und dem Processing (CVM.B) zurück.

**Modul CVM.B1:** Dieses Modul wurde bereits im vorangegangenen Vorgehensschritt zum Processing (CVM.B) beschrieben. Es enthält jedoch eine Funktion, welche mit dem Post-Processing (CVM.C) assoziiert ist. Diese Funktion weist die Ausführung der weiteren Module des Post-Processings an und fokussiert die Darstellung der besten Clusteralternativen über die Benutzeroberfläche. Zudem werden die Ergebnisse des Clusterverfahrens gespeichert.

**Modul CVM.C1:** Dieses Modul gibt die bewerteten Clusteralternativen über ein Clusterdiagramm und eine DSM-Repräsentation aus. In dem Clusterdiagramm werden die Clusteralternativen über ein zweidimensionales Diagramm dargestellt, welches an die Darstellungsform eines Dendrogramms angelehnt ist. Auf der einen Achse werden die Elemente des Systems dargestellt, während über die andere Achse die Zuordnung der Elemente zu den Clustern erfolgt. Eine Abbildung der Relationen wird von dem Clusterdiagramm nicht geleistet, weshalb eine ergänzende Darstellung über eine DSM-Repräsentation erfolgt. Diese liefert eine übersichtliche Darstellung der Elemente und Relationen, während dieser Darstellung bei überlappenden Clustern gewisse Grenzen gesetzt sind. Auf die Darstellung über ungerichteten Graphen wurde in der vorliegenden Dissertation verzichtet, da bei dem Clusterverfahren die Kompatibilität mit Matrixmethoden im Vordergrund steht. Im Wesentlichen beschäftigt sich dieses Modul mit der Formatierung der Ausgabe der besten Clusteralternativen. In Abbildung 6-16 wird die Ausgabe der Clusteralternativen für das begleitende Anwendungsbeispiel illustriert.

**Modul CVM.A6:** Dieses Modul ist ein Laufparameter, welcher im Vorgehensschritt Preprocessing (CVM.A) beschrieben ist und lediglich die aktuelle Kombinationsmöglichkeit einer Clusteralternative wiedergibt.

**Modul CVM.B4:** Bei diesem Modul handelt es sich um eine Transformationsfunktion, welche für die Clusteralternativen von binären Spaltenvektoren ( $n$ -dimensional) in eine äquivalente dezimale Repräsentation überführt. Die Funktion ist bereits im Vorgehensschritt Processing (CVM.B) beschrieben.

**Modul CVM.B8:** Dieses Modul überführt Clusteralternativen von binären Spaltenvektoren ( $n$ -dimensional) in eine DSM-Repräsentation. Eine detaillierte Beschreibung dieser Funktion ist dem Vorgehensschritt Processing (CVM.B) zu entnehmen.

### Applikation des Clusterverfahrens auf das begleitende Anwendungsbeispiel

In diesem Abschnitt wird das vorgestellte Clusterverfahren für Matrixmethoden auf das begleitende Anwendungsbeispiel aus Kapitel 6.1.3 angewendet. Grunddarge für die Applikation sind die Informationen zum Flugzeugtriebwerk aus dem Systemmodell (Abbildung 6-5).

Im ersten Schritt des Verfahrens wird der Lösungsraum an potenziellen Clusteralternativen generiert (CVM.A). Der Lösungsraum hängt dabei ausschließlich von der Anzahl der Systemelemente ab, welche sich bei dem Anwendungsbeispiel aus den sieben Komponenten des Flugzeugtriebwerks ergeben. Mit dieser Eingangsgröße wird zunächst die Anzahl an Klassenlösungen ( $CS_{\text{potenziell}}$ ) über die Formel 6-16 berechnet und in Tabelle 6-15 für die Lösungsklassen dokumentiert. Aus der Summe der Klassenlösungen ergibt sich schließlich der Lösungsraum an potentiellen Clusteralternativen ( $CS_{\text{ges}}$ ) zu rund 16 Milliarden Lösungen (16.083.010.119).

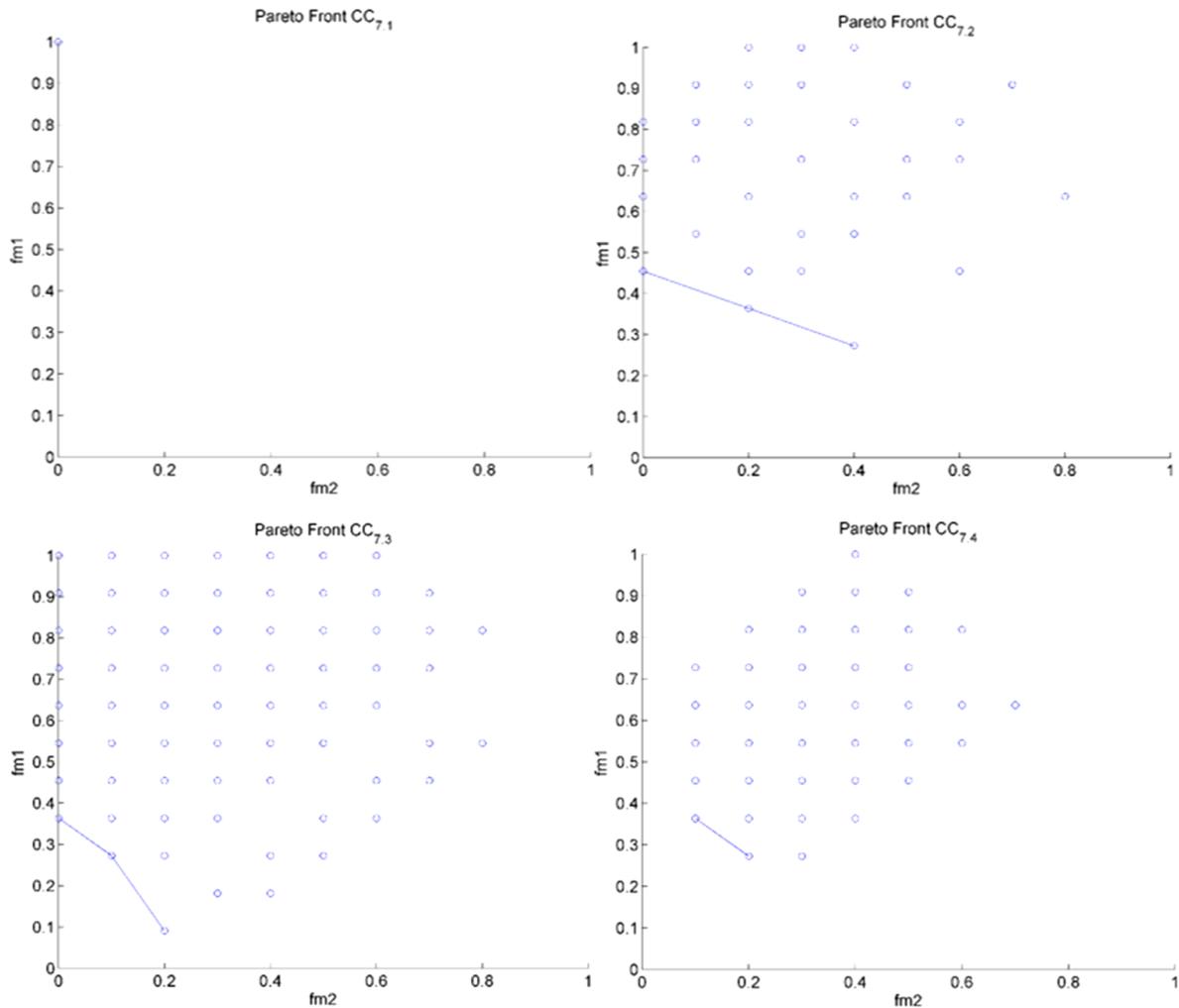
**Tabelle 6-15: Eigenschaften der Ausprägungen von Produktarchitekturen im Vergleich**

	Klassenlösungen (k)						
	1	2	3	4	5	6	7
$CS_{\text{potenziell}}$	99	4.851	156.849	3.764.376	7.1523.144	1.120.529.256	14.887.031.544
$CS_{\text{real}}$	1	168	5109	438	-	-	-

Aus diesem potenziellen Lösungsraum ergeben sich nach Prüfung der drei Forderungen über die Module CVM.A5 und CVM.A7 lediglich 5.716 Clusteralternativen über alle Klassenlösungen. Bei den drei Forderungen wird untersucht, ob das Clusterverfahren sämtliche Elemente berücksichtigt (1), die Cluster linear unabhängig sind (2) und ein Systemelement in mehr als drei Clustern enthalten ist (3). Diese realen Clusteralternativen ( $CS_{\text{real}}$ ) beschränken sich auf die ersten vier Lösungsklassen, da mit den weiteren Lösungsklassen dieselben Clusteralternativen aufgegriffen werden. Mit den 5.716 Clusteralternativen wird der erste Schritt zur Generierung des Lösungsraums (CVM.A) abgeschlossen.

Im zweiten Schritt (CVM.B) werden die Clusteralternativen bewertet. Hierfür werden neben der Anzahl der Systemelemente auch die Relationen zwischen den Elementen berücksichtigt. Für das Flugzeugtriebwerk werden folglich die Relationen aus dem Systemmodell in Abbildung 6-5 aufgenommen. Demnach sind die sieben Komponenten des Flugzeugtriebwerks über zehn Relationen verbunden. Die Vernetzungsart der Relationen umfasst geometrische und funktionale Abhängigkeiten der Komponenten, wie den Ausführungen zu Abbildung 6-5 zu entnehmen ist. Aus der Verknüpfung der Relationen mit den Clusteralternativen wird über ein zweistufiges Vorgehen die Qualität der Clusteralternativen berechnet. Dabei wird zunächst über das Modul CVM.B5 ein Nulltest durchgeführt, welcher prüft, ob in jedem Cluster mindestens eine Relation enthalten ist. Mit dem Modul CVM.B6 wird anschließend eine detaillierte Bewertung der übrigen Clusteralternativen durchgeführt. Diese Bewertung zieht zwei Metriken (System- und Clusterperspektive) heran. Die Berechnung der Clusterperspektive ist Formel

6-17 zu entnehmen, während über Formel 6-18 die Systemperspektive adressiert wird. Zur Ermittlung der optimalen Clusteralternativen werden die Ergebnisse abschließend einer Pareto-Optimierung (Modul CVM.B3 und CVM.B7) unterzogen. Abbildung 6-15 stellt die Bewertung der Clusteralternativen für das Flugzeugtriebwerk dar.

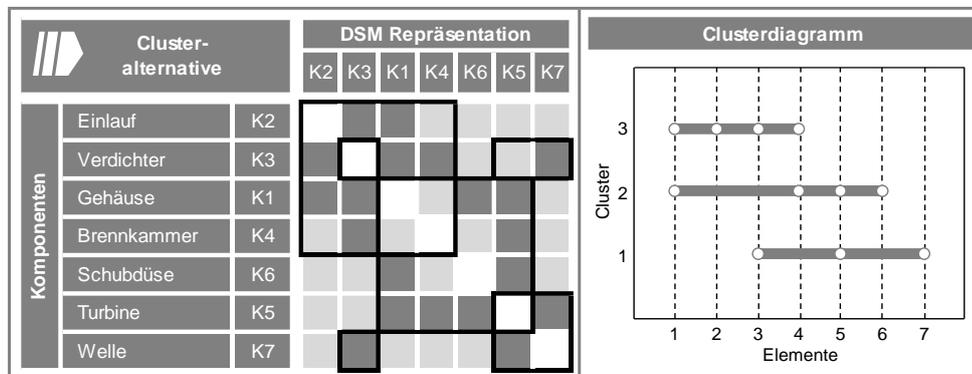


**Abbildung 6-15: Anwendungsbeispiel – Pareto-Optimierung der Klassenlösungen [PE-WALZ 2015, S. 29]**

Die beiden Metriken zur Bewertung der Clusteralternativen (Formel 6-17 und Formel 6-18) sind derart formuliert, dass sie für optimale Cluster null ergeben. Demnach sind optimale Lösungen um den Koordinatenursprung angeordnet. Über die schwarze Linie in Abbildung 6-15 werden schließlich die paretooptimalen Clusteralternativen verbunden. Die besten Alternativen für das Flugzeugtriebwerk ergeben sich folglich in der Klassenlösung ( $k=3$ ). Mit dieser Bewertung wird der zweite Schritt (CVM.B) abgeschlossen und die Grundlage für die Ausgabe der paretooptimalen Clusteralternativen im dritten Schritt (CVM.C) geliefert.

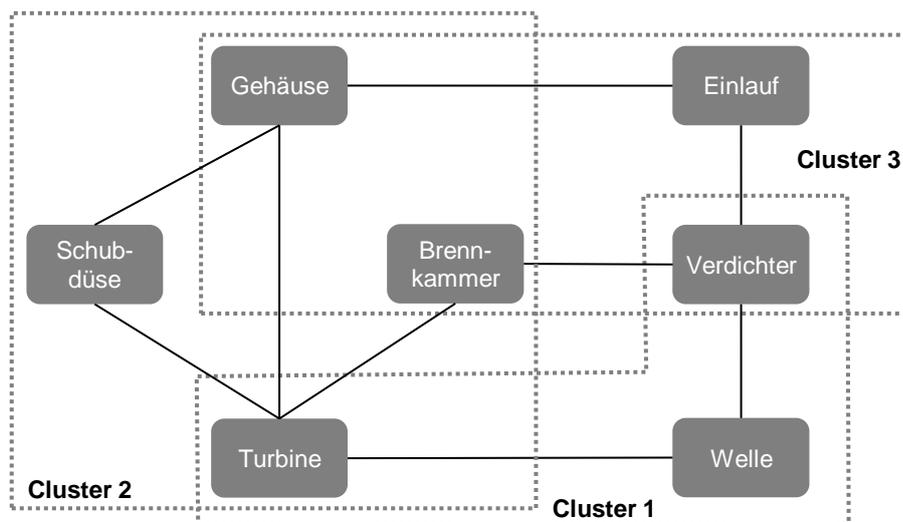
Im dritten Schritt des vorgestellten Clusterverfahrens für Matrixmethoden werden die paretooptimalen Clusteralternativen aus Abbildung 6-15 über eine Repräsentation in einer DSM und in einem Clusterdiagramm ausgegeben. Mit der DSM wird der Fokus auf die Darstellung der Re-

lationen zwischen den Systemelementen gesetzt, während beim Clusterdiagramm der Schwerpunkt der Darstellung auf der Zuordnung der Systemelemente zu den Clustern liegt. In Abbildung 6-16 wird eine paretooptimale Clusteralternative aus der Klassenlösung ( $k=3$ ) dargestellt.



**Abbildung 6-16: Anwendungsbeispiel – Darstellung der Clusteralternative als Matrix und Diagramm**

Die dargestellte Clusteralternative bündelt sämtliche Relationen zwischen den sieben Komponenten des Flugzeugtriebwerks in drei überlappende Cluster. Damit ergibt sich die Metrik zur Systemperspektive zu null. Die Systemelemente innerhalb der Cluster sind nicht vollständig vernetzt. Dabei ergeben sich acht „fehlende“ Relationen für eine vollständige Vernetzung und insgesamt elf „fehlende“ Relationen im gesamten System des Flugzeugtriebwerks. Mit diesen Eingangsgrößen nimmt die Metrik zur Clusterperspektive den Wert 0,36 an. Mit der Darstellung der Clusteralternativen analog zu der Abbildung 6-16 obliegt dem Anwender die Auswahl einer Alternative für den spezifischen Anwendungsfall. Mit der ergänzenden Darstellung der paretooptimalen Clusteralternative aus der Klassenlösung ( $k=3$ ) in einem Graphen (Abbildung 6-17) werden die Ausführungen zur Applikation des Clusterverfahrens abgeschlossen.



**Abbildung 6-17: Anwendungsbeispiel – Darstellung der Clusteralternative als Graph**

### 6.4.3 Clusterverfahren: Zusammenfassung und Ergebnisbeitrag

In diesem Kapitel wird der Ergebnisbeitrag des Clusterverfahrens zusammengefasst, welcher in MATLAB<sup>®</sup> umgesetzt wurde. Die Bedienung erfolgt über eine Benutzeroberfläche. Über diese werden die Eingangsgrößen für abgefragt, sodass die Größe des Systems (Anzahl der Systemelemente) und die Relationen zwischen den Elementen erhoben werden. Zudem erfolgt über die Benutzeroberfläche die Ausgabe der bewerteten Clusteralternativen. Die weite Verbreitung in Industrie und Forschung sowie der effiziente Umgang mit Matrizen bestätigt die Auswahl von MATLAB<sup>®</sup> für das Clusterverfahren. Mit dieser Wahl wird zugleich die Anforderung hinsichtlich der Anwendung des Verfahrens auf Matrixmethoden (A.12) erfüllt.

Im ersten Schritt (CVM.A) wird der Lösungsraum an Clusteralternativen mittels Kombinatorik generiert und über analytische Berechnung der Anzahl abgesichert. Aus dem Umfang des Systems wird der Lösungsraum abgeleitet. Die Relationen zwischen den Systemelementen werden nicht berücksichtigt. Der Vorgehensschritt ist folglich für Systeme mit gleicher Anzahl an Elementen nur einmal durchzuführen und kann für nachfolgende Durchläufe als Vorlage genutzt werden. Mit diesem Vorgehen lässt sich der Aufwand für die Generierung des Lösungsraums merklich reduzieren. Zudem erlaubt eine Aufteilung der Arbeitsschritte eine parallele Bearbeitung. Somit wird trotz der Verringerung der Rechenzeit die Anforderung nach der Untersuchung des gesamten Lösungsraums (A.11) erfüllt. Der wesentliche Ergebnisbeitrag dieses Schrittes ist somit die Generierung des gesamten Lösungsraums an Clusteralternativen.

Der zweite Schritt (CVM.B) berücksichtigt die Informationen zu den Relationen zwischen den Systemelementen. Für die intendierte Bewertung der Clusteralternativen wird die abgefragte DSM mit den generischen Alternativen aus dem vorangegangenen Schritt (CVM.A) überlagert. Eine zweistufige Bewertung ermittelt die Qualität der Clusteralternativen. Bei der aufwandsarmen Vorbewertung werden über einfache Strukturinformationen aussichtsreiche Alternativen identifiziert, welche nachfolgend über zwei Metriken (Cluster- und Systemperspektive) bewertet werden. Diese Metriken fußen ausschließlich auf Strukturinformationen der einzelnen Clusteralternativen und erfüllen somit die Anforderung (A.10) nach einem direkten Gütekriterium. Zudem bilden die Metriken die Basis für die Optimierung des Lösungsraums. Der Ergebnisbeitrag stellt folglich die Bewertung und Optimierung des Lösungsraums dar.

Im letzten Schritt (CVM.C) werden die Alternativen über ein Clusterdiagramm und eine DSM-Repräsentation dargestellt. Über die Kombination der beiden Darstellungsformen werden sowohl die Zuordnung der Elemente zu Clustern (Clusterdiagramm) als auch die Relationen zwischen den Elementen (DSM-Repräsentation) abgebildet. Zudem erfolgt eine Darstellung des optimierten Lösungsraums als Ergebnis von CVM.B. Der Ergebnisbeitrag dieses Schrittes liegt folglich in der Ausgabe und Darstellung der bewerteten Clusteralternativen.

Das Clusterverfahren erfüllt sämtliche Anforderungen aus Kapitel 5.2. Die wesentliche Herausforderung bei der Umsetzung des Verfahrens stellt die Rechenzeit dar, welcher mit drei Maßnahmen begegnet wird. Die Aufteilung der Generierung des Lösungsraums ermöglicht eine parallele Bearbeitung. Ferner ist CVM.A nur einmalig durchzuführen und als Vorlage für weitere Systeme der gleichen Größe zu verwenden. Zusätzlich reduziert sich der Aufwand für die Bewertung im zweiten Schritt (CVM.B) durch ein zweistufiges Verfahren, da lediglich aussichtsreiche Clusteralternativen der umfangreichen Bewertung zugeführt werden.

## 6.5 Zusammenfassung des Lösungsansatzes

Dieses Kapitel fokussiert den gesamten Lösungsansatz und stellt somit eine Ergänzung zu den Zusammenfassungen der einzelnen Bausteine in den vorangegangenen Kapiteln dar. Der Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (Kapitel 6.2) verankert die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in den Geschäftsprozessen der Unternehmen. Der Leitfaden umfasst 17 Aktivitäten, welche über ein standardisiertes Beschreibungsschema (Tabelle 6-1) dokumentiert werden und die relevanten Facetten der Abstimmung in der industriellen Praxis repräsentieren. Die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk (Kapitel 6.3) wird folglich vom Leitfaden organisatorisch eingebettet. Die Methodik zur Abstimmung untersucht den gesamten Lösungsraum an Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung. Für die Untersuchung des gesamten Lösungsraums liefert das eigens entwickelte Clusterverfahren für Matrixmethoden aus Kapitel 6.4 die methodische Grundlage.

Die relevanten Aktivitäten fokussieren sich auf drei Entwicklungsphasen (Abbildung 6-3). In der Produktplanung werden die Rahmenbedingungen für die Abstimmung festgelegt. Dabei wird die grundsätzliche Gestalt der Produktarchitektur bestimmt und die Lieferantenbasis durch die Identifikation sowie Eingrenzung einer Vorauswahl an Lieferanten gestaltet. In der Konzeptentwicklung findet erstmals eine Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk statt, welche durch Aktivitäten zur Gestaltung der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks begleitet werden. Diese adressieren zum einen den Einfluss aus dem Entwicklungsprozess und der Produktfamilie auf die Produktarchitektur, und zum anderen erfassen sie die Wirkung der Gestaltung der Lieferantenbasis und des Lieferantenmanagements auf das Liefernetzwerk. In der Systementwicklung werden dieselben Aktivitäten wie in der Konzeptentwicklung angewendet, sie greifen jedoch auf die endgültige Produktarchitektur zurück. Zudem verschiebt sich der Betrachtungsgegenstand von Modulen auf die Komponenten des Produkts.

In der Folge wird die Methodik zur Abstimmung in der Konzept- und Serienentwicklung genutzt und greift auf die gemeinhin verfügbaren Informationen dieser Entwicklungsphasen zurück. Diese werden in Form von nativen Strukturinformationen erhoben und im Systemmodell (Abbildung 6-2) dokumentiert. Diese Informationen bilden die Basis für die simultane Generierung von Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk sowie deren Abgleich mittels eines direkten Gütekriteriums (Konformitätsindex der 2. Ordnung). Die Bewertung der Szenarios von Produktarchitektur und Liefernetzwerk erfolgt über zwei Strukturmetriken (Cluster- und Systemperspektive). Die beiden Perspektiven erlauben eine umfassende Bemessung der Qualität der Szenarios und sind im Clusterverfahren für Matrixmethoden implementiert.

Mit dem Clusterverfahren werden sämtliche Clusteralternativen für ein gegebenes System identifiziert, mittels zwei Strukturmetriken bewertet und grafisch ausgegeben. Im rechenintensiven ersten Schritt werden auf Basis der Anzahl an Systemelementen die Clusteralternativen abgeleitet. Erst im zweiten Schritt wird das gegebene System mit seinen Relationen berücksichtigt, sodass die Ergebnisse aus dem ersten Schritt für andere Systeme gleicher Größe wieder zu verwenden sind. Mit einer zweistufigen Qualitätsbewertung der Alternativen wird die Rechenzeit merklich reduziert, ohne Clusteralternativen mit hoher Qualität zu vernachlässigen. Das Clusterverfahren liefert damit eine mehrdimensionale Bewertung sämtlicher Clusteralternativen,

welche durch die Methodik zur Abstimmung für die beiden Domänen der Produktarchitektur und das Liefernetzwerk instanziiert werden.

Die drei Bausteine unterstützen die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk für die Umsetzung in der industriellen Praxis ganzheitlich und stellen deren Einsatz trotz begrenzter Informationen bereits in frühen Entwicklungsphasen sicher.

## 7. Evaluation des Lösungsansatzes

*In diesem Kapitel erfolgt die Evaluation des Lösungsansatzes zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Die verschiedenen Forschungstypen für die einzelnen Bausteine des Lösungsansatzes erfordern eine Partialevaluation. Dafür wird zunächst ein Überblick über das Evaluationskonzept gegeben, bevor die Evaluation des Leitfadens zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung sowie die Methodik zur Abstimmung der Produktarchitektur und des Clusterverfahrens für Matrixmethoden beschrieben wird. Die Zusammenfassung der Ergebnisse und die Diskussion der Grenzen des Lösungsansatzes schließen dieses Kapitel ab.*

### 7.1 Konzept zur Evaluation des Lösungsansatzes

Die drei Bausteine des Lösungsansatzes zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk ergeben sich aus verschiedenen Forschungstypen. Die Auswahl der Forschungstypen ist der Verfügbarkeit von Informationen geschuldet. Für eine umfassende Erfolgsevaluation des gesamten Lösungsansatzes bieten die durchgeführten Fallstudien bei der Webasto Thermo & Comfort SE keine ausreichende Datengrundlage. Die beiden ersten Bausteine des Lösungsansatzes (Leitfaden und Methodik) folgen dem Forschungsparadigma des Interpretivismus, welcher in Konflikt mit der Reliabilitätsforderung an das Clusterverfahren steht. Damit wird von einer umfassenden Anwendungsevaluation des Lösungsansatzes Abstand genommen und eine Partialevaluation der einzelnen Bausteine durchgeführt.

Der Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung (Kapitel 6.2) verankert die Aktivitäten zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in die Geschäftsprozesse der Organisation. Von den 17 relevanten Aktivitäten aus Abbildung 6-6 wird eine Aktivität durch eine eigens entwickelte Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks erweitert. Deren Anwendbarkeit und Verwertbarkeit wird über eine experimentelle Fallstudie bei der Webasto Thermo & Comfort SE bewertet (Anwendungsevaluation). Dafür zieht diese Dissertation den Forschungstyp IV nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 18ff.] heran. Auf eine Evaluation der anderen Aktivitäten wird verzichtet, da sie bestehende Erkenntnisse der Fachliteratur repräsentieren. Diese werden über Checklisten operationalisiert. Forschungsmethodisch stellen die Aktivitäten eine Triangularisierung bestehender Erkenntnisse dar. Diese bedürfen keiner eigenen Evaluation im Rahmen dieser Dissertation, da die Validität der Erkenntnisse durch die Fachliteratur bereits erbracht ist. Die Evaluation des Leitfadens fokussiert sich demnach auf die Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks, da diese eine substantielle Ergänzung der bestehenden Fachliteratur darstellt. Die Evaluation erfolgt dabei an der Fallstudie bei der Webasto Thermo & Comfort SE.

Für die Beforschung der Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk (Kapitel 6.3) wird über eine experimentelle Fallstudie bei der Webasto Thermo & Comfort SE eine Anwendungsevaluation durchgeführt. Dafür zieht diese Dissertation den Forschungstyp IV nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 18ff.] heran. Die einzelnen Schritte der Beforschung der Methodik werden im Aufbau der Evaluation (Kapitel 7.3) beschrieben. Die Fallstudie untersucht vornehmlich die Anwendbarkeit und Verwertbarkeit der Methodik

zur Abstimmung in der industriellen Praxis. Dem Forschungsparadigma für diesen Baustein des Lösungsansatzes liegt der Interpretivismus zugrunde, welcher die Validität der Reliabilität der Ergebnisse überordnet. Damit wird bei der Beforschung der Methodik zur Abstimmung die umfassende Betrachtung einer Fallstudie, der Untersuchung mehrerer Fallstudien mit geringerem Konkretisierungsgrad vorgezogen. Somit stellt Kapitel 7.3 neben dem Vorgehen auch die einzelnen Vorgehensschritte in der Fallstudie dar.

Das Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4) stellt die Grundlage für die Methodik zur Abstimmung dar und beschreibt den dritten Baustein des Lösungsansatzes. Das Verfahren erfordert eine hohe Reliabilität, weshalb bei diesem Baustein vom Forschungsparadigma des Interpretivismus abgerückt wird. Für die Beforschung des Verfahrens wird der Forschungstyp VI nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 18ff.] gewählt. Ein mathematischer Nachweis erbringt anhand definierter Erfolgskriterien eine Erfolgsevaluation. Diese greift weiter als die Erfüllung der gestellten Anforderungen und stellt auf den Nachweis der gewünschten Wirkung ab [BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 185]. Die Erfolgskriterien an das Verfahren erwachsen dabei aus den Defiziten der weiteren Verfahren aus der Fachliteratur (Kapitel 4.3). Diese Evaluation erbringt somit neben der Anwendbarkeit und Verwertbarkeit auch den Nutzen des Clusterverfahrens. Eine detaillierte Beschreibung der Evaluation und Diskussion der Ergebnisse sind Kapitel 7.4 zu entnehmen.

In Abbildung 7-1 werden die Forschungstypen der drei Bausteine Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung, Methodik zur Abstimmung und Clusterverfahren für Matrixmethoden als Evaluationskonzept des Lösungsansatzes zusammengefasst. Aus Gründen der Vertraulichkeit wird die Datengrundlage der Fallstudien bei der Webasto Thermo & Comfort SE für die Darstellung in der vorliegenden Dissertation anonymisiert. Die Fallstudien wurden ohne Anonymisierung durchgeführt, sodass die Aussagefähigkeit davon unberührt bleibt und zugleich den Vertraulichkeitsforderungen des Industriepartners Sorge getragen werden konnte.

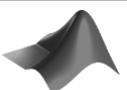
Leitfaden für die Produktentwicklung	Methodik zur Abstimmung	Clusterverfahren für Matrixmethoden
 Evaluation über Fallstudie	 Evaluation über Fallstudie	 Mathematischer Nachweis
Anwendung der Methode auf eine Industriefallstudie Bewertung der praktischen Anwendung der Methode	Anwendung der Methodik auf eine Industriefallstudie Bewertung der praktischen Anwendung der Methodik	Anwendung des Verfahrens auf Referenzstruktur Mathematischer Nachweis der Erfolgskriterien
Anwendungs-evaluation	Anwendungs-evaluation	Erfolgs-evaluation

Abbildung 7-1: Konzept zur Evaluation des Lösungsansatzes

## 7.2 Leitfaden: Anwendungsevaluation<sup>59</sup>

Die Anwendungsevaluation des Leitfadens erfolgt an dem industriellen Fallbeispiel eines Heizgeräts der Webasto Thermo & Comfort SE. Die Evaluation beschränkt sich auf die Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks. Auf eine Evaluation der einzelnen Aktivitäten im Leitfaden wird verzichtet, da diese Aktivitäten lediglich bestehende Erkenntnisse der Fachliteratur repräsentieren, welche keiner eigenen Evaluation bedürfen. Die Methode zur Bewertung der Lieferanten stellt eine Facette im korrespondierenden Industrieprojekt mit dem Partnerunternehmen dar. Der Kontext zu diesem Projekt wird in der Motivation und Zielsetzung eruiert, bevor die Anwendung der Methode auf das Fallbeispiel Heizgerät beschrieben wird. Auf dieser Basis wird abschließend die Anwendbarkeit und Verwertbarkeit der Methodik bewertet und die Grenzen der Methode aufgezeigt.

Für die Anwendungsevaluation der Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks wird der Forschungstyp IV nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 18ff.] herangezogen. Dieses Kapitel beschreibt die „Descriptive Study II“, welche auf Erkenntnissen aus der „Descriptive Study I“ und der „Prescriptive Study“ aufbaut. Erstere zeigt eine umfassende Analyse der Fachliteratur (Kapitel 4.1) als Basis für die Ausleitung von handlungsleitenden Anforderungen (Kapitel 5.2). Letztere wird über die initiale Beschreibung der Methode (Kapitel 6.2) und den relevanten methodischen Grundlagen (Kapitel 3) dargestellt.

### Motivation und Zielsetzung: Fallstudie in der industriellen Praxis

Die Motivation und Zielsetzung deckt sich mit den Ausführungen zur Anwendungsevaluation der Methodik (Kapitel 7.3) und wird dort ausführlich beschrieben, während hier die relevanten Facetten des Industrieprojekts für die Methode zur Bewertung von Lieferanten fokussiert wird.

Die Webasto Thermo & Comfort SE als führender Anbieter von Heizsystemen für die Automobilindustrie sieht sich mit einer hohen internen Variantenvielfalt und damit einhergehenden Komplexität im Entwicklungssystem konfrontiert. Die Schaffung von Transparenz über die Abhängigkeiten im Spannungsfeld zwischen Produktarchitektur, Montage, Varianten und Liefernetzwerk wurde demzufolge als übergeordnetes Handlungsfeld des Industrieprojekts formuliert.

Zur Schaffung von Transparenz in diesem Spannungsfeld wird auf eine Bewertung der aktuellen Heizgerätgenerationen abgezielt, welche eine eingängige Modellierung und umfassende Analyse der kleinen Wasserheizgeräte erfordert. Bei der Analyse wird die Beurteilung des Variantenspektrums, die Strukturierung von Änderungstreibern, die Untersuchung der Produktarchitektur und die Betrachtung des korrespondierenden Liefernetzwerks fokussiert. Aus diesen Erkenntnissen für die aktuelle Heizgerätgeneration werden schließlich konkrete Handlungsempfehlungen für die Entwicklung der nächsten Produktgeneration abgeleitet.

In dem Industrieprojekt wurde die Methode zur Bewertung von Lieferanten bei der Analyse der aktuellen Heizgerätgenerationen angewendet und auf dieser Basis Handlungsempfehlungen für

---

<sup>59</sup> Grundlage für diese Ausführungen bildet der unveröffentlichte Projektbericht von BEHNCKE ET AL. [2013A].

künftige Entwicklungsprojekte formuliert. Ein Einfluss der weiteren Betrachtungsdomänen (Montage und Varianten) auf die Bewertung wurde bei der Bearbeitung ausgeschlossen.

### Anwendung und Ergebnisse: Fallstudie in der industriellen Praxis

Das Systemmodell des betrachteten Heizgeräts fasst die relevanten Informationen für die Methode zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks zusammen. Abbildung 7-2 gibt einen Überblick über das Systemmodell, welches als MDM modelliert wird. Diese zeigt die Informationen zu den drei Domänen und sieben Vernetzungsarten.

Das Systemmodell des Heizgeräts enthält 21 Funktionen, von denen 16 Funktionen (F1–F16) auf die Erzeugung von Nutzwärme (Hauptfunktion) abzielen, während fünf Funktionen (F17–F21) weiteren Nebenfunktionen zur Abdichtung des Heizgeräts dienen. Der Funktionsfluss der Hauptfunktionen (F1–F16) ist gerichtet und besitzt somit eine definierte Reihenfolge, welche Abbildung 7-2 zu entnehmen ist. Die Funktionen werden von 18 Komponenten realisiert, welche mit 20 weiteren Komponenten die Stückliste des Heizgeräts komplettieren und zugleich die Baustruktur repräsentieren. Die 20 Komponenten sind somit nicht direkt in die Realisierung der Hauptfunktion des Heizgeräts involviert, sondern erfüllen unterstützende Funktionen. Diese wurden im vorliegenden Entwicklungsprojekt nicht berücksichtigt, sodass 16 Funktionen, 18 Komponenten und deren Vernetzung die Produktarchitektur des betrachteten Heizgeräts konstituiert. Die dritte Domäne aus dem Systemmodell umfasst 21 Lieferanten, obgleich die Webasto Thermo & Comfort SE lediglich auf zwölf Lieferanten für die 18 relevanten Komponenten des Heizgeräts zurückgreift.

Systemmodell		Funktion	Komponente	Lieferant
Funktion	F	DSM [16 x 16] (16 Funktionen)		
Komponente	K	DMM [18 x 16] (16 Funktionen und 18 Komponenten)	DSM [18 x 18] (18 Komponenten)	
Lieferant	L		DMM [12 x 18] (12 Lieferanten und 18 Komponenten)	DSM [12 x 12] (12 Lieferanten)

Abbildung 7-2: Systemmodell des Heizgeräts

Im ersten Schritt der Methode zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv im Liefernetzwerk wird über Formel 6-1 die geometrische Abhängigkeit der Lieferanten berechnet. Diese ergeben sich aus den Kontaktbeziehungen der Komponenten, welche von den Lieferanten geliefert werden. Abbildung 7-3 stellt das Ergebnis dieser Berechnung in der  $DSM_{L-L, \text{Kontakt}}$  dar. Bei den Kontaktbeziehungen handelt es sich um bidirektionale Abhängigkeiten, weshalb auf die Darstellung eines Einflussportfolios verzichtet wird.

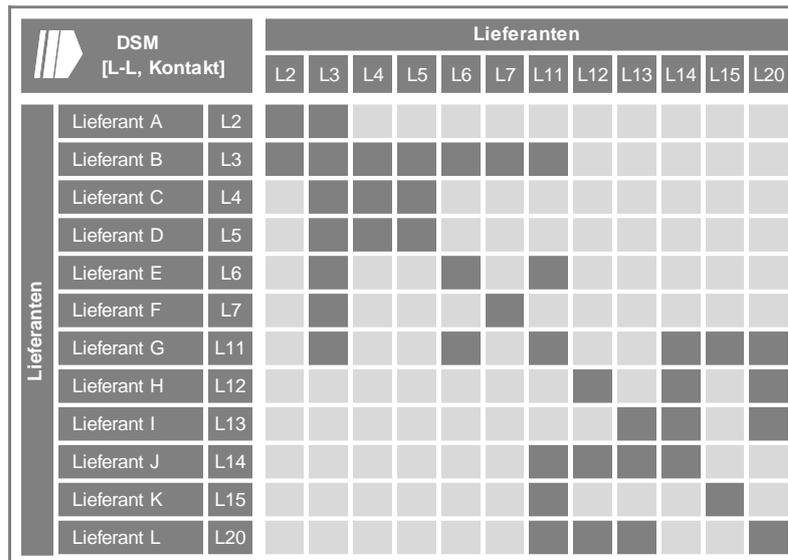


Abbildung 7-3: Kontaktbeziehungen der Lieferanten (DSM<sub>L-L, Kontakt</sub>)

Dieser Schritt berechnet die funktionalen Abhängigkeiten für die zwölf relevanten Lieferanten über Formel 6-2. Da für das Heizgerät keine Zuordnung der Funktionen zu den Lieferanten besteht, werden diese mit Formel 7-1 über die Transformationsbeziehung zwischen Funktionen und Komponenten berechnet.

$$DSM_{L-L, \text{Funktion}} = DMM_{L-K, \text{Liefer}} \times DMM_{K-F, \text{Trafo}} \times DSM_{F-F, \text{Fluss}} \times DMM_{K-F, \text{Trafo}}^T \times DSM_{L-K, \text{Liefer}}^T \quad \text{Formel 7-1}$$

Abbildung 7-4 stellt die resultierende DSM<sub>L-L, Funktion</sub> dar. Zudem wird das korrespondierende Einflussportfolio für die Lieferanten in Abbildung 7-4 gezeigt und um weitere Informationen potenzieller Alternativlieferanten für die kritischsten Lieferanten ergänzt.

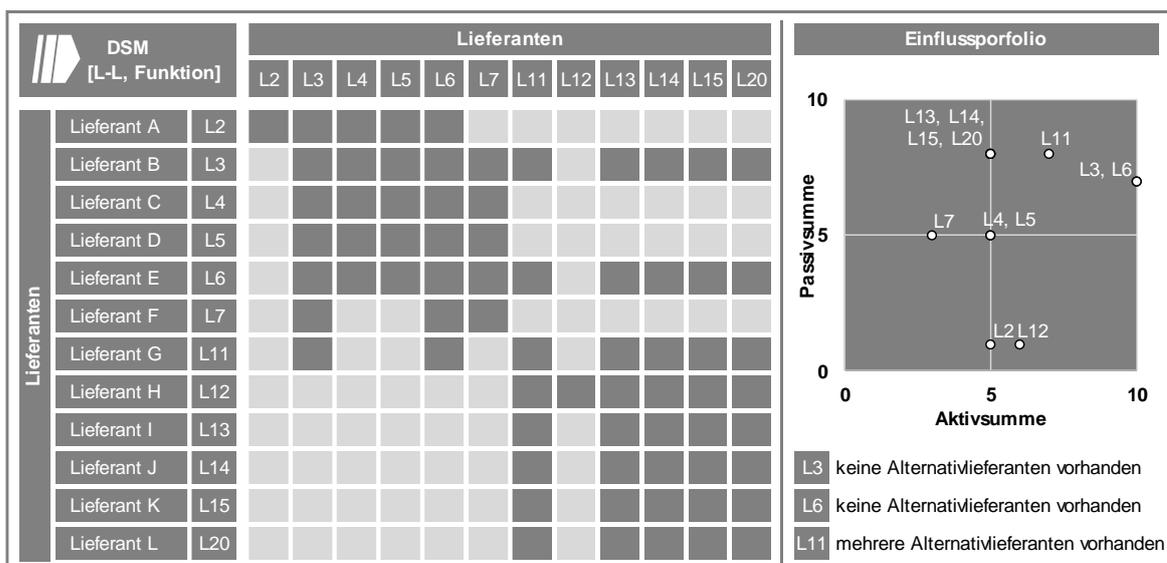


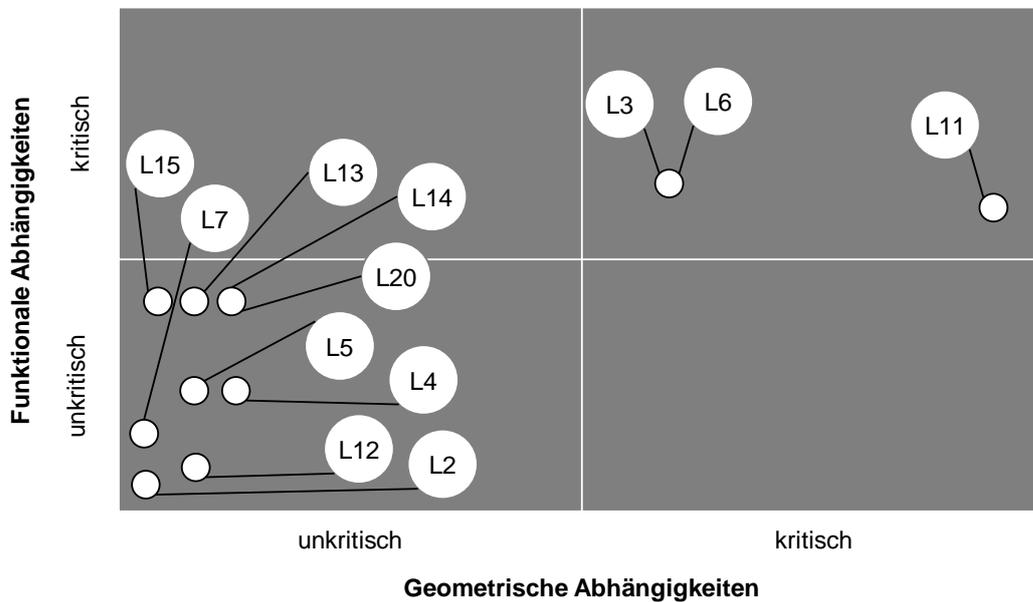
Abbildung 7-4: Funktionsbeziehung der Lieferanten (DSM<sub>L-L, Funktion</sub>)

Aus Abbildung 7-3 und Abbildung 7-4 lässt sich schließlich die Bedeutung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks über die Anzahl der funktionalen und geometrischen Abhängigkeiten bestimmen. Dafür wird in Tabelle 7-1 die Kritikalität der Lieferanten berechnet.

**Tabelle 7-1: Berechnung der Kritikalität (Kontakt und Funktion) der Lieferanten**

	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L11	L12	L13	L14	L15	L20
<b>Kritikalität (Kontakt)</b>	4	121	16	9	121	4	196	9	9	16	4	16
<b>Kritikalität (Funktion)</b>	5	70	25	25	70	15	56	6	40	40	40	40

Die Ergebnisse werden in ein Kritikalitätsportfolio übertragen (Abbildung 7-5). Das Portfolio weist über den funktionalen und geometrischen Abhängigkeiten jeweils kritische und unkritische Lieferanten aus. Es ergeben sich drei kritische Lieferanten (L3, L6 und L11). Zusätzlich werden in Abbildung 7-5 noch Informationen zu potenziellen Alternativlieferanten dargestellt. Die Lieferanten L3 und L6 nehmen eine kritische Position im Liefernetzwerk ein, obwohl für diese keine potenziellen Alternativen in der Lieferantenbasis vorhanden sind.



**Abbildung 7-5: Portfolio zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks**

## **Bewertung und Diskussion: Fallstudie in der industriellen Praxis**

Die Evaluation des Leitfadens fokussiert die Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks. Das Beschreibungsschema in Tabelle 6-11 erläutert die Methode und erfüllt somit die Anforderung A.3 nach ausreichender Konkretisierung der aufgeführten Handlungsempfehlungen. Durch das Beschreibungsschema wird die organisatorische Einbettung der Aktivitäten unterstützt (A.2). Der Überblick der relevanten Aktivitäten zur Abstimmung (Abbildung 6-3) führt explizit die beiden Domänen Produktarchitektur und Liefernetzwerk auf und legt Zeugnis über deren Berücksichtigung im Leitfaden ab (A.1).

Das Portfolio zur Bewertung der Lieferanten (Abbildung 7-5) ist Ergebnis der Methode und weist über funktionale und geometrische Abhängigkeiten, kritische und unkritische Lieferanten aus. Die Abhängigkeiten werden aus Strukturinformationen abgeleitet, welche in frühen Entwicklungsphasen verfügbar sind und die Anwendung der Methode in diesen Phasen erlauben. Das Portfolio zeigt über die Kritikalität der Lieferanten deren Stellung im Liefernetzwerk und deren Bedeutung für den Originalteilhersteller auf. Die erhobenen Informationen sind in frühen Entwicklungsphasen mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Diesen ist lediglich durch Plausibilitätstests im Vorfeld der Anwendung zu entgegnen. Zudem fußt die Methode auf der Ableitung von indirekten Abhängigkeiten, um die Abhängigkeiten der Lieferanten darzustellen. Bei der Ableitung von indirekten Abhängigkeiten ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Länge die Stärke der Abhängigkeit abnimmt [LINDEMANN ET AL. 2009, S. 96ff.]. Kapitel 7.3 beschreibt die Bewertung und Diskussion der Methodik zur Abstimmung für das Fallbeispiel und somit auch die Plausibilitätstests. Die Methode weist damit die Stellung der Lieferanten im Liefernetzwerk aus, ohne den Anspruch, den expliziten Effekt auf die Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks, obschon der mannigfaltigen Einflussfaktoren, aufzuzeigen.

Die Anwendung und Ergebnisse der Methode zur Bewertung wurden mit fünf Fachkollegen aus Entwicklung und Einkauf des Partnerunternehmens in Einzelgesprächen und Workshops diskutiert. Dabei haben die Fachkollegen die Bedeutung des Abstraktionsgrads hervorgehoben. Im Fallbeispiel fanden keine C-Teile (bspw. Schrauben, Muttern ...) Berücksichtigung, womit laut den Fachkollegen der Schwerpunkt auf die wesentlichen Funktionen und Komponenten des Heizgeräts gesetzt wurde. Bei den korrespondierenden Lieferanten handelt es sich um Komponenten- und Modullieferanten, welche in frühen Entwicklungsphasen im Fokus stehen. Rohmateriallieferanten werden nicht aufgegriffen, obschon diese laut den Fachkollegen abhängig vom betrachteten Produkt u. U. zu berücksichtigen sind. Ein vitales Beispiel dafür ist Komponente K22 (Schaufelrad), die aufgrund der spezifischen Materialanforderungen weltweit nur wenige Beschaffungsquellen aufweist. Bei den übrigen Lieferanten ist ein enger Kreis an Vorzugslieferanten vorhanden, die durch Alternativlieferanten ergänzt werden. Das Portfolio stellt diese potenziellen Alternativlieferanten aus der Lieferantenbasis dar und zeigt ein umfassendes Bild von der Stellung der Lieferanten im Liefernetzwerk. Die Methode wird von den Fachkollegen als Ergänzung des bestehenden Methodenportfolios für frühe Entwicklungsphasen gesehen, welche über Strukturinformationen frühzeitig die Stellung der Lieferanten bewertet. Die Ergebnisse der Methode für das Heizgerät weisen drei kritische Lieferanten (B, E und G) aus. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Einschätzung der Fachkollegen zur Stellung dieser Lieferanten im Liefernetzwerk. Die Methode liefert zudem wertvolle Hinweise für die Abschätzung von Änderungsauswirkungen auf das Liefernetzwerk.

## 7.3 Methodik: Anwendungsevaluation<sup>60</sup>

Die Anwendungsevaluation der Methodik zur Abstimmung erfolgt am industriellen Fallbeispiel eines Heizgeräts der Webasto Thermo & Comfort SE. Den Kontext zu dem korrespondierenden Industrieprojekt stellt die Motivation und Zielsetzung vor, bevor die Methodik zur Abstimmung auf das Fallbeispiel Heizgerät angewendet wird. Auf dieser Basis wird die Anwendbarkeit und Verwertbarkeit der Methodik bewertet und die Ergebnisse diskutiert.

Forschungsmethodisch wird mit der Anwendungsevaluation die „Descriptive Study II“ abgeschlossen. Diese baut dem Forschungstyp IV nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 18ff.] folgend auf der umfassenden Analyse der Fachliteratur (Kapitel 4.2) als „Descriptive Study I“ und der initialen Beschreibung der Methodik zur Abstimmung (Kapitel 6.3) und den verwendeten methodischen Grundlagen (Kapitel 3) als „Prescriptive Study“ auf.

### Motivation und Zielsetzung: Fallstudie in der industriellen Praxis

Das Partnerunternehmen Webasto Thermo & Comfort SE als führender Anbieter von Heizsystemen für die Automobilindustrie sieht sich einer Vielzahl von kundenindividuellen Anforderungen gegenüber. Die Entwicklung der Heizgeräte zeichnet sich durch zahlreiche unternehmensinterne und -externe Stakeholder aus, welche zusätzlich ihre spezifischen Anforderungen in das Entwicklungssystem einlasten. Bislang wurde diesen Anforderungen mit individuellen Varianten begegnet. Diese führten jedoch zu einer hohen internen Variantenvielfalt und einhergehender Komplexität im Entwicklungssystem. Für zukünftige Entwicklungsprojekte soll dieses Paradigma durch einen systematischen Ansatz aufgelöst werden. Die Schaffung von Transparenz über die Abhängigkeiten im Spannungsfeld zwischen Produktarchitektur, Montage, Varianten und Liefernetzwerk wurde demzufolge als übergeordnetes Handlungsfeld für die nächste Generation der kleinen Wasserheizgeräte formuliert.

Zur Schaffung dieser Transparenz in dem beschriebenen Spannungsfeld wird auf eine Bewertung der aktuellen Heizgerätgenerationen abgezielt. Diese Bewertung erfordert die eingängige Modellierung und umfassende Analyse der relevanten Betrachtungsdomänen und deren Abhängigkeiten bei den kleinen Wasserheizgeräten, welche als Betrachtungsgegenstand des Industrieprojekts ausgegeben wurden. Bei der Analyse der Betrachtungsdomänen stellt die Beurteilung des Variantenspektrums, die Strukturierung von Änderungstreibern, Untersuchung der Produktarchitektur und Betrachtung des korrespondierenden Liefernetzwerks den Fokus dar. Aus den Erkenntnissen der Analyse für die aktuelle Heizgerätgeneration werden schließlich konkrete Handlungsempfehlungen für die Entwicklung der nächsten Produktgeneration abgeleitet. Diese umfassen dabei sämtliche Bereiche des beschriebenen Spannungsfelds.

In dem Industrieprojekt mit der Webasto Thermo & Comfort SE wurde die Methodik zur Abstimmung für die Ausleitung von Handlungsempfehlungen für die Entwicklung der nächsten Heizgerätgenerationen angewendet. Ein Einfluss der weiteren Betrachtungsdomänen (Montage und Varianten) auf die Abstimmung wurde ausgeschlossen, sodass sich die folgenden Ausführungen auf die Anwendung der beschriebenen Methodik zur Abstimmung fokussieren.

---

<sup>60</sup> Grundlage für diese Ausführungen ist der unveröffentlichte Projektbericht von BEHNCKE ET AL. [2013A].

## Anwendung und Ergebnisse: Fallstudie in der industriellen Praxis

Im Systemmodell des Heizgeräts wird das Ergebnis aus der Akquisition relevanter Informationen (APL.A) zusammengefasst und als MDM dargestellt (Abbildung 7-2).

Im zweiten Schritt der Methodik (APL.B1) erfolgt die Generierung von Szenarios für die Produktarchitektur. Dafür wird über Formel 6-5 die Abhängigkeiten zwischen den Komponenten auf der Basis ihrer Funktionen ( $DSM_{K-K, \text{Funktion}}$ ) berechnet. Das Ergebnis dieser Berechnung stellt Abbildung 10-10 dar und bildet die Grundlage für die nachfolgende Ableitung des Lösungsraums. Mit der Berechnung aus Formel 6-16 umfasst der Lösungsraum 12.219.100.678 potenzielle Szenarios für die Produktarchitektur (Tabelle 10-26), welche durch die Berechnung der Metriken zur Cluster- (Formel 6-17) und Systemperspektive (Formel 6-18) auf zehn Szenarios mit hoher Qualität reduziert wird. Die Bewertung der Szenarios anhand der Metriken (Cluster- und Systemperspektive) ist in Tabelle 7-2 dargestellt. Die zugehörigen Lösungsklassen der Szenarios sind dem Index zu entnehmen. Tabelle 10-27 zeigt die dezimale Repräsentation der Clusterszenarios. Damit liefert dieser Schritt zehn Szenarios für die Produktarchitektur.

**Tabelle 7-2: Bewertung der Szenarios für die Produktarchitektur**

	PA <sub>1,1</sub>	P <sub>2,1</sub>	PA <sub>2,2</sub>	PA <sub>2,3</sub>	PA <sub>3,1</sub>	PA <sub>3,2</sub>	PA <sub>3,3</sub>	PA <sub>3,4</sub>	PA <sub>4,1</sub>	PA <sub>4,2</sub>
<b>Clusterperspektive</b>	0,677	0,151	0,161	0,559	0,022	0,032	0,129	0,129	0	0
<b>Systemperspektive</b>	0,05	0,133	0,05	0,05	0,133	0,05	0,133	0,05	0,133	0,05

Im dritten Schritt der Methodik (APL.B2) erfolgt die Generierung von Szenarios für das Liefernetzwerk, welche simultan zum Schritt APL.B1 stattfindet. Bei dem Heizgerät kommen zwölf Lieferanten für die Bereitstellung der 18 relevanten Komponenten zum Einsatz. Die Lieferantenbasis weist lediglich für die Komponente K21 vergabefähige Alternativlieferanten auf, wodurch das Liefernetzwerk aus elf Lieferanten aufgebaut wird. Ferner ergeben sich damit nach Formel 6-8 zwei grundsätzliche Lieferszenarios. Auf der Basis dieser Szenarios wird über Formel 6-9 die Lieferbeziehung der Lieferanten abgeleitet. Bei dem Partnerunternehmen erfolgt die Zuordnung der Lieferanten zu Komponenten und nicht zu Funktionen, weshalb in Formel 6-9 die äquivalenten Beziehungen der Komponenten herangezogen werden (Abbildung 10-11). Mit der resultierenden  $DSM_{L-L, \text{Liefer, } 1/2}$  erfolgt schließlich die Ausleitung des Lösungsraums analog zur Berechnung bei der Produktarchitektur über Formel 6-16 und die Transformation des Ergebnisses in die  $DSM_{K-K, \text{Liefer, } 1/2}$ , um den strukturellen Abgleich im vierten Schritt der Methodik (APL.C) zu ermöglichen. Mit der Berechnung aus Formel 6-16 umfasst der Lösungsraum 24 Milliarden Szenarios für das Liefernetzwerk. Diese Szenarios ergeben sich aus 12.219.100.678 Szenarios für die elf Lieferanten und den zwei Lieferszenarios für die Komponente K21. Der Lösungsraum wird abschließend durch die Berechnung der Metriken zur Cluster- (Formel 6-17) und Systemperspektive (Formel 6-18) auf sieben Szenarios mit hoher Qualität reduziert. In Tabelle 7-3 wird die Qualität dieser Szenarios für das Liefernetzwerk analog zu Tabelle 7-2 berechnet. Die Zugehörigkeit zu Lösungsklassen ist auch beim Liefernetzwerk

dem Index zu entnehmen. In Tabelle 10-28 werden dezimale Clusterrepräsentationen der Szenarios dargestellt. Der dritte Schritt liefert somit sieben Szenarios für das Liefernetzwerk des Heizgeräts.

**Tabelle 7-3: Bewertung der Szenarios für das Liefernetzwerk**

Szenarios	LN <sub>1,1</sub>	LN <sub>2,1</sub>	LN <sub>2,2</sub>	LN <sub>3,1</sub>	LN <sub>3,2</sub>	LN <sub>3,3</sub>	LN <sub>3,4</sub>
Clusterperspektive	1	0,152	0,413	0	0	0,239	0,239
Systemperspektive	0	0,019	0	0,038	0,019	0,019	0

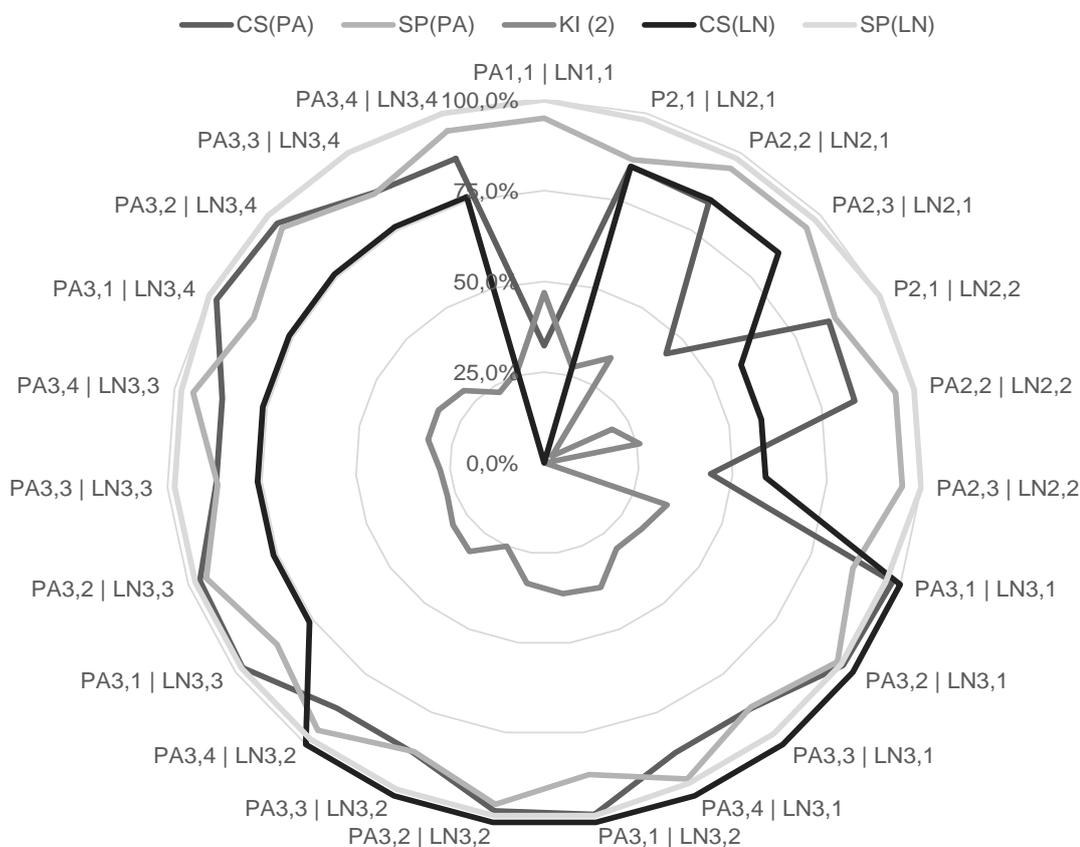
Im vierten Schritt (APL.C) erfolgt der strukturelle Abgleich der Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk, welcher auf Basis der DSM<sub>K-K</sub> für Funktions- (DSM<sub>K-K, Funktion</sub>) und Lieferbeziehungen (DSM<sub>K-K, Liefer, X</sub>) zwischen den Komponenten stattfindet. Die Anzahl der erforderlichen paarweisen Vergleiche für den Abgleich des Lösungsraums berechnet die Formel 6-11. Sie weist für die zehn Szenarios der Produktarchitektur (Ergebnis aus APL.B1) und die sieben Szenarios des Liefernetzwerks (Ergebnis von APL.B2) 70 paarweise Vergleiche aus. Diese Anzahl kann durch Klassenvergleiche nach LINDEMANN [2009, S. 150] merklich reduziert werden. In Tabelle 7-4 werden die Lösungsklassen der Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk einander gegenübergestellt. Damit sind für das Heizgerät lediglich 23 paarweise Vergleiche für den strukturellen Abgleich der Szenarios erforderlich.

**Tabelle 7-4: Gegenüberstellung der Klassenlösungen für Produktarchitektur und Liefernetzwerk**

	Klassenlösung (1 Cluster)	Klassenlösung (2 Cluster)	Klassenlösung (3 Cluster)	Klassenlösung (4 Cluster)
Anzahl der PA Szenarios	1	3	4	2
Anzahl der LN Szenarios	1	2	4	0
Anzahl der Lösungsalternativen	1	6	16	0

Die strukturelle Übereinstimmung der Szenarios wird mit dem Konformitätsindex der 2. Ordnung (KI<sub>2</sub>) erhoben. Die Berechnung des Konformitätsindex (KI<sub>2</sub>) ist Formel 6-13 zu entnehmen und setzt die Ableitung der Delta-DSM<sub>K-K</sub> als Hilfsmatrix über die Formel 6-12 voraus. In Tabelle 10-29 im Anhang wird zudem der Konformitätsindex (KI) für sämtliche 23 Lösungsalternativen für das Heizgerät aufgelistet.

Im letzten Schritt der Methodik zur Abstimmung (APL.D) erfolgt die **Bewertung und Darstellung der Lösungsalternativen**, welche für das betrachtete Heizgerät 23 Alternativen umfasst. Dafür zieht diese Dissertation zusätzlich zum Konformitätsindex die Bewertung der Szenarios von Produktarchitektur (Tabelle 7-2) und Liefernetzwerk (Tabelle 7-3) heran (Tabelle 10-29). Das Profil aus Abbildung 7-6 führt die Bewertung der 23 Lösungsalternativen zusammen und erlaubt eine umfassende Gegenüberstellung der Alternativen. Dafür werden für die Darstellung die Metriken zur Cluster- und Systemperspektive invertiert, sodass sich analog zum Konformitätsindex ideale Lösungen zu 100% ergeben. Die Bewertung in dem Profil ist Supplement und nicht Komplement zu etablierten Methoden für die Gestaltung der Produktarchitektur (Tabelle 10-4) und des Liefernetzwerks (Tabelle 10-8).



**Abbildung 7-6: Profil der Lösungsalternativen**

Zwei Lösungsalternativen ( $PA_{3,2} | LN_{3,2}$  und  $PA_{3,4} | LN_{3,2}$ ) weisen in sämtlichen Bereichen sehr gute Ergebnisse auf. Im Industrieprojekt wurde hingegen Lösungsalternative ( $PA_{2,1} | LN_{2,1}$ ) bevorzugt. Diese Entscheidung wurde mit den weiteren Betrachtungsdomänen (Varianten und Montage) begründet und steht somit nicht in Konflikt zu den Ergebnissen aus Abbildung 7-6. Bei der Alternative ( $PA_{2,1} | LN_{2,1}$ ) ergeben sich zwei Module ( $A_{2,1}$  und  $B_{2,1}$ ) für eine Vergabe.

Bei dem Modul  $A_{2,1}$  steht die Verlagerung an den Lieferanten L6 (Lieferant E) im Fokus, da er bereits wesentliche Umfänge dieses Moduls bereitstellt. Zudem verfügt Lieferant L6 nachweislich über die technischen Kompetenzen, um das gesamte Modul zu verantworten und tut sich

somit als potenzieller Modullieferant hervor. Einen umfassenden Nachweis über die erforderlichen organisatorischen Kompetenzen kann der Lieferant L6 jedoch nicht erbringen. Die zugrunde liegenden Funktionen dieses Moduls A<sub>2,1</sub> beschreiben eine Kernkompetenz des Partnerunternehmens und stellen damit auf die strategische Ausrichtung des Unternehmens ab. Im Industrieprojekt sprach man sich schließlich gegen eine Modulvergabe an den Lieferanten L6 aus, um einem ungewollten Kompetenzabfluss zum Lieferanten L6 zu vermeiden.

Modul B<sub>2,1</sub> realisiert für die Komponente K21 eine Doppelquellenbeschaffung (L20 und L14). Ferner wird mit L11 ein kritischer Lieferant im Kollektiv des Liefernetzwerks eingebunden (Abbildung 7-5). Lieferant L11 verantwortet zwei Beschaffungsumfänge in dem Modul und weitere Komponenten außerhalb des Moduls. Für die Verlagerungsentscheidung steht bei diesem Modul die Frage nach der technischen und organisatorischen Kompetenz potenzieller Modullieferanten im Fokus. Durch den unterschiedlichen Charakter der Komponenten im Modul wurde im Industrieprojekt von einer Verlagerung abgeraten. Auf Basis der unterschiedlichen Materialgruppen der Komponenten, muss ein entsprechender Modullieferant Kompetenzen im Bereich Kunststofftechnik, Elektrik/Elektronik und Metallverarbeitung besitzen. Bei entsprechender Spezialisierung der Lieferanten, konnte bei keinem der aufgeführten Lieferanten von einem solch breiten Kompetenzprofil ausgegangen werden.

Im Fallbeispiel entschloss man sich nicht für eine Modulbeschaffung von A<sub>2,1</sub> und B<sub>2,1</sub>. Diese Entscheidung ist nicht auf die mangelnde Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk zurückzuführen, sondern auf Rahmenbedingungen des Partnerunternehmens.

### **Bewertung und Diskussion: Fallstudie in der industriellen Praxis**

Die Evaluation der Methodik zur Abstimmung fokussiert sich auf die Domänen Produktarchitektur und Liefernetzwerk (A.6). Um die strukturelle Übereinstimmung der Domänen zu bestimmen, greift die Methodik ausschließlich auf Strukturinformationen zurück. Im Systemmodell wird der Input der Methodik in Form dieser Strukturinformationen aufgenommen (A.4). Diese Informationen sind direkt aus den Strukturattributen für Produktarchitektur und Liefernetzwerk zu erheben und beschreiben ein direktes Gütekriterium (A.8). Ferner wird über die simultane Generierung von Szenarios für beide Domänen Anforderung A.7 erfüllt (Sequenz der Abstimmung) und legt die Grundlage für die Untersuchung des gesamten Lösungsraums (A.9). Eine sequenzielle Abfolge resultiert in einer Reduzierung des Lösungsraums. Die Methodik liefert demnach konkrete Handlungsanweisungen für den Anwendungsfall und wird somit auch der Anforderung an den Output der Abstimmung (A.5) gerecht.

Mit dem Bewertungsprofil an Lösungsalternativen in Abbildung 7-6 werden mehrere Lösungsalternativen für den Anwender aufbereitet. Dies erlaubt die Einbringung impliziten Systemwissens bei der Entscheidungsfindung und verspricht die Auswahl idealer Lösungen [BEHNCKE ET AL. 2014C]. Die Auswahl idealer Lösungen setzt die Untersuchung des gesamten Lösungsraums voraus und ist bei größeren Systemen schwer zu realisieren. Abhilfe schafft lediglich die Wahl des Abstraktionsgrads und die Eingrenzung des zu untersuchenden Systems. Die simultane Sequenz der Abstimmung schließt zwar eine ungewollte Einschränkung des Lösungsraums aus, resultiert jedoch in zahlreichen Paarungen von Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Durch den Einsatz von Klassenlösungen für den Abgleich und die Bewertung der Szenario-

rios anhand der Metriken zur Cluster- und Systemperspektive, kann der Aufwand für den Abgleich merklich reduziert werden, sodass auch größere Systeme handhabbar sind. Bei der Methodik werden für die Generierung des Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk indirekte Abhängigkeiten abgeleitet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Länge die Stärke der Abhängigkeit abnimmt [LINDEMANN ET AL. 2009, S. 96ff.]. Für die Bestimmung der strukturellen Übereinstimmung wird ein direktes Gütekriterium auf Basis der Strukturinformationen gewählt, welches Einflüsse aus der Peripherie ausschließt.

Die Anwendung und Ergebnisse der Methodik zur Abstimmung wurden mit fünf Fachkollegen aus Entwicklung und Einkauf des Partnerunternehmens in Einzelgesprächen und Workshops diskutiert. Die Fachkollegen übten Kritik am Umfang des Lösungsraums. Mit zwei Prinzipien wurde diesem Umstand beim Fallbeispiel Sorge getragen und durchweg positiv von den Fachkollegen aufgenommen. Zum einen wurde sich auf die 16 Hauptfunktionen und 20 Komponenten beschränkt, zum anderen wurden bei dem Fallbeispiel keine C-Teile berücksichtigt. Ferner fand die weitere Eingrenzung der Lösungsalternativen durch die Vorbewertung mit den Metriken zur Cluster- und Systemperspektive im Rahmen der Generierung der Szenarios für Produktarchitektur und Liefernetzwerk die Zustimmung des Partnerunternehmens. Die Anmerkung nach weiteren Einschränkungen des Lösungsraums der Abstimmung aus Entwicklung und Beschaffung adressieren die Aktivitäten im Leitfaden (Abbildung 6-6). Ferner haben die Fachkollegen die Aktivitäten zur Qualitätssicherstellung der Eingangsinformationen für das Systemmodell (Abbildung 7-2) positiv hervorgehoben. Beim Fallbeispiel wurden die Funktionen (und deren Vernetzung) durch Interviews und Workshops über Funktionsmodelle mit Wissensträgern und Experten des Partnerunternehmens verifiziert. Die Komponenten (und deren Vernetzung) wurden über verfügbare Dokumente (Stücklisten und Fertigungszeichnungen) und eine Produktzerlegung abgesichert und in Interviews mit einer Gruppe von Experten aus Entwicklung und Konstruktion diskutiert. Die primären Informationen zu der Domäne der Lieferanten (und deren Vernetzung) wurden aus dem Warenwirtschaftssystem des Partnerunternehmens entnommen und in drei Interviews mit Mitarbeitern und Abteilungsleitern der Beschaffung verifiziert. Eine Absicherung der Zuordnung der Komponenten zu Lieferanten erfolgte über Stücklisten. Als Ergebnis der Methodik wurden die Lösungsalternativen für Paarungen der Produktarchitektur und Liefernetzwerk in einem Bewertungsprofil (Abbildung 7-6) dargestellt und unterstützten die Auswahl einer idealen Lösung durch den Anwender. Für das Fallbeispiel bieten sich nach Abbildung 7-6 die Lösungsalternativen (PA3,2 | LN3,2 und PA3,4 | LN3,2) an. Für die nächste Generation von Heizgeräten wurde jedoch die Lösungsalternative (PA2,1 | LN2,1) bevorzugt, da diese mit den weiteren Betrachtungsdomänen des Industrieprojekts (Varianten und Montage) in Einklang steht. Die Wahl der Fachkollegen legt somit Zeugnis von der Bedeutung mehrerer Lösungsalternativen ab. Bei der Frage der Verlagerung der beiden resultierenden Module (A2,1 und B2,1) steht bei den Fachkollegen die langfristige Aufteilung von Kernkompetenzen des eigenen Unternehmens und des Lieferanten im Vordergrund. Diese Facette wird von der Methodik nicht explizit unterstützt und stellt eine Grenze des Ansatzes dar, obgleich die Darstellung mehrerer Lösungsalternativen eine Grundlage liefert. Die Methodik zur Abstimmung wird konsekutiv von den Fachkollegen als wertvoller Ansatz für frühe Entwicklungsphasen bezeichnet, welcher mit der begrenzten Verfügbarkeit von Informationen dem Anwender Lösungsalternativen für den spezifischen Anwendungsfall bereitstellt.

## 7.4 Clusterverfahren: Erfolgsevaluation

Die Erfolgsevaluation des Clusterverfahrens für Matrixmethoden wird durch einen mathematischen Nachweis anhand definierter Erfolgskriterien erbracht. Dafür zeigt dieses Kapitel die Motivation und Zielsetzung inklusive der Erfolgskriterien auf, bevor über die Evaluationsstufen des Verfahrens sowohl die Anwendung als auch die Ergebnisse illustriert werden.

Forschungsmethodisch erfolgt die Evaluation des Clusterverfahrens über den Forschungstyp VI nach BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 18ff.]. Dieser Forschungstyp fußt auf der Erarbeitung eines initialen Ansatzes, welcher auf Basis der Anwendungserfahrungen einer umfassenden Überarbeitung zugeführt wird. Der resultierende Ansatz adressiert sämtliche Defizite des initialen Clusterverfahrens. Beim Verfahren stellt die Publikation von BEHNCKE ET AL. [2014c] das initiale Verfahren für das Clustering vor, welches durch eine weiterführende Analyse der Fachliteratur (Kapitel 4.3) ergänzt wird. Dies liefert die Grundlage für die umfassende Beschreibung des Clusterverfahrens für Matrixmethoden als „Prescriptive Study“ (Kapitel 6.4). Dieses Kapitel stellt schließlich die „Descriptive Study II“ dar.

### Motivation und Zielsetzung: Mathematischer Nachweis

Die Motivation für die Erfolgsevaluation des Clusterverfahrens erwächst aus den Defiziten der vorgestellten Clusterverfahren aus der Fachliteratur (Kapitel 4.3). Die Defizite umfassen die Pfadabhängigkeit, Dimensionalität und Ausprägungen von Clustern. Nach der Pfadabhängigkeit entscheidet die Reihenfolge der Elemente in der Ausgangsmatrix über die ausgegebenen Alternativen, welche von dem Verfahren als optimale Lösungen gekennzeichnet werden. Die Pfadabhängigkeit steht somit der Reliabilitätsforderung entgegen. Mit der Dimensionalität wird der Einfluss der 2D-Darstellung in Matrizen beschrieben, welche die Abbildung von mehrfach überlappenden Clustern beschränkt. Das letzte Defizit adressiert die Ausprägungen von Clustern (exklusiv und überlappend), welche das Clusterverfahren berücksichtigt. Demnach wird durch exklusive Clusteralternativen nicht der gesamte Lösungsraum abgedeckt – der Lösungsraum ist um überlappende Cluster zu erweitern.

Die Zielsetzung der Erfolgsevaluation greift weiter als die Erfüllung der gestellten Anforderungen aus Kapitel 5.2 und geht der Frage nach, ob die Anwendung des Clusterverfahrens die gewünschte Wirkung erzeugt [BLESSING & CHAKRABARTI 2009, S. 185]. Diese wird für die vorliegende Dissertation als Untersuchung des gesamten Lösungsraums (A.11) formuliert und somit auch von der Erfolgsevaluation fokussiert. Das Clusterverfahren soll somit die Defizite der vorgestellten Verfahren aus der Fachliteratur überkommen. Daraus leiten sich für die Evaluation zwei ergänzende Erfolgskriterien ab. Demnach sind von dem Clusterverfahren mehr Clusteralternativen mit vergleichbar guter Qualität und/oder Alternativen mit höherer Qualität auszugeben.

Für die Durchführung einer Erfolgsevaluation empfehlen BLESSING & CHAKRABARTI [2009, S. 177] Personen mit einem Kenntnisstand, der dem des Anwenders nahekommt. Beim Clusterverfahren wird von dieser Form der Evaluation Abstand genommen, da der Nachweis der Leistungsfähigkeit des Verfahrens anhand der Erfolgsfaktoren aus einem mathematischen Nachweis zu erbringen ist und somit höchsten Reliabilitätsforderungen genügt. Ferner wird im folgenden Abschnitt aufgezeigt, wie das Verfahren die aufgeführten Defizite überkommt.

## Anwendung und Ergebnisse: Mathematischer Nachweis

Das initiale Clusterverfahren für Matrixmethoden wird in BEHNCKE ET AL. [2014C] vorgestellt und leitet über Kombinatorik den gesamten Lösungsraum an exklusiven Clusteralternativen aus. Das Verfahren zieht dafür die Stirling-Zahl zweiter Art (Formel 6-6) heran, auf deren Basis über Formel 6-7 der Lösungsraum berechnet wird. Über eine Referenzstruktur wird das Clusterverfahren anderen Verfahren aus der Fachliteratur gegenübergestellt. Eine Übersicht über die Clusterverfahren aus der Fachliteratur stellt Tabelle 10-30 dar.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der Clusterverfahren erfolgt in Abbildung 7-7 über zwei Metriken zur Bewertung der Qualität des Clusterings. Diese Metriken lehnen sich an die Metriken zur Cluster- (M.1) und Systemperspektive (M.2) an und weisen optimale Cluster am Koordinatenursprung aus. Dabei werden durch die Formatierung der Datenpunkte in Abbildung 7-7 die Ergebnisse der verschiedenen Clusterverfahren überlagert.

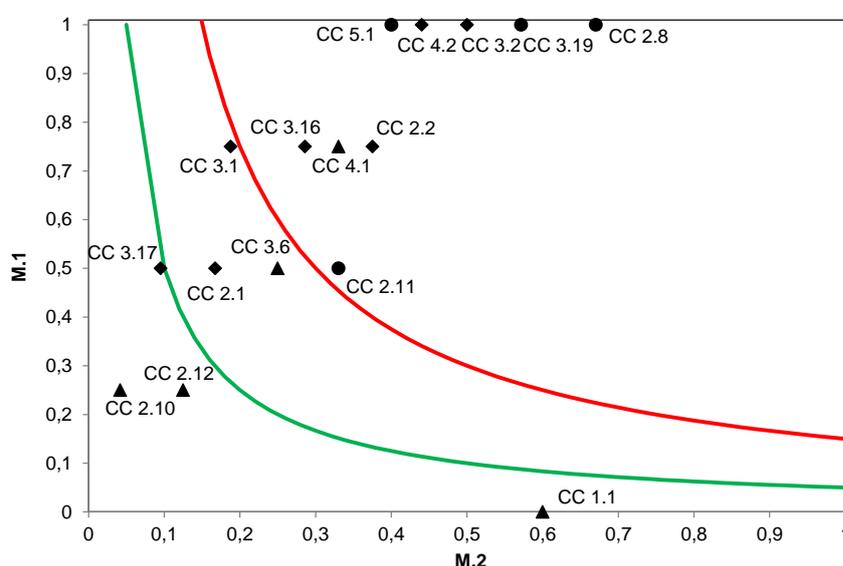


Abbildung 7-7: Bewertungsportfolio der Clusteralternativen [BEHNCKE ET AL. 2014C, S. 182]

Bei der Überlagerung ergeben sich Clusteralternativen, welche dieselben Werte für die Metriken (M.1 und M.2) aufweisen. Abbildung 7-7 zeigt für diese Alternativen Stellvertreter, welche durch einen rautenförmigen Datenpunkt illustriert werden. Die einzelnen Alternativen hinter den Stellvertretern sind [BEHNCKE ET AL. 2014C, S. 182] zu entnehmen. Durch einen dreieckigen Datenpunkt werden Clusteralternativen ausgewiesen, welche neben dem vorgestellten Clusterverfahren von mindestens einem weiteren Verfahren aus der Fachliteratur gefunden werden. Die runden Datenpunkte repräsentieren Clusteralternativen, welche ausschließlich vom vorgestellten Clusterverfahren identifiziert werden. Demnach finden die Verfahren aus der Fachliteratur (Tabelle 10-30) in Summe keine weiteren Alternativen als das vorgestellte Clusterverfahren. Zudem werden sämtliche Alternativen aus der analytischen Berechnung auf Basis der Stirling-Zahl zweiter Art (Formel 6-7) von dem vorgestellten Verfahren ausgewiesen. Damit überkommt das initiale Verfahren bereits das Defizit zur Pfadabhängigkeit. Mit der Permutation wird die Reihenfolge der Elemente in der Ausgangsmatrix für die Identifikation von Clusteralternativen variiert, um der Pfadabhängigkeit zu entgegnen. Der Fokus des initialen

Verfahrens auf exklusive Cluster schränkt den untersuchten Lösungsraum ein, sodass die Inklusion von überlappenden Clustern für die Ergänzung des Clusterverfahrens handlungsleitend ist. Zudem ist das Defizit der Dimensionalität von dem Verfahren zu adressieren.

Das Clusterverfahren aus Kapitel 6.4 zieht für die analytische Berechnung des Lösungsraums Formel 6-16 heran, welche im Gegensatz zur Stirling-Zahl zweiter Art (Formel 6-6) auch überlappende Cluster berücksichtigt. Diese Ausprägung von Clustern erweitert den Lösungsraum erheblich, wie Tabelle 7-5 über den Vergleich der berücksichtigten Lösungsalternativen für die Referenzstruktur aus [BEHNCKE ET AL. 2014C] zeigt. Demnach ergibt sich bereits bei kleinen Systemen ein merklicher Unterschied bei dem untersuchten Lösungsraum.

**Tabelle 7-5: Lösungsraum von exklusiven und überlappenden Clustern**

n	3	4	5
Exklusive Cluster	1	7	36
Überlappende Cluster	1	27	171

Über Formel 6-16 wird die Anzahl der Clusteralternativen analytisch über die Kombinatorik berechnet. Grundlage bildet die Berechnung der Anzahl von Lösungen ohne Reihenfolge mit Wiederholung. Die Forderungen nach einer Mindestgröße reduziert die Anzahl an Clustern (3 Elemente), welche durch den zweiten Term in Formel 6-16 repräsentiert wird. Durch Wiederholung sind Elemente mehreren Clustern gleichzeitig zugeordnet. Damit identifiziert das Clusterverfahren explizit überlappende Cluster (Ausprägung von Clustern) und führt diese einer Bewertung zu. Ferner entgegnet die Wiederholung der Dimensionalität, da mehrfach überlappende Clustern dargestellt werden. Durch die Kombination von Wiederholung und keiner Reihenfolge ergeben sich jedoch redundante Clusteralternativen. Die Prüfung der linearen Unabhängigkeit in Modul CVM.A5 entfernt diese Cluster aus dem Lösungsraum. Durch die Vernachlässigung der Reihenfolge in Formel 6-16 wird ferner dem Defizit der Pfadabhängigkeit begegnet, welche bei Verfahren aus der Fachliteratur (Tabelle 10-30) den Lösungsraum beschränken. Ohne die Berücksichtigung der Reihenfolge und durch die mathematisch nachgewiesene Untersuchung des gesamten Lösungsraums ist die Anordnung der Elemente in der Ausgangsmatrix für die Lösungsfindung unerheblich und schränkt den Lösungsraum an Clusteralternativen nicht ein.

Das Erfolgskriterium zur Anzahl der Clusteralternativen wird von dem Verfahren für Matrixmethoden erfüllt. Das zweite Erfolgskriterium zur Qualität der Clusteralternativen kann der dargestellte mathematische Nachweis nicht erbringen. Von einer weiterführenden, experimentellen Evaluation beispielsweise über Referenzstrukturen wird aufgrund der großen Anzahl erforderlicher Experimente zur Erreichung statistischer Signifikanz abgesehen. Die dargestellten Ergebnisse aus Abbildung 7-7 legen jedoch nahe, dass das Clusterverfahren für Matrixmethoden zumindest Clusteralternativen mit vergleichbar guter Qualität ausgibt. Die weiteren Vorgehensschritte des Clusterverfahrens (CVM.B und CVM.C) finden bereits bei der Fallstudie in Kapitel 7.3 Anwendung und werden hier nicht erneut dargestellt.

## Bewertung und Diskussion: Mathematischer Nachweis

Die Evaluation des Clusterverfahrens stützt sich auf den mathematischen Nachweis der Untersuchung des gesamten Lösungsraums und sichert damit die Erfüllung der korrespondierenden Anforderung (A.11) ab. Das vorgestellte Clusterverfahren überkommt in diesem Zuge zugleich die identifizierten Defizite zur Pfadabhängigkeit, Dimensionalität und Ausprägungen von Clustern. Für die Bewertung der Qualität des Clusterings greift das Verfahren mit den Metriken zur Cluster- und Systemperspektive ausschließlich auf Kennzahlen zurück, welche sich unmittelbar aus den Strukturinformationen ohne Hilfsgrößen ableiten lassen (A.10). Die Metriken wurden bereits in der Fallstudie in Kapitel 7.3 erfolgreich angewendet und werden in dieser Diskussion nicht erneut adressiert. Die Ein- und Ausgabe des vorgestellten Verfahrens erfolgt über Matrizen, zudem wurde MATLAB<sup>®</sup> für die Umsetzung des Clusterverfahrens wegen des effizienten Umgangs mit Matrizen ausgewählt (A.12).

Der Kern des Clusterverfahrens stellt das Pre-Processing dar, bei dem der gesamte Lösungsraums an Clusteralternativen über die Kombinatorik mittels Formel 6-16 generiert wird. Formel 6-16 lehnt sich an den Grundlagen der Kombinatorik zur Berechnung der Anzahl von Lösungen ohne Reihenfolge mit Wiederholung an. Der resultierende Lösungsraum enthält redundante Lösungen, welche spezifische Forderungen der Module eliminieren. Im Wesentlichen wird die lineare Unabhängigkeit der Clusteralternativen geprüft,<sup>61</sup> nachdem der zweite Term aus Formel 6-16 bereits die Voraussetzung einer Mindestgröße von Clustern (3 Elemente) abgesichert. Das Clusterverfahren besitzt reduzierenden Charakter, da aus dem mathematisch berechneten Lösungsraum sukzessive obsolete Clusteralternativen eliminiert werden. Das vorgestellte Verfahren steht insofern in Kontrast zu den agglomerativen Verfahren aus dem Stand der Forschung und Technik (Kapitel 4.3). Bereits für kleine Systeme führt die exzessive Untersuchung des Lösungsraums zu zahlreichen Clusteralternativen, welche aufgrund der beschränkten Rechnerkapazitäten die Systemgröße (Anzahl der Elemente) begrenzen. Derzeit liegt diese Grenze bei Systemen mit sieben Elementen für konventionelle Desktoprechner. Diese Grenze kann jedoch durch Rechnercluster oder Cloud-Computing-Plattformen verschoben werden. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass der Vorgehensschritt des Pre-Processings generisch für eine Systemgröße ist. Es werden folglich keine Informationen zu den Relationen zwischen den Elementen benötigt. Somit ist das Pre-Processing für Systeme gleicher Größe nur einmalig durchzuführen. Ferner sind beim Clustering nur relevante Elemente zu berücksichtigen, sodass isolierte Elemente oder Buselemente bereits vor der Generierung der Alternativen aus dem System zu entfernen sind. Unter Berücksichtigung dieser Maßnahmen ist das vorgestellte Clusterverfahren auch für größere Systeme anwendbar. Die weiteren Vorgehensschritte des Verfahrens (CVM.B und CVM.C) beeinflussen die formulierten Erfolgskriterien nicht und werden folglich bei dieser Evaluation nicht adressiert. Die Bewertung der Qualität des Clusterings über die Metriken (Cluster- und Systemperspektive) und die Darstellung mehrerer Alternativlösungen werden bereits in der Fallstudie bei der Webasto Thermo & Comfort SE (Kapitel 7.3) erfolgreich angewendet, sodass diese Vorgehensschritte nicht weiter aufgeführt werden.

---

<sup>61</sup> Modul CVM.A7 prüft den Sonderfall, ob ein Cluster vollständig in einem anderen Cluster enthalten ist.

## 7.5 Ergebnisbeitrag und Grenzen des Lösungsansatzes

Der Lösungsansatz adressiert die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen als Facette der beschaffungsgerechten Produktentwicklung über drei vernetzte Bausteine. Mit der Anwendungsevaluation zum Leitfaden (Kapitel 7.2), der Methodik zur Abstimmung (Kapitel 7.3) und der Erfolgsevaluation des Clusterverfahrens (Kapitel 7.4) wird eine Partialevaluation erbracht. Dies zeigt die Anwendbarkeit und Verwertbarkeit der einzelnen Bausteine des Lösungsansatzes. Für das Clusterverfahren wird überdies der Nutzen des Verfahrens für Matrixmethoden bestätigt. Die gewünschte Wirkung des gesamten Lösungsansatzes ist von der Partialevaluation hingegen nicht zu erbringen und stellt somit eine Grenze des Lösungsansatzes der vorliegenden Dissertation dar. In Ergänzung zur Klärung des Anwendungsgebiets der drei Bausteine werden nachfolgend deren Ergebnisbeitrag zusammengefasst und die Grenzen des Lösungsansatzes aufgezeigt.

Der Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung verankert die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in die Geschäftsprozesse der Organisation. Die Anwendungsevaluation des Leitfadens (Kapitel 7.2) fokussiert sich auf die Aktivität mit der Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks als Ergänzung der Fachliteratur. Die weiteren Aktivitäten repräsentieren lediglich bestehende Erkenntnisse und werden über Checklisten operationalisiert. Für eine Erfolgsevaluation ist auch der Nachweis über die gewünschte Wirkung dieser Aktivitäten zu erbringen, welcher nicht über die Triangularisierung bestehender Erkenntnisse zu argumentieren ist. Eine weitere Grenze des Lösungsansatzes wird durch die fokussierten Domänen konstituiert, die entsprechend der Schwerpunktsetzung in der Unternehmung situativ zu erweitern sind.

Die Methodik zur Abstimmung ermöglicht den Abgleich von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Entwicklung. Diese Entwicklungsphasen sind durch begrenzte Informationen gekennzeichnet, sodass der Abgleich auf Grundlage von Strukturattributen erfolgt. Durch die Anwendung der Methodik auf das Fallbeispiel der Webasto Thermo & Comfort SE (Kapitel 7.3) wird eine Anwendungsevaluation erbracht. Der Nachweis über die gewünschte Wirkung auf die übergeordnete Zielsetzung dieser Dissertation (Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks) bleibt offen. Der Nachweis stellt eine Grenze der Methodik zur Abstimmung in Ergänzung zu dem umrissenen Anwendungsgebiet in Kapitel 6.3.1 dar.

Grundlage für die Methodik zur Abstimmung ist das vorgestellte Clusterverfahren aus Kapitel 6.4, welches die Untersuchung des gesamten Lösungsraums erlaubt. Dieser Nachweis wird über die Erfolgsevaluation in Kapitel (7.4) erbracht. Das Clusterverfahren überkommt demnach die aufgeführten Defizite zur Pfadabhängigkeit, Dimensionalität und zu Ausprägungen von Clustern durch die Generierung des gesamten Lösungsraums mittels Kombinatorik. Die exzessive Untersuchung des Lösungsraums resultiert in einer Begrenzung der Systemgröße (Anzahl der Elemente), auf die das Clusterverfahren anzuwenden ist. Durch die Nutzung von Rechnerclustern oder Cloud-Computing-Plattformen ist diese Grenze zu verschieben. Für eine erschöpfende Untersuchung des Lösungsraums ist das Vorgehen jedoch Erfolg versprechend.

Die Grenzen des Lösungsansatzes zeichnen das weitere Forschungsprogramm für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk als Facette der beschaffungsgerechten Produktentwicklung vor. Der Ausblick (Kapitel 8.2) konkretisiert dieses Forschungsprogramm.

## 8. Zusammenfassung und Ausblick

*Mit dem abschließenden Kapitel werden der Ergebnisbeitrag dieser Dissertation zusammengefasst und Implikationen für Industrie und Forschung formuliert. Abschließend stellt dieses Kapitel die weiteren Handlungsbedarfe als Ausblick für die wissenschaftliche Praxis dar.*

### 8.1 Zusammenfassung und Implikationen

Der Unternehmenserfolg ist übergeordnete Zielsetzung unternehmerischen Handelns und wird in der vorliegenden Dissertation durch eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks produzierender Unternehmen adressiert. Mit der Zusammensetzung und Struktur des Liefernetzwerks sowie der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk behandelt diese Dissertation zwei essenzielle Handlungsfelder, die für die Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks verantwortlich ist.

Mit der theoretischen Einführung wird die terminologische Grundlage für die zentralen Begrifflichkeiten Produktarchitektur und Liefernetzwerk geschaffen, welche auf die inhärenten Strukturattribute der beiden Domänen abstellt. Durch die Abgrenzung zu mediaten Forschungsfeldern auf den Ebenen der industriellen Wertschöpfung (Portfolio, Struktur und Prozess) ergeben sich Schnittstellen, welche die Abstimmung beeinflussen (Abbildung 2-5). Dieser Einfluss fokussiert sich auf die Ebenen der Prozesse (Entwicklungsprozess und Lieferantenmanagement) und des Portfolios (Produktfamilie und Lieferantenbasis). Kapitel 3 konkretisiert den Einfluss der methodischen Grundlagen zur Modellierung und Ausgestaltung auf Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Demnach fokussiert die Abstimmung frühe Entwicklungsphasen und matrixbasierte Modellierungsmethoden für beide Domänen. Die Verankerung der Abstimmung erfordert eine organisatorische Einbettung über Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung. Diese wird im Stand der Forschung und Technik (Kapitel 4) gemeinsam mit Ansätzen zur Abstimmung und Clusterverfahren für Matrixmethoden aufgezeigt.

Der weitere Forschungsbedarf bei den Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung umfasst eine Richtlinie für die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Zudem empfiehlt sich die Verankerung der korrespondierenden Aktivitäten in die Geschäftsprozesse der Organisation durch diese Richtlinie. Bei den Ansätzen zur Abstimmung erwächst die Forschungslücke aus einer umfassenden Unterstützung durch ein mathematisches Optimierungsmodell für den spezifischen Anwendungsfall unter den Randbedingungen begrenzter Informationen in frühen Entwicklungsphasen. Gestaltungsempfehlungen als Ansatz zur Abstimmung entfalten ihr Potenzial bereits in der Produktplanung und bieten sich an, um die Rahmenbedingungen für die Abstimmung zu setzen. Diese können Optimierungsmodelle über den Einsatz von Strukturinformationen für die Abstimmung schließlich aufgreifen. Die methodische Grundlage für die Ausgestaltung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk auf der Ebene von Strukturattributen beschreiben Clusterverfahren. Der Forschungsbedarf bei diesen Verfahren ergibt sich aus den Anforderungen der Abstimmung, welche die Kompromissbildung zwischen Entwicklung (Produktarchitektur) und Beschaffung (Liefernetzwerk) fokus-

siert. Demnach wird eine Untersuchung des gesamten Lösungsraums vom Clusterverfahren gefordert, um die Kompromissbildung bestmöglich zu unterstützen. Die relevanten Verfahren aus der Fachliteratur beschränken sich auf exklusive Cluster, welche nicht den gesamten Lösungsraum beschreiben, und sind somit Sinnbild für den Forschungsbedarf bei Clusterverfahren. Diese Ergebnisse zeichnen insofern das weitere Forschungsprogramm vor.

Der Lösungsansatz besteht aus drei vernetzten Bausteinen (Abbildung 6-1), welche die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Phasen der Entwicklung zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks ermöglichen. Die Bausteine umfassen den Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung, die Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk sowie das Clusterverfahren für Matrixmethoden.

Der Leitfaden verankert relevante Aktivitäten zur Abstimmung in die Geschäftsprozesse der Organisation und dokumentiert diese für die Anwendung in der industriellen Praxis über Beschreibungsschemata. Die Aktivitäten fokussieren sich auf die Gestaltung der Produktarchitektur und des Liefernetzwerks über die Entwicklungsphasen von der Produktplanung bis zur Systementwicklung (Abbildung 6-3). Die Aktivitäten zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks (DfP.B5 und DfP.C5) werden durch eine eigens entwickelte Methode unterstützt. Der Nachweis ihrer Anwendbarkeit und Verwertbarkeit wurde über eine experimentelle Fallstudie bei der Webasto Thermo & Comfort SE erbracht und stellt das Potenzial der Methode zur Bewertung von Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks für die industrielle Praxis heraus. Die Methode zeigt demnach ein umfassendes Bild von der Stellung der Lieferanten im Liefernetzwerk und ergänzt das bestehende Methodenportfolio für die Bewertung von Lieferanten in frühen Entwicklungsphasen.

Die Methodik zur Abstimmung fokussiert sich auf die Konzept- und Serienentwicklung. Diese Entwicklungsphasen sind durch begrenzte Informationen zu Produktarchitektur und Liefernetzwerk charakterisiert, sodass die Methodik auf die gemeinhin verfügbaren Strukturinformationen in diesen Phasen zurückgreift. Durch die simultane Generierung des Lösungsraums und der Abstimmung mittels Optimierungsmodell begegnet die Methodik aus Kapitel 6.3 der ungewollten Beschränkung des Lösungsraums und erfüllt zugleich die Forderung nach einer umfassenden Unterstützung für den spezifischen Anwendungsfall. Die Abstimmung erfolgt auf Grundlage eines direkten Gütekriteriums (Konformitätsindex) und schließt damit den Einfluss von mittelbaren Hilfsgrößen bei der Abstimmung aus. Für die Entscheidung durch das SE-Team stellt die Methodik zur Abstimmung sämtliche Lösungsalternativen anhand des Konformitätsindex und zweier Strukturmetriken für Produktarchitektur und Liefernetzwerk einander gegenüber (Abbildung 7-6). Durch die Fallstudie bei der Webasto Thermo & Comfort SE konnte zudem die Anwendbarkeit und Verwertbarkeit der Methodik in der industriellen Praxis aufgezeigt werden.

Das Clusterverfahren für Matrixmethoden stellt die methodische Grundlage für die Methodik zur Abstimmung dar. Das Verfahren bereitet sämtliche Clusteralternativen für ein gegebenes System mittels Kombinatorik auf und führt diese der Bewertung mit zwei Strukturmetriken (Cluster- und Systemperspektive) zu. Die rechenintensive Generierung der Clusteralternativen erfolgt einzig auf Grundlage der Anzahl an Systemelementen. Erst der zweite Schritt berücksichtigt die Relationen des gegebenen Systems, sodass die Ergebnisse aus dem ersten Schritt

für andere Systeme gleicher Größe (Anzahl der Systemelemente) als Vorlage wiederzuverwenden sind. Der dritte Schritt gibt schließlich paretooptimale Clusteralternativen für die Auswahlentscheidung durch den Anwender aus. Durch die Erfolgsevaluation erfüllt das vorgestellte Clusterverfahren nachweislich die Anforderung bezüglich Pfadabhängigkeit, Dimensionalität und Ausprägungen von Clustern. Das Clusterverfahren erlaubt folglich die exzessive Untersuchung des gesamten Lösungsraums an Clusteralternativen und erweitert das bestehende Repertoire um ein Verfahren, das die Geschwindigkeit der Lösungssuche klar der Vermeidung etwaiger Einschränkungen des Lösungsraums unterordnet.

Die Bausteine des Lösungsansatzes unterstützen die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in der industriellen Praxis trotz begrenzter Informationen in frühen Entwicklungsphasen. Ferner tragen sie zur Erreichung der übergeordneten Zielsetzung der vorliegenden Dissertation bei, welche die Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks zum Ziel hat.

## 8.2 Ausblick und Forschungsdirektiven

Die vorliegende Dissertation adressiert mit der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk eine Facette der beschaffungsgerechten Produktentwicklung. Auf Grundlage der vorgestellten Ergebnisse wird nachfolgend ein Ausblick auf weitere Forschungsaktivitäten und Direktiven zur Weiterentwicklung des Lösungsansatzes mit seinen Bausteinen gegeben.

Der Lösungsansatz fokussiert die organisatorische Schnittstelle zwischen Entwicklung und Beschaffung für eine dezidierte Schwerpunktsetzung auf die Abstimmung zwischen Produktarchitektur und Liefernetzwerk und vernachlässigt den Einfluss weiterer Domänen. Eine integrierte Perspektive nimmt FINE [1998, S. 127ff.] mit dem 3D-Concurrent Engineering ein und berücksichtigt in Ergänzung zur Entwicklung und Beschaffung auch die Produktion bei dem Originalteilhersteller für die Abstimmung. Diese Erweiterung schafft bereits in frühen Entwicklungsphasen das methodische Fundament für Make-or-buy-Entscheidungen, welche im Einklang mit den Perspektiven Entwicklung, Beschaffung und Produktion stehen. Ziel der weiteren Forschungsaktivitäten ist folglich die Erweiterung des Lösungsansatzes um die Perspektive der Produktion, um die Abstimmung im Rahmen des 3D-Concurrent Engineerings zu ermöglichen.

Durch die Partialevaluation der Bausteine des Lösungsansatzes ergibt sich eine Forschungsdirektive in einer umfassenden Erfolgsevaluation des Lösungsansatzes. Experimentelle Fallstudien in der industriellen Praxis bieten für die Evaluation die erforderliche Datengrundlage. Für die drei Bausteine ergeben sich verschiedene Forschungsaktivitäten.

Beim Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung ist für die Erfolgsevaluation der Betrachtungsgegenstand auf sämtliche Aktivitäten zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk auszuweiten (Abbildung 6-3), um deren gewünschte Wirkung vollumfänglich nachzuweisen. In diesem Zuge sind Erfolgskriterien für den Leitfaden abzuleiten, die bei den experimentellen Fallstudien in der industriellen Praxis eine Aussage über die Anwendbarkeit, die Verwertbarkeit und den Nutzen erlauben. Für die Methode zur Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks erfordert die Erfolgsevaluation eine Übertragung der Ergebnisse in eine monetäre Bewertung, um den erweiterten Bedarfen der industriellen Praxis zu genügen.

Bei der Methodik zur Abstimmung erfordert die umfassende Evaluation des Lösungsansatzes ebenfalls die Definition von Erfolgskriterien. Diese werden durch die Anwendungsevaluation bei der Webasto Thermo & Comfort SE bereits vorgezeichnet und zugleich werden empirische Daten im Rahmen der experimentellen Fallstudie bereitgestellt. Die Methodik erlaubt die Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk in frühen Entwicklungsphasen über Strukturattribute. Eine Abstimmung der weiteren Attribute (Detail und Dynamik) erfolgt nicht durch die Methodik und stellt eine spezifische Forschungsdirektive dieses Bausteins dar. Im Stand der Forschung und Technik (Kapitel 4.2) werden bereits Ansätze für die weiteren Attribute (Detail und Dynamik) vorgestellt, sodass sich die weiteren Forschungsaktivitäten auf die Gestaltung der Schnittstellen der Methodik zur Abstimmung zu den Ansätzen für die Optimierung der weiteren Attribute (Detail und Dynamik) beschränken sollten.

Für den dritten Baustein des Lösungsansatzes erbringt Kapitel 7.4 bereits eine Erfolgsevaluation. Die Erfolgskriterien fokussieren sich lediglich auf die Generierung des Lösungsraums (CVM.A) und vernachlässigen die weiteren Vorgehensschritte. Diese werden zwar bei der Anwendungsevaluation der Methodik zur Abstimmung erfolgreich angewendet, sind für eine umfassende Evaluation des gesamten Lösungsansatzes jedoch explizit zu berücksichtigen. Eine Evaluation über mehrere experimentelle Fallstudien erlaubt die Unterstützung der Ergebnisse des mathematischen Nachweises, obgleich die Erreichung der Anzahl erforderlicher Experimente für eine statistische Signifikanz außer Frage steht. Eine weitere Forschungsaktivität bei dem Clusterverfahren für Matrixmethoden ist die Erstellung von Vorlagen der Clusteralternativen für den ersten, generischen Schritt des Verfahrens, welcher für Systeme mit gleicher Anzahl an Elementen nur einmalig durchzuführen ist. Damit kann der begrenzten Systemgröße des Clusterverfahrens begegnet werden. Zudem erlaubt die Nutzung der Rechnercluster oder Cloud-Computing-Plattformen und die Optimierung der Umsetzung in MATLAB<sup>®</sup> eine Verschiebung der Grenze des Verfahrens.

Aus der Evaluation des Lösungsansatzes ergeben sich weitere Forschungsaktivitäten über den Nachweis der übergeordneten Zielsetzung der vorliegenden Dissertation. Diese macht eine Steigerung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks an der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten, der Zusammensetzung und Struktur des Liefernetzwerks und der Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk fest. Als Forschungsdirektive ergibt sich somit die Forderung nach einem integrierten Ansatz zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Liefernetzwerks, welcher die drei aufgeführten Einflussfaktoren und deren Wechselbeziehungen untersucht. In dem integrierten Ansatz kann zudem der Paradigmenwechsel bei der Lieferantenauswahl von der Komponentenbeschaffung zur Beschaffung von Funktionen geebnet und für die spezifischen Bedürfnisse in der industriellen Praxis aufbereitet werden.

## 9. Verzeichnisse

### 9.1 Abkürzungsverzeichnis

APL	Methodik zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk
AS	Aktivsumme
CC	Clusterkonfiguration
CP	Clusterperspektive
CS	Klassenlösung
CVM	Clusterverfahren für Matrixmethoden
DFA	Design for Assembly
DFL	Design for Logistics
DFM	Design for Manufacturing
DFMaCu	Design for Mass Customization
DFMod	Design for Modularity
DFMt	Design for Manufacturing Maintainability
DFP	Design for Procurement
DfP	Leitfaden zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung
DFSv	Design for Serviceability
DMM	Domain Mapping Matrix
DSM	Design Structure Matrix
IP	Individuelle Produktvariante
KI <sub>1</sub>	Konformitätsindex 1. Ordnung
KI <sub>2</sub>	Konformitätsindex 2. Ordnung
LN	Liefernetzwerk
MDM	Multiple Domain Matrix
MK	Markt und Kunden
n <sub>K</sub>	Anzahl an Komponenten
n <sub>L,i</sub>	Anzahl der potenziellen Lieferanten für eine Komponente
n <sub>LV</sub>	Anzahl an Lieferalternativen
n <sub>mR</sub>	Anzahl möglicher Relationen des Clusterszenarios

---

$n_{\text{üR}}$	Anzahl an nicht-übereinstimmenden Relationen des Clusterszenarios
$n_{\text{PA}}$	Anzahl der Szenarios für die Produktarchitektur
$n_{\text{SA}}$	Anzahl an Lieferalternativen
$n_{\text{SCN},i}$	Anzahl der Szenarios für das Liefernetzwerk
$n_{\text{üR},C}$	Anzahl übereinstimmender Relationen der Clusterszenarios
$n_{\text{üR},\text{üC}}$	Anzahl nicht-übereinstimmender Relationen des Clusterszenarios
$n_{\text{VS}}$	Anzahl resultierender Klassenvergleiche
OEM	Originalteilhersteller
PA	Produktarchitektur
PE	Lehrstuhl für Produktentwicklung
PP	Produktprogramm
PS	Passivsumme
SET	Simultaneous Engineering Team
SP	Systemperspektive
$x_{i,e}$	Anzahl der Relationen innerhalb der Cluster einer Clusterkonfiguration
$x_{i,p}$	Anzahl der möglichen Relationen in dem gesamten System
$x_{z,e}$	Anzahl unbesetzter Relationen innerhalb der Cluster einer Clusterkonfiguration
$x_{z,p}$	Anzahl unbesetzter Relationen in dem gesamten System

## 9.2 Literaturverzeichnis

ADAM 1996

Adam, D.: Planung und Entscheidung. 4. Wiesbaden: Gabler 1996. ISBN: 978-3409446136.

AKYILDIZ & BOLCH 1982

Akyildiz, I.; Bolch, G.: Möglichkeiten und Grenzen der Analytischen Modellbildung von Warteschlangensystemen. In: Goller, M. (Hrsg.): Simulationstechnik SE. 8. Auflage. Springer: Berlin 1982, S. 66–78. ISBN: 978-3540116059.

ALDERS 2006

Alders, K.: Komplexitäts- und Variantenmanagement der AUDI AG. In: Lindemann, U. et al. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006. S. 221–237. ISBN 978-3540342748.

ALIDAE ET AL. 2005

Alidaee, B.; Glover, F.; Kochenberger, G.; Rego, C.: A new modeling and solution approach for the number partitioning problem. Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences 2 (2005) S. 113–121.

ALLEN & CARLSON-SKALAK 1998

Allen, K. R.; Carlson-Skalak, S.: Defining product architecture during conceptual design. ASME 1998 Design Engineering Technical Conferences (DECT 1998). Atlanta, Vereinigte Staaten, 1998.

ALTIOK & RANJAN 1995

Altioik, T.; Ranjan, R.: Multi-stage, pull-type production/inventory systems. IIE Transactions 27 (1995) 2, S. 190–200.

ANDERL ET AL. 2012

Anderl, R.; Eigner, M.; Stark, R.: Interdisziplinäre Produktentstehung. In: Anderl, R. et al. (Hrsg.): Smart Engineering – Interdisziplinäre Produktentstehung. Berlin: Springer 2012, S. 7–16. ISBN: 978-3642293726.

ANDERSON 2004

Anderson, D. M.: Design for Manufacturability & Concurrent Engineering: How to Design for Low Cost in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production. CIM Press 2004. ISBN: 978-1878072238.

ANDREASEN & HEIN 1987

Andreasen, M. M.; Hein, L.: Integrated Product Development. Berlin: Springer 1987.

ISBN: 978-3540166795.

APPELFELLER & BUCHHOLZ 2011

Appelfeller, W.; Buchholz, W.: *Supplier Relationship Management*. 2. Auflage. Gabler: Wiesbaden 2011. ISBN: 978-3834918093.

ARNETTE ET AL. 2014

Arnette, A. N.; Brewer, B. L.; Choal, T.: *Design for Sustainability (DFS): The Intersection of Supply Chain and Environment*. *Journal of Cleaner Production* 83 (2014) S. 374–390.

ARNOLD 1997

Arnold, U.: *Beschaffungsmanagement*. 2. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997. ISBN: 978-3791092126.

ARNOLD 2002

Arnold, U.: *Global Sourcing: Strategiedimensionen und Strukturanalyse*. In: Hahn, A. et al. (Hrsg.): *Handbuch Industrielles Beschaffungsmanagement – Internationale Konzepte – Innovative Instrumente – Aktuelle Praxisbeispiele*. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2002. ISBN: 3409222537.

ARNOLDS ET AL. 2001

Arnolds, H.; Heege, F.; Tussing, W.: *Materialwirtschaft und Einkauf – Praxisorientiertes Lehrbuch*. 10. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2001. ISBN: 978-3409351607.

ARNTZEN ET AL. 1995

Arntzen, B. C.; Brown, G. G.; Harrison, T. P.; Trafton, L. L.: *Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation*. *Interfaces*. 25 (1995) 1, S. 69–93.

AYERS 2001

Ayers, J. B.: *Handbook of Supply Chain Management*. 2. Auflage. Boca Raton: CRC Press 2001. ISBN: 978-0849331609.

BACKHAUS ET AL. 2011

Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.: *Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung*. 13. Auflage. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3642164903.

BALDWIN & CLARK 2000

Baldwin, C. Y.; Clark, K. B.: *Design Rules*. Cambridge: MIT Press 2000. ISBN: 978-0262024662.

## BARDI 2002

Bardi, A.: Corporate Strategies and Organisational Models – Lines of Development and Evolutionary Trends in the Automobile Sector. Istituto per il Lavoro 2002.

## BAUER &amp; PAETZOLD 2006

Bauer, S.; Paetzold, K.: Influence of DFX Criteria on the Design of the Product Development Process. 6th Integrated Product Development Workshop (IPD 2006). Schönebeck/Bad Salzelmen, Deutschland 2006.

## BEAMON 1998

Beamon, B. M.: Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics* 55 (1998) 3, S. 281–294.

## BEHNCKE ET AL. 2013A

Behncke, F. G. H.; Daniilidis, H.; Elezi, F.: Projektabschlussbericht – Optimierung von Produktarchitekturen am Beispiel des Heizgeräts TT-EVO. Unveröffentlichter Abschlussbericht. München: 2013.

## BEHNCKE ET AL. 2013B

Behncke, F. G. H.; Ehrhardt, J.; Lindemann, U.: Models for the Optimization of Supply Chains A Literature Review. *The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2013)*. Bangkok, Thailand 2013.

## BEHNCKE ET AL. 2013C

Behncke, F. G. H.; Kübel, T.; Lindemann, U.: Supplier evaluation based on a product's architecture. *15th International Dependency and Structure Modelling Conference (DSM 2013)*. Melbourne, Australien 2013.

## BEHNCKE ET AL. 2014A

Behncke, F. G. H.; Eichinger, J.; Lindemann, U.: Involvement of procurement in the product creation process: A systematization scheme of measures. *Procedia CIRP Variety Management in Manufacturing* 17 (2014), S. 356–361.

## BEHNCKE ET AL. 2014B

Behncke, F. G. H.; Holstein, J.; Lindemann, U.: Method for the Supplier Selection in Supply Chain Networks An Approach of Structural Complexity Management. *8th Annual IEEE Systems Conference (SysCon 2014)*. Ottawa, Kanada 2014.

## BEHNCKE ET AL. 2014C

Behncke, F. G. H.; Maurer, D.; Schrenk, L.; Schmidt, D. M.; Lindemann, U.: Clustering Technique for DSMs. *16th International Dependency and Structure Modelling Conference (DSM 14)*. Paris, Frankreich 2014.

## BEHNCKE ET AL. 2014D

Behncke, F. G. H.; Walter, F.; Lindemann, U.: Procedure to Match the Supply Chain Network Design with a Products' Architecture. *Procedia CIRP Variety Management in Manufacturing* 17 (2014), S. 272–277.

## BEHNCKE ET AL. 2015

Behncke, F. G. H.; Thimet, P.; Barton, B.; Lindemann, U.: Influence of Design-for-X guidelines on the matching between the product architecture and supply network. 20th International Conference on Engineering Design (ICED15). Mailand, Italien 2015.

## BELLAMY &amp; BASOLE 2012

Bellamy, M.; Basole, R.: Network analysis of supply chain systems: A systematic review and future research. *Systems Engineering* 16 (2012) 2, S. 235–249.

## BENDER 2008

Bender, C.: Einkaufs- und Beschaffungsmanagement. In: Wannenwetsch, H. (Hrsg.): *Intensivtraining Produktion, Einkauf, Logistik und Dienstleistung – Mit Aufgaben und Lösungen*. Wiesbaden: Springer Gabler 2008. ISBN: 978-3834998477.

## BENDER ET AL. 2005

Bender, K.; Dominka, S.; Koc, A.; Pöschl, M.; Russ, M.; Stützel, B.: *Embedded Systems – qualitätsorientierte Entwicklung*. Berlin: Springer 2005. ISBN: 978-3540273707.

## BERKHIN 2006

Berkhin, P.: A Survey of Clustering Data Mining Techniques. In: Kogan, J. et al. (Hrsg.): *Grouping multidimensional data*. Berlin: Springer 2006, S. 25–71. ISBN: 978-3540283492.

## BERTRAND 2003

Bertrand, J. W. M.: Supply chain design: flexibility considerations. In: de Kok, A. G. et al. (Hrsg.): *Supply chain management: design, coordination and operation*. Amsterdam: North Holland 2003, S. 133–198. ISBN: 0-444-51328-0.

## BIGGS &amp; BÜCHLER 2007

Biggs, M. A. R.; Büchler, D.: Rigor and Practice-based Research. *Design Issues* 22 (2007) 3, S. 62–69.

## BLACKENFELT 2001

Blackenfelt, M.: *Managing Complexity by Product Modularisation*, Stockholm: The Royal Institute of Technology, Diss. 2001.

## BLANCHARD 2004

Blanchard, B. S.: System Engineering Management. 3. Auflage. Hoboken: John Wiley & Sons 2004. ISBN: 0-471-29176-5.

## BLEES 2011

Blees, C.: Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien. Hamburg-Harburg: Technische Universität, Diss. 2011).

## BLESSING &amp; CHAKRABARTI 2009

Blessing, L. T. M.; Chakrabarti, A.: DRM, a Design Research Methodology. London: Springer 2009. ISBN: 978-1848825864.

## DE BOER ET AL. 2001

de Boer, L.; Labro, E.; Morlacchi, P.: A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 7 (2001) 2, S. 75–89.

## BORJESSON &amp; DARTMOUTH 2012

Borjesson, F.; Dartmouth, N.: Improved Clustering Algorithm for Design Structure Matrix. ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2012). Chicago, Vereinigte Staaten 2012.

## BOZARTH ET AL. 1998

Bozarth, C.; Handfield, R.; Das, A.: Stages of global sourcing strategy evolution: an exploratory study. *Journal of Operations Management* 16 (1998) 2–3, S. 241–255.

## BRADY 2002

Brady, T. K.: Utilization of Dependency Structure Matrix Analysis to Assess Implementation of NASA's Complex Technical Projects. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Master 2002.

## BRAESS 2012

Braess, H.-H.: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik – Anforderungen, Zielkonflikte Produktentstehungsprozess Antriebe. Stuttgart: Vieweg+Teubner 2012. ISBN: 978-3834882981.

## BRALLA 1998

Bralla, J.: Design for Manufacturability Handbook. 2. Auflage. McGraw Hill Professional 1998. ISBN: 978-0070071391.

## BRAUN 2005

Braun, T. E.: Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem

mittelständisch geprägten Umfeld. München: Dr. Hut 2005. ISBN: 978-3899632743 (zugleich München: Technische Universität. Diss. 2005).

**BROCKHOFF 1994**

Brockhoff, K.: Management organisatorischer Schnittstellen – unter besonderer Berücksichtigung der Koordination von Marketingbereichen mit Forschung und Entwicklung. Joachim Jungius-Gesellschaft der Wissenschaften 12 (1994) 2.

**BRONSTEIN 2005**

Bronstein, I. N.; Semendjajew, K.A.; Musiol, G.; Mühlig, H.: Taschenbuch der Mathematik. Frankfurt a. M.: Harri Deutsch 2005. ISBN: 978-3817120062.

**BROSCH 2014**

Brosch, M.: Eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität, Hamburg-Harburg: Technische Universität, Diss. 2014.

**BROWNING & EPPINGER 2002**

Browning, T. R.; Eppinger, S. D.: Modeling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development. IEEE Transactions on Engineering Management 49 (2002) 2, S. 428–442.

**BROWNING 2001**

Browning, T. R.: Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. IEEE Transactions on Engineering Management 48 (2001) 3, S. 292–306.

**BUNGARTZ ET AL. 2013**

Bungartz, H.-J.; Zimmer, S.; Buchholz, M.; Pflüger, D.: Modellbildung und Simulation. 2. Auflage. Berlin: Springer 2013. ISBN: 978-3642376559.

**BUSCH & DANGELMAIER 2002**

Busch, A.; Dangelmaier, W.: Integriertes Supply Chain Management – ein koordinationsorientierter Überblick. Busch A. & Dangelmaier W. (Hrsg.): Integriertes Supply Chain Management: Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 1–21. ISBN: 978-3409219587.

**CACHON & ZIPKIN 1999**

Cachon, G. P.; Zipkin, P. H.: Competitive and Cooperative Inventory Policies in a Two-Stage Supply Chain. Management Science 45 (1999) 7, S. 936–953.

**CAMPAGNOLO & CAMUFFO 2009**

Campagnolo, D.; Camuffo, A.: The concept of modularity in management studies: A

literature review. *International Journal of Management Reviews* 12 (2009) 3, S. 259–283.

CANTAMESSA 2003

Cantamessa, M.: An empirical perspective upon design research. *Journal of Engineering Design* 14 (2003) 1, S. 1–15.

CHEN & HUANG 2007

Chen, S.-J.; Huang, E.: A systematic approach for supply chain improvement using design structure matrix. *Journal of Intelligent Manufacturing* 18 (2007) 2, S. 285–299.

CHIU ET AL. 2009

Chiu, M.-C.; Gupta, S.; Okudan, G.: Integration of Supply Chain Decisions at the Conceptual Design Stage: A Repository Enabled Decision Tool. *ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2009)*. San Diego, Vereinigte Staaten 2009.

CHIU & OKUDAN 2011

Chiu, M.-C.; Okudan, G.: An Integrative Methodology for Product and Supply Chain Design Decisions at the Product Design Stage. *Journal of Mechanical Design* 133 (2011) 2, S. 0210081-02100815.

CHIU & OKUDAN 2014A

Chiu, M.-C.; Okudan, G. E.: An Investigation on Centralized and Decentralized Supply Chain Scenarios at the Product Design Stage to Increase Performance. *IEEE Transactions on Engineering Management* 61 (2014) 1, S. 114–128.

CHIU & OKUDAN 2014B

Chiu, M.-C.; Okudan, G. E.: An investigation on the impact of product modularity level on supply chain performance metrics: an industrial case study. *Journal of Intelligent Manufacturing* 25 (2012) 1, S. 129–145.

CHOI & KRAUSE 2006

Choi, T. Y.; Krause, D. R.: The supply base and its complexity: Implications for transaction costs, risks, responsiveness, and innovation. *Journal of Operations Management* 24 (2006) 5, S. 637–652.

CHOPRA & MEINDL 2010

Chopra, S.; Meindl, P.: *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. 4. Auflage. Upper Saddle River: Prentice Hall 2010. ISBN: 978-0136094517.

CHRISTOPHER 2005

Christopher, M.: *Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-adding*

Networks. 3. Auflage. Edinburgh Gate: Pearson Education Limited 2005. ISBN: 978-0273681762.

CHRISTY & GROUT 1994

Christy, D. P.; Grout, J. R.: Safeguarding supply chain relationships. *International Journal of Production Economics* 36 (1994) 3, S. 233–242.

CLARKSON & ECKERT 2005

Clarkson, J.; Eckert, C.: *Design process improvement – A review of current practice*. London: Springer 2005. ISBN: 978-1846280610.

COLLIS & HUSSEY 2014

Collis, J.; Hussey, R.: *Business Research – a practical guide for undergraduate and postgraduate students*. 4. Auflage. London: Palgrave Macmillan 2014. ISBN: 978-0230301832.

COOPER 2011

Cooper, R. G.: *Winning at New Products – Creating Value through Innovation*. 4. Auflage. New York: Basic Books 2011. ISBN: 978-0465025787.

COULTER ET AL. 1998

Coulter, S. L.; Bras, B.; McIntosh, M. W.; Rosen, D. W.: Identification of limiting factors for improving design modularity. *ASME 1998 Design Engineering Technical Conferences (DECT 1998)*. Atlanta, Vereinigte Staaten, 1998.

CRANDALL ET AL. 2009

Crandall, R. E.; Crandall, W.; Chen, C. C.: *Principles of Supply Chain Management*. Boca Raton: CRC Press 2009. ISBN: 978-1420091076.

CRAWLEY & COLSON 2007

Crawley, E.; Colson, J.: The Projection Relationship between Object Process Models (OPM) and Design System Matrices (DSM). *9th International Dependency and Structure Modelling Conference (DSM 07)*. München, Deutschland, 2007.

DAHMUS ET AL. 2001

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

DANIILIDIS ET AL. 2010

Daniilidis, C.; Eben, K.; Deubzer, F.; Lindemann, U.: Simultaneous modularization and platform identification of product family variants, *8th NordDesign Conference*. Göteborg, Sweden, 2010.

## DANIILIDIS ET AL. 2011

Daniilidis, C.; Enßlin, V.; Eben, K.; Lindemann, U.: A Classification Framework for Product Modularization Methods. International Conference on Engineering Design (ICED 11). Kopenhagen, Dänemark, 2011.

## DANILOVIC &amp; BÖRJESSON 2001A

Danilovic, M.; Börjesson, H.: Managing the Multiproject Environment. 3rd Dependence Structure Matrix (DSM) International Workshop. Cambridge, Vereinigte Staaten, 2001.

## DANILOVIC &amp; BÖRJESSON 2001B

Danilovic, M.; Börjesson, H.: Participatory Dependence Structure Matrix Approach. 3rd Dependence Structure Matrix (DSM) International Workshop. Cambridge, Vereinigte Staaten, 2001.

## DANILOVIC &amp; BROWNING 2004

Danilovic, M.; Browning, T.: A Formal Approach for Domain Mapping Matrices (DMM) to Complement Design Structure Matrices (DSM). 6th Design Structure Matrix (DSM) International Workshop. Cambridge, UK, 2004.

## DANILOVIC &amp; BROWNING 2007

Danilovic, M.; Browning, T. R.: Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. *International Journal of Project Management* 25 (2007) 3, S. 300–314.

## DAS &amp; ABDEL-MALEK 2003

Das, S. K.; Abdel-Malek, L.: Modeling the flexibility of order quantities and lead-times in supply chains. *International Journal of Production Economics* 85 (2003) 2, S. 171–181.

## D'AVANZO ET AL. 2003

D'Avanzo, R.; Von Lewinski, H.; Van Wassenhove, L. N.: The link between supply chain and financial performance. *Supply Chain Management Review* 7 (2003) 6, S. 40–47.

## DAY ET AL. 2010

Day, M.; Magnan, G. M.; Moeller, M. M.: Evaluating the bases of supplier segmentation: A review and taxonomy. *Industrial Marketing Management* 39 (2010) 4, S. 625–639.

## DEUBZER ET AL. 2012

Deubzer, F.; Kreimeyer, M.; Lindemann, U.; Maurer, M. S.: Design Matrix. In: Rieg, F. et al. (Hrsg.): *Handbuch Konstruktion*. München: Hanser 2012, S. 681–701. ISBN: 978-3446430006.

## DIESTEL 2010

Diestel, R.: Graph Theory. 4. Auflage. Heidelberg: Springer 2010. ISBN: 978-3642142789.

## DOWLATSHAHI 2000

Dowlatshahi, S.: Designer–buyer–supplier interface: theory vs. practice. International Journal of Production Economics 63 (2000) 2, S. 111–130.

## DOWLATSHAHI 1996

Dowlatshahi, S.: The role of logistics in concurrent engineering. International Journal of Production Economics 44 (1996) 3, S. 189–199.

## DURAY ET AL. 2000

Duray, R.; Ward, P. T.; Milligan, G. W.; Berry, W. L.: Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. Journal of Operations Management 18 (2000) 6, S. 605–625.

## EHRENSPIEL ET AL. 2014

Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.; Mörtl, M.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren – Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 7. Auflage. Berlin: Springer 2014. ISBN: 978-3642419591.

## EHRENSPIEL &amp; MEERKAMM 2013

Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 5. Auflage. München: Hanser 2013. ISBN: 978-3446435483.

## EICKE &amp; FEMERLING 1991

Eicke, H.; Femerling, C.: Modular Sourcing: Ein Konzept zur Neugestaltung der Beschaffungslogistik. München: Huss-Verlag 1991. ISBN: 978-3921455685.

## EIGNER &amp; STELZER 2009

Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3540684015.

## ELMARAGHY &amp; MAHMOUDI 2008

ElMaraghy, H. a.; Mahmoudi, N.: Concurrent Design of Product Modules Structure and Global Supply Chain Configuration. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 22 (2008) 6, S. 483–493.

## ERIXON 1998

Erixon, G.: Modular Function Deployment: A Method for Product Modularisation, Stockholm: The Royal Institute of Technology, Diss. 1998.

## EVERITT ET AL. 2011

Everitt, B. S.; Landau, S.; Leese, M.; Stahl, D.: Cluster Analysis. 5. Auflage. Chichester: Wiley 2011. ISBN: 978-0470977811.

## FAMUYIWA &amp; MONPLAISIR 2007

Famuyiwa, O.; Monplaisir, L.: An Integrated Framework Matching Product Architecture with Supply Chain Design Policies. Detroit: Wayne State Universität, Arbeitspapier 2007.

## FEITZINGER &amp; LEE 1997

Feitzinger, E.; Lee, H. L.: Mass Customization at The Power of Postponement Mass Customization. Harvard Business Review (1997), S. 116–121.

## FELDHUSEN &amp; GROTE 2013A

Feldhusen, J.; Grote, K. H.: Einleitung. In: Feldhusen, J. et al. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung (Teil I Abschnitt 1). 8. Auflage. Berlin: Springer 2013, S. 5–10. ISBN: 978-3642295683.

## FELDHUSEN &amp; GROTE 2013B

Feldhusen, J.; Grote, K. H.: Der Produktentstehungsprozess (PEP). In: Feldhusen, J. et al. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung (Teil I Abschnitt 2). 8. Auflage. Berlin: Springer 2013, S. 11–24. ISBN: 978-3642295683.

## FELDHUSEN &amp; GROTE 2013C

Feldhusen, J.; Grote, K. H.: Die PEP-begleitende Prozesse – Fertigungsplanung und Beschaffung. In: Feldhusen, J. et al. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung (Teil I Abschnitt 3.10). 8. Auflage. Berlin: Springer 2013, S. 224–226. ISBN: 978-3642295683.

## FILOUS 2011

Filous, M. N.: Lizenzierungsgerechte Produktentwicklung – Ein Leitfaden zur Integration lizenzierungsrelevanter Aktivitäten in Produktentstehungsprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus. München: Dr. Hut 2011. ISBN: 978-3843904018 (zugleich München: Technische Universität, Diss. 2011).

## FINE 1998

Fine, C. H.: Clockspeed – Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage.

Reading: Perseus Books 1998. ISBN: 978-0738201535.

#### FIXSON 2005

Fixson, S. K.: Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain design decisions. *Journal of Operations Management* 23 (2005) 3–4, S. 345–369.

#### FIXSON 2006

Fixson, S. S. K.: A roadmap for product architecture costing. In: Simpson, T. W. et al. (Hrsg.): *Product Platform and Product Family Design: Methods and Applications*. New York: Springer 2006, S. 305–334. ISBN: 978-0387291970.

#### FORZA ET AL. 2005

Forza, C.; Salvador, F.; Rungtusanatham, M.: Coordinating product design, process design, and supply chain design decisions: Part B. Coordinating approaches, tradeoffs, and future research directions. *Journal of Operations Management* 23 (2005) 3–4, S. 319–324.

#### FRENCH 1998

French, M.: *Conceptual Design for Engineers*. Berlin: Springer Verlag 1998. ISBN: 978-1852330279.

#### FUJITA 2002

Fujita, K.: Product variety optimization under modular architecture. *Computer-Aided Design* 34 (2002) 12, S. 953–965.

#### FUJITA ET AL. 1998

Fujita, K.; Akagi, S.; Yoneda, T.; Ishikawa, M.: Simultaneous Optimization of Product Family Sharing System Structure and Configuration. *ASME Design Engineering Technical Conferences (DECT 1998)*. Atlanta, Vereinigte Staaten, 1998.

#### GAN & GRUNOW 2013

Gan, T.-S.; Grunow, M.: Concurrent Product – Supply Chain Design: A Conceptual Framework & Literature Review. *Procedia CIRP* 7 (2013), S. 91–96.

#### GAUSEMEIER ET AL. 2000

Gausemeier, J. .; Lindemann, U. .; Reinhart, G. .; Wiendahl, H.-P.: *Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens*. Paderborn: Heinz Nixdorf Institut 2000. ISBN: 978-3931466787.

#### GAUSEMEIER ET AL. 2006

Gausemeier, J.; Hahn, A.; Kespohl, H.-D.; Seifert, L. L. .; Kespold, H. D.: *Vernetzte Produktentwicklung. Der erfolgreiche Weg zum Global Engineering Networking*.

München: Hanser 2006. ISBN: 978-3446227255.

GERSCHBERGER ET AL. 2012

Gerschberger, M.; Engelhardt-Nowitzki, C.; Kummer, S.; Staberhofer, F.: A model to determine complexity in supply networks. *Journal of Manufacturing Technology Management* 23 (2012) 8, S. 1015–1037.

GERSHENSON ET AL. 1999

Gershenson, J. K.; Prasad, G. J.; Allamneni, S.: Modular Product Design: A Life-Cycle View 3. *Journal of Integrated Design and Process Science* 3 (1999) 4, S. 13–26.

GERSHENSON ET AL. 2004

Gershenson, J. K.; Prasad, G. J.; Zhang, Y.: Product modularity: measures and design methods. *Journal of Engineering Design* 15 (2004) 1, S. 33–51.

GÖKHAN 2007

Gökhan, N. M.: Development of a simultaneous Design for Supply Chain Process for the Optimization of the Product Design and Supply Chain Configuration Problem. Pittsburgh: Universität, Diss. 2007.

GOKHAN ET AL. 2010

Gokhan, N. M.; Needy, K. L.; Norman, B. A.: Development of a Simultaneous Design for Supply Chain Process for the Optimization of the Product Design and Supply Chain Configuration Problem. *Engineering Management Journal* 22 (2010) 4, S. 20–30.

GONZALEZ-ZUGASTI ET AL. 2000

Gonzalez-Zugasti, J. P.; Otto, K. N.; Baker, J. D.: A Method for Architecting Product Platforms. *Research in Engineering Design* 12 (2000) 2, S. 61–72.

GÖPFERT 2009

Göpfert, J.: *Modulare Produktentwicklung zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation – Theorie, Methodik*. 2. Norderstedt: Books on Demand 2009. ISBN: 978-3837035599.

GÖPFERT & TRETOW 2013

Göpfert, J.; Tretow, G.: Technische Systeme – Produktarchitektur. In: Feldhusen, J. et al. (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung (Teil I Abschnitt 4.5)*. 8. Auflage. Berlin: Springer 2013, S. 252–278. ISBN: 978-3642295683.

GRANT ET AL. 2013

Grant, D. B.; Wong, C. Y.; Trautrim, A.: *Sustainable Logistics and Supply Chain*

Management. London: Kogan Page 2013. ISBN: 978-0749468668.

GRAVES & WILLEMS 2003

Graves, S. C.; Willems, S. P.: Safety Stock Placement and Supply Chain Configuration. In: de Kok, A. G. et al. (Hrsg.): Handbooks in Operations Research and Management Science Supply chain management: design, coordination and operation. Amsterdam: Elsevier 2003, S. 95–132. ISBN: 978-0444513280.

GRAVES & WILLEMS 2005

Graves, S. C.; Willems, S. P.: Optimizing the Supply Chain Configuration for New Products. *Management Science* 51 (2005) 8, S. 1165–1180.

GREGORY 1986

Gregory, R. E.: Source Selection: A Matrix Approach. *Journal of Purchasing & Materials Management* 22 (1986) 2, S. 24–29.

GROHER 2002

Groher, E. J.: Gestaltung der Integration von Lieferanten in den Produktentstehungsprozess. München: Technische Universität, Diss. 2002.

GROSS & YELLEN 2014

Gross, J. L.; Yellen, J.: Fundamentals of Graph Theory. In: Gross, J. L. et al. (Hrsg.): *Handbook of Graph Theory*. 2. Auflage. Boca Raton: CRC Press 2014, S. 2–20. ISBN: 978-1439880180.

GRÜNIG & KÜHN 2009

Grünig, R.; Kühn, R. .: Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme – Ein heuristischer Ansatz. 3. Auflage. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3642031656.

GU ET AL. 1997

Gu, P.; Hashemian, M.; Sosale, S.: An integrated modular design methodology for life cycle engineering. *CIRP Annals – Manufacturing Technology* (1997) 1, S. 71–74.

GUNASEKARAN 1998

Gunasekaran, G.: Concurrent engineering: a competitive strategy for process industries. *Journal of the Operational Research Society* (1998) 7, S. 758–765.

GUTIERREZ FERNANDEZ 1998

Gutierrez Fernandez, C. I.: Integration analysis of product architecture to support effective team co-location. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Master 1998.

## HABERFELLNER 1999

Haberfellner, R.: Vorgehensmodell des Systems Engineering. In: Daenzer, W. F. et al. (Hrsg.): Systems Engineering – Methodik und Praxis. 10. Auflage. Zürich: Industrielle Organisation 1999, S. 26–51. ISBN: 978-3857439988.

## HABERFELLNER ET AL. 2012

Haberfellner, R.; de Weck, O. L.; Fricke, E.; Vössner, S.: Systems Engineering – Grundlagen und Anwendung. 12. Auflage. Zürich: Orell Füssli 2012. ISBN: 978-3280040683.

## HANNAH ET AL. 2012

Hannah, R.; Joshi, S.; Summers, J. D.: A user study of interpretability of engineering design representations. Journal of Engineering Design 23 (2012) 6, S. 443–468.

## HAPKE 1989

Hapke, W.: Beschaffungspolitik – insbesondere Lieferantenpolitik mittelständischer Industrieunternehmen. Göttingen: Universität, Diss. 1989.

## HARLAND ET AL. 2001

Harland, C. M.; Lamming, R. C.; Zheng, J.; Johnsen, T. E.: A Taxonomy of Supply Networks. Journal of Supply Chain Management 37 (2001) 3, S. 21–27.

## HARRIS ET AL. 2008

Harris, J. M.; Hirst, J. L.; Mossinghoff, M. J.: Combinatorics and Graph Theory. 2. Auflage. New York: Springer 2008. ISBN: 978-03877977106.

## HARTIGAN 1975

Hartigan, J. A.: Clustering Algorithms. New York: Wiley 1975. ISBN: 978-0471356455.

## HELMER ET AL. 2010

Helmer, R.; Yassine, A.; Meier, C.: Systematic module and interface definition using component design structure matrix. Journal of Engineering Design 21 (2010) 6, S. 647–675.

## HEß 2008

Heß, G.: Supply-Strategien in Einkauf und Beschaffung – Systematischer Ansatz und Praxisfälle. Wiesbaden: Gabler 2008. ISBN: 978-3834997876.

## HEUFLER 2004

Heufler, G.: Design Basics: From Ideas to Products. Zürich: Niggli Verlag 2004. ISBN: 978-3721205312.

## HILLSTROM 1994

Hillstrom, F.: Applying axiomatic design to interface analysis in modular product development. 20th Annual design automation conference – Advances in design automation, Minneapolis, Vereinigte Staaten 1994. S. 363–372.

## HO ET AL. 2010

Ho, W.; Xu, X.; Dey, P. K.: Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research* 202 (2010) 1, S. 16–24.

## HOFBAUER ET AL. 2009

Hofbauer, G.; Mashhour, T.; Fischer, M.: *Lieferantenmanagement – Die wertorientierte Gestaltung der Lieferbeziehung*. 2. Auflage. München: Oldenbourg 2009. ISBN: 978-3486713848.

## HOLTTA-OTTO &amp; DE WECK 2007

Holtta-Otto, K.; de Weck, O.: Degree of Modularity in Engineering Systems and Products with Technical and Business Constraints. *concurrent Engineering*, 15 (2007) 2, S. 113–126.

## HUANG &amp; KUSIAK 1998

Huang, C. C.; Kusiak, A.: Modularity in design of products and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Human* 28 (1998) 1, S. 66–77.

## HUANG 1996

Design for X. Dordrecht: Springer 1996. ISBN: 978-9401057622.

## IIDA 2012

Iida, T.: Coordination of cooperative cost-reduction efforts in a supply chain partnership. *European Journal of Operational Research* 222 (2012) 2, S. 180–190.

## ISHII 1998

Ishii, K.: Modularity: a key concept in product life-cycle engineering. In: Molina, A. et al. (Hrsg.): *Handbook of Life-cycle Engineering*. Dordrecht: Kluwer 1998, S. 511–530. ISBN: 978-0412812507.

## ISHII ET AL. 1995

Ishii, K.; Juengel, C.; Eubanks, C. F.: Design for product variety: key to product line structuring. *ASME 1995 International Conference on Design Theory and Methodology (DECT 1995)*. Boston, Vereinigte Staaten, 1995.

## ISHII ET AL. 1988

Ishii, K.; Takahashi, K.; Muramatsu, R.: Integrated production, inventory and distribution systems. *International Journal of Production Research* 26 (1988) 3, S. 473–482. ISMAIL & SHARIFI 2006

Ismail, H. S.; Sharifi, H.: A balanced approach to building agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 36 (2006) 6, S. 431–444.

## JANKER 2008

Janker, C. G.: *Multivariate Lieferantenbewertung: Empirisch gestützte Konzeption eines anforderungsgerechten Bewertungssystems*. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2008. ISBN: 978-3834911568.

## JIAO &amp; TSENG 1999

Jiao, J.; Tseng, M.: A methodology of developing product family architecture for mass customization. *Journal of Intelligent Manufacturing* 10 (1999), S. 3–20.

## KAUFMANN 2002

Kaufmann, L.: *Purchasing and Supply Management*. In: Hahn, D. et al. (Hrsg.): *Handbuch Industrielles Beschaffungsmanagement – Internationale Konzepte – Innovative Instrumente – Aktuelle Praxisbeispiele*. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 3–34. ISBN: 3409222537.

## KESPER 2012

Kesper, H.: *Gestaltung von Produktvariantenspektren mittels matrixbasierter Methoden*. München: Dr. Hut 2012. ISBN: 978-3843907804 (zugleich München: Technische Universität, Diss. 2012).

## KHOO &amp; YIN 2003

Khoo, L. P.; Yin, X. F.: An extended graph-based virtual clustering-enhanced approach to supply chain optimisation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 22 (2003) 11, S. 836–847.

## KIENZLE 1999

Kienzle, W.: *Früherkennung im Beschaffungsmarketing*. Köln: Business School, Diss. 1999.

## KISSEL 2014

Kissel, M. P.: *Mustererkennung in komplexen Produktportfolios*. München: Technische Universität, Diss. 2014.

## KOEPPEN 2008

Koeppen, B.: Modularisierung komplexer Produkte anhand technischer und betriebswirtschaftlicher Komponentenkopplungen. Aachen: Shaker 2008. ISBN: 978-3832269791.

## KOHN 2013

Kohn, A.: Entwicklung einer Wissensbasis für die Arbeit mit Produktmodellen. München: Dr. Hut 2014. ISBN: 978-3843918299 (zugleich München: Technische Universität, Diss. 2013).

## KOPPELMANN 2004

Koppelman, U.: Beschaffungsmarketing. 4. Auflage. Berlin: Springer 2004. ISBN: 978-3540407065.

## KOPPENHAGEN 2004

Kopenhagen, F.: Systematische Ableitung modularer Produktarchitekturen: Komplexitätsreduzierung in der Konzeptphase. Aachen: Shaker 2004. ISBN: 978-3832228521.

## KOTHARI 2012

Kothari, C. R.: Research Methodology: Methods and Techniques. 2. Auflage. Neu Dehli: New Age International 2012. ISBN: 978-8122424881.

## KRALJIC 1983

Kraljic, P.: Purchasing Must Become Supply Management. Harvard Business Review (1983), S. 107–117.

## KRAMPF 2012

Krampf, P.: Beschaffungsmanagement – Eine praxisorientierte Einführung in Einkauf und Materialwirtschaft. München: Vahlen 2012. ISBN: 978-3800642731.

## KRAUSE 2012

Krause, D.: Modulare Produktstrukturierung. In: Rieg, F. & Steinhilper, R. (Hrsg.): Handbuch Konstruktion. München: Hanser 2012, S. 657–678. ISBN: 978-3446430006.

## KRAUSE ET AL. 2014

Krause, D.; Beckmann, G.; Eilmus, S.; Gebhardt, N.; Jonas, H.; Rettberg, R.: Integrated Development of Modular Product Families: A Method Toolkit. In: Simpson, T. W. et al. (Hrsg.): Advances in product family and product platform design. Methods & applications. Berlin: Springer 2014, ISBN: 978-1461479369.

## KREIMEYER 2009

Kreimeyer, M.: A Structural Measurement System for Engineering Design Processes. München: Dr. Hut 2010. ISBN: 978-3868533996 (zugleich München: Technische Universität, Diss. 2009).

## KRISHNAN ET AL. 2001

Krishnan, V.; Ulrich, K. T.; Kirshnan, V.: Product Development Decisions: A Review of the Literature. *Management Science* 47 (2001) 1, S. 1–21.

## KUMMER ET AL. 2009

Kummer, S.; Grün, O.; Jammernegg, W.: Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik. 2. Auflage. München: Pearson Studium 2009. ISBN: 978-3827373519.

## KUO ET AL. 2001

Kuo, T.-C.; Huang, S. H. H.; Zhang, H.: Design for manufacture and design for „X“: concepts, applications, and perspectives. *Computers & Industrial Engineering* 41 (2001) 3, S. 241–260.

## KUREK 2004

Kurek, R.: Erfolgsstrategien für Automobilzulieferer. Berlin: Springer 2004. ISBN: 3540208852.

## KUSIAK 2002

Kusiak, A.: Integrated Product and Process Design: A Modularity Perspective. *Journal of Engineering Design* (2002) 3, S. 223–231.

## KUSIAK &amp; CHOW 1987

Kusiak, A.; Chow, W. S.: Efficient solving of the group technology problem. *Journal of Manufacturing Systems* 6 (1987) 2, S. 117–124.

## KUSIAK &amp; HUANG 1996

Kusiak, A.; Huang, C.: Development of Modular Products. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A* 19 (1996) 4, S. 523–538.

## LAMBERT &amp; COOPER 2000

Lambert, D. M.; Cooper, M. C.: Issues in Supply Chain Management, *Industrial Marketing Management* 29 (2000) 1, S. 65–83.

## LANDEKA &amp; BEDAY 2002

Landeka, D. Optimierung des Beschaffungsprozesses durch E-Procurement. In: Bedey, B. (Hrsg.): Studien 2001. Hamburg: Diplomica 2002. ISBN: 3832443355.

## LANNER &amp; MALMQVIST 1996

Lanner, P.; Malmqvist, J.: An Approach Towards Considering Technical and Economic Aspects in Product Architecture Design. 2nd WDK Workshop on Product Structuring. Delft, Holland, 1996.

## DE LARA ET AL. 2007

de Lara, J.; Bardohl, R.; Ehrig, H.; Ehrig, K.; Prange, U.; Taentzer, G.: Attributed graph transformation with node type inheritance. *Theoretical Computer Science* 376 (2007) 3, S. 139–163.

## LARGE 2013

Large, R. O.: *Strategisches Beschaffungsmanagement – Eine praxisorientierte Einführung mit Fallstudien*. 5. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler 2013. ISBN: 978-3834941848.

## LEE &amp; BILLINGTON 1993

Lee, H. L.; Billington, C.: Material management in decentralized supply chains. *Operations Research* 41 (1993) 5, S. 835–847.

## LEE ET AL. 2002

Lee, Y. H.; Kim, S. H.; Moon, C.: Production-distribution planning in supply chain using a hybrid approach. *Production Planning & Control: The Management of Operations* 13 (2002) 1, S. 35–46.

## LINCKE 1995

Lincke, W.: *Simultaneous Engineering – Neue Wege zu überlegenen Produkten*. Wien: Hanser 1995. ISBN: 978-3446180093.

## LINDEMANN &amp; BAUMBERGER 2006

Lindemann, U.; Baumberger, C.: Individualisierte Produkte. In: Lindemann, U. et al. (Hrsg.): *Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. Berlin: Springer 2006. S. 7–16. ISBN 978-3540342748.

## LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. 3. Auflage. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3540374350.

## LINDEMANN 2007

Lindemann, U.: A vision to overcome “chaotic” Design for X Processes in early Phases. 16th International Conference of Engineering Design (ICED 2007). Paris, Frankreich 2007.

## LINDEMANN ET AL. 2009

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: Structural Complexity Management – An Approach for the Field of Product Design. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3540878896.

## MANKIW &amp; TAYLOR 2012

Mankiw, G. N.; Taylor, M. P.: Grundzüge der Volkswirtschaftslehre. 5. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2012. ISBN: 978-3791030982.

## MARSHALL ET AL. 1998

Marshall, R.; Leaney, P. G.; Botterell, P.: Enhanced product realisation through modular design: an example of product/process integration. 3rd Biennial World Conference on Integrated Design and Process Sciences. Berlin, Deutschland, 1998.

## MARTIKAINEN 2011

Martikainen, A.: Design for Procurement. Tampere: University of Technology, Master 2011.

## MARTIN 1999

Martin, M.: Design for Variety: A Methodology for Developing Product Platform Architectures. Stanford: Universität, Diss. 1999.

## MASELLA &amp; RANGONE 2000

Masella, C.; Rangone, A.: A contingent approach to the design of vendor selection systems for different types of co-operative customer/supplier relationships. International Journal of Operations & Production Management 20 (2000) 1, S. 70–84.

## MATHAR &amp; SCHEURING 2009

Mathar, H.-J.; Scheuring, J.: Unternehmenslogistik: Grundlagen für die betriebliche Praxis mit zahlreichen Beispielen, Repetitionsfragen und Antworten. Zürich: Compendio Bildungsmedien 2009. ISBN: 978-3715593470.

## MAURER 2007

Maurer, M. M. S.: Structural Awareness in Complex Product Design. München: Dr. Hut 2007. ISBN: 978-3899636321 (zugleich München: Technische Universität, Diss. 2007).

## MCCORMICK ET AL. 1972

McCormick, W. T. J.; Schweitzer, P. J.; White, T. W.: Problem Decomposition and Data Reorganization by a Clustering Technique. Operations Research 20 (1972) 5, S. 993–1009.

## MERTENS 2006

Mertens, S.: The easiest hard problem: Number partitioning. Computational complexity

and statistical physics. Oxford: Oxford University Press 2006, S. 125. ISBN: 978-0195177381.

MEYER & LEHNERD 1997

Meyer, M. H.; Lehnerd, A. P.: *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*. New York: The Free Press 1997. ISBN: 978-0684825809.

MILES 1989

Miles, B. L.: Design for assembly – a key element within design for manufacture. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 203 (1989) 1, S. 29–38.

MIN & ZHOU 2002

Min, H.; Zhou, G.: Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering* 43 (2002) 1-2, S. 231–249.

MOHAR 2014

Mohar, B.: *Graph Limits. Handbook of Graph Theory*. 2. Auflage. Boca Raton: CRC Press 2014. ISBN: 978-1439880180.

MÖLLER & TÖRRÖNEN 2003

Möller, K.; Törrönen, P.: Business suppliers' value creation potential: A capability-based analysis. *Industrial Marketing Management* 32 (2003), S. 109–118.

MOOS 1985

Moos, M. A.: *Designing for Minimal Maintenance Expense – The practical Application of Reliability and Maintainability*. New York: Marcel Dekker 1985. ISBN: 978-0824773144.

MÜLLER 2013

Müller, R.: Gestaltungsrichtlinien – Montagegerecht. In: Feldhusen, J. et al. (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung (Teil II Abschnitt 13.12)*. 8. Auflage. Berlin: Springer 2013, S. 702–725. ISBN: 978-3642295683.

NEPAL ET AL. 2012

Nepal, B.; Monplaisir, L.; Famuyiwa, O.: Matching product architecture with supply chain design. *European Journal of Operational Research* 216 (2012) 2, S. 312–325.

NEPAL ET AL. 2005

Nepal, B.; Monplaisir, L.; Singh, N.: Integrated fuzzy logic-based model for product modularization during concept development phase. *International Journal of Production*

Economics 96 (2005) 2, S. 157–174.

NEWCOMB ET AL. 1996

Newcomb, P. J.; Bras, B.; Rosen, D. W.: Implications of Modularity on Product Design for the Life Cycle. ASME 1996 Design Engineering Technical Conferences (DTEC 1996). Irvine, Vereinigte Staaten, 1996.

NEWMAN 2003

Newman, M. E. J.: The structure and function of complex networks. Siam Review 45 (2003) 2, S. 167–256.

NYDICK & HILL 1992

Nydick, R. L.; Hill, R. P.: Using the Analytic Hierarchy Process to Structure Supplier Selection Procedure. International Journal of Purchasing and Materials Management 28 (1992) 2, S. 31–36.

OTTO & WOOD 2001

Otto, K. N.; Wood, K. L.: Product Design – Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. Upper Saddle River: Prentice Hall 2001. ISBN: 978-0130212719.

PAHL ET AL. 2005

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung – Methoden und Anwendung. 6. Auflage. Berlin: Springer 2005. ISBN: 978-3540220488.

PASHAEI & OLHAGER 2015

Pashaei, S.; Olhager, J.: Product architecture and supply chain design: a systematic review and research agenda. Supply Chain Management: An International Journal 20 (2015) 1, S. 98–112.

PETERSEN ET AL. 2005

Petersen, K. J.; Handfield, R. B.; Ragatz, G. L.: Supplier integration into new product development: coordinating product, process and supply chain design. Journal of Operations Management (2005) 3-4, S. 371–388.

PETRONI & BRAGLIA 2000

Petroni, A.; Braglia, M.: Vendor Selection Using Principal Component Analysis. Journal of Supply Chain Management 36 (2000) 2, S. 63–69.

PETROVIC 2001

Petrovic, D.: Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment. International Journal Production Economics 71 (2001), S. 429–438.

## PICOT ET AL. 2003

Picot, A.; Reichwald, R.; Wigand, R. T. .: Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management. 5. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2003. ISBN: 978-3834921628.

## PILLER 2006

Piller, F. T.: Mass Customization – Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2006. ISBN: 978-3835003552.

## PIMMLER &amp; EPPINGER 1994

Pimmler, T. U.; Eppinger, S. D.: Integration analysis of product decompositions. 6th International Conference on Design Theory and Methodology (DTM 1994). Minneapolis, Vereinigte Staaten 1994.

## PINE 1994

Pine, B.: Maßgeschneiderte Massenfertigung. 2. Auflage. Wien: Ueberreuter 1994. ISBN: 978-3901260667.

## PONN 2007

Ponn, J. C.: Situative Unterstützung der Konzeptentwicklung technischer Produkte. München: Dr. Hut 2007. ISBN: 978-3899636543 (zugleich München: Technische Universität, Diss. 2007).

## PONN &amp; LINDEMANN 2011

Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. 2. Auflage. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3642205804.

## PORTER 2014

Porter, M. E.: Wettbewerbsvorteile – Spitzenleistungen erreichen und behaupten. 8. Auflage. Frankfurt: Campus 2014. ISBN: 978-3359500485.

## PRAHALAD ET AL. 2000

Prahalad, C. K.; Hamel, G.; Robert, L. C.; Jr; Sam, B. I.: The Core Competence of the Corporation. Harvard Business Review (2000) S. 3–22.

## PULKKINEN ET AL. 2012

Pulkkinen, A.; Martikainen, A.; Kuusela, J.: Design for Procurement. 18th International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE 2012). München, Deutschland, 2012.

## PULM 2004

Pulm, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Lehrstuhl für

Produktentwicklung. München: Technische Universität, Diss. 2004.

PYKE & COHEN 1993

Pyke, D. F.; Cohen, M. A.: Theory and Methodology Performance characteristics of stochastic integrated production-distribution systems. *European Journal of Operational Research* 68 (1993) S. 23–48.

PYKE & COHEN 1994

Pyke, D. F.; Cohen, M. A.: Theory and Methodology Multiproduct integrated production-distribution systems. *European Journal of Operational Research* 74 (1994) S. 18–49.

RADTKE ET AL. 2004

Radtke, P.; Abele, E.; Zielke, A. E.: Die smarte Revolution in der Automobilindustrie. Das Auto der Zukunft – Optionen für Hersteller – Chancen für Zulieferer. Frankfurt a. M: Redline Wirtschaft bei Ueberreuter 2004. ISBN: 978-3832310608.

RAPP 2010

Rapp, T.: Produktstrukturierung. Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen. 2. Auflage. Norderstedt: Books on Demand 2010. ISBN: 978-3839136041.

RIFFNER & WEIDELICH 2001

Riffner, B.; Weidelich, R.: Professionelles Lieferantenmanagement – So arbeiten Kunden und Lieferanten erfolgreich zusammen. Köln: Deutscher Wirtschaftsdienst 2001. ISBN: 978-3871563393.

ROBERTSON & ULRICH 1998

Robertson, D.; Ulrich, K.: Planning for Product Platforms. *Sloan Management Review* 39 (1998) 4, S. 19–31.

ROODHOFT ET AL. 1997

Roodhooft, F.; Konigs, J.; Konings, J.; Operational, O. F.: Vendor selection and evaluation: an activity based costing approach. *European Journal of Operational Research* 96 (1997) 1, S. 97–102.

ROOZENBURG & EEKELS 1995

Roozenburg; E.: *Product Design: Fundamentals and Methods*. Chichester: John Wiley & Sons 1995. ISBN: 978-0471954651.

ROSEIRA ET AL. 2010

Roseira, C.; Brito, C.; Henneberg, S. C.: Managing interdependencies in supplier networks. *Industrial Marketing Management* 39 (2010) 6, S. 925–935.

## ROUSE 2005

Rouse, W. B.: Enterprises as systems: Essential challenges and approaches to transformation. *Systems Engineering* 8 (2005) 2, S. 138–150.

## RUNGTUSANATHAM &amp; FORZA 2005

Rungtusanatham, M.; Forza, C.: Coordinating product design , process design, and supply chain design decisions Part A : Topic motivation, performance implications, and article review process. *Journal of Operations Management* 23 (2005) 3-4, S. 257–265.

## RUPP 1980

Rupp, M.: *Produkt/Markt-Strategien*. Zürich: Industrielle Organisation 1980. ISBN: 3857439262.

## RUSHTON ET AL. 2002

Rushton, G.; Zakarian, A.; Grigoryan, T.: Algorithms and Software for Development of Modular Vehicle Architectures. *SAE 2002 World Congress*. Detroit, Vereinigte Staaten, 2002.

## SAGE 1992

Sage, A. P.: *Systems Engineering*. New York: John Wiley & Sons 1992. ISBN: 978-0471536390.

## SAKO 2003

Sako, M.: Modularity and outsourcing. In: Prencipe, A. et al. (Hrsg.): *The Business of Systems Integration*. Oxford: Oxford University Press 2003, S. 229–253. ISBN: 978-0199263226.

## SALVADOR 2007

Salvador, F.: Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization. *IEEE Transactions on Engineering Management* 54 (2007) 2, S. 219–240.

## SANCHEZ &amp; MAHONEY 1996

Sanchez, R.; Mahoney, J. T.: Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. *Strategic Management Journal* 17 (1996), S. 63–76.

## SAND ET AL. 2002

Sand, J. C.; Gu, P.; Watson, G.: HOME: House Of Modular Enhancement – a Tool for Modular Product Redesign. *Concurrent Engineering: Research and Applications* 10 (2002) 1, S. 1–12.

## SARKAR &amp; MOHAPATRA 2006

Sarkar, A.; Mohapatra, P. K. J.: Evaluation of supplier capability and performance: A method for supply base reduction. *Journal of Purchasing and Supply Management* 12 (2006) 3, S. 148–163.

## SCHARLACH ET AL. 2014

Scharlach, A.; Schuh, C.; Strohmmer, M.: *Procurement 2020 10 Mega-Trends, die den Einkauf verändern werden*. ATKearney 2014.

## SCHLACHT 2001

Schlacht, T.: *Simulationsintegration in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses bei dynamisch/hybriden Problemstellungen*, Essen: Universität, Diss 2001.

## SCHREINER ET AL. 2012

Schreiner, W.; Schuh, G.; Hasenklever, K.; Hoppe, M.; Schüttler, P.; Kreysa, J.; Kreimeier, M.: *Der Einkauf als Wertschöpfungspartner – Die neue Rolle erfolgreich gestalten*. Ernst & Young GmbH 2012.

## SCHUH 2005

Schuh, G.: *Produktkomplexität managen: Strategien – Methoden – Tools*. 2. Auflage. München: Hanser 2005. ISBN: 978-3446400436.

## SEKOLEC 2005

Sekolec, R.: *Produktstrukturierung als Instrument des Variantenmanagements in der methodischen Entwicklung modularer Produktfamilien*. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule, Diss. 2005.

## SERDARASAN 2013

Serdarasan, S.: A review of supply chain complexity drivers. *Computers & Industrial Engineering* 66 (2013) 3, S. 533–540.

## SHARMAN &amp; YASSINE 2004

Sharman, D. M.; Yassine, A. A.: Characterizing complex product architectures. *Systems Engineering* 7 (2004) 1, S. 35–60.

## SHARMAN ET AL. 2002

Sharman, D. M.; Yassine, A. A.; Carlile, P. R.: *Characterizing Modular Architectures*. 4<sup>th</sup> Dependence Structure Matrix (DSM) International Workshop. Cambridge, Vereinigte Staaten 2002.

## SHEU &amp; CHEN 2007

Sheu, D. D.; Chen, D. R.: *Backward design and cross-functional design management*.

Computers & Industrial Engineering 53 (2007) 1, S. 1–16.

SIMATUPANG & SRIDHARAN 2008

Simatupang, T. M.; Sridharan, R.: Design for supply chain collaboration. *Business Process Management Journal* 14 (2008) 3, S. 401–418.

SIMCHI-LEVI ET AL. 2003

Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P.; Simchi-Levi, E.: Outsourcing, Procurement, and Supply Contracts. In: Kaminsky, P. et al. (Hrsg.): *Managing the Supply Chain: The Definitive Guide for the Business Professional*. New York: McGraw Hill 2003, S. 139–162. ISBN: 978-0071425871.

SIMPSON 2004

Simpson, T. W.: Product platform design and customization: Status and promise. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 18 (2004) 1, S. 3–20.

SIMPSON ET AL. 2001

Simpson, W. T.; Maier, J. R. A.; Mistree, F.: Product platform design: method and application. *Research in Engineering Design* 13 (2001) 1, S. 2–22.

SKJELSTAD ET AL. 2005

Skjelstad, L.; Hagen, I.; Alfnes, E.: Guidelines for achieving a proper mass customisation system. *EurOMA International Conference on Operations and Global Competitiveness*. Budapest, Ungarn, 2005.

SMITH ET AL. 2002

Smith, A.; Rainnie, A.; Dunford, M.; Hardy, J.; Hudson, R.; Sadler, D.: Networks of value, commodities and regions: reworking divisions of labour in macro-regional economies. *Progress in Human Geography* 26 (2002) 1, S. 41–63.

SMYTKA & CLEMENS 1993

Smytka, D. L.; Clemens, M. W.: Total Cost Supplier Selection Model: A Case Study. *International Journal of Purchasing and Materials Management* 29 (1993) 4, S. 42–49.

SOSA ET AL. 2000

Sosa, M. E.; D., E. S.; Rowles, C. M.: Designing modular and integrative systems. *ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (DECT 200)*. Baltimore, Vereinigte Staaten 2000.

SOSA ET AL. 2007

Sosa, M. E.; Eppinger, S. D.; Rowles, C. M.: A network approach to define modularity of components in complex products. *Journal of Mechanical Design* 129 (2007) 11, S. 1–14.

## SOSALE ET AL. 1997

Sosale, S.; Hashemian, M.; Gu, P.: Product modularization for reuse and recycling. *Concurrent Product Design and Environmentally Conscious Manufacturing* 94 (1997) S. 195–206.

## SPIEGLER ET AL. 2012

Spiegler, M. V. L.; Naim, M. M.; Wikner, J.: A control engineering approach to the assessment of supply chain resilience. *International Journal of Production Research* 50 (2012) 21, S. 6162–6187.

## SPUR &amp; KRAUSE 1997

Spur G.; Krause, F.-L.: *Das virtuelle Produkt*. München: Hanser 1997. ISBN: 978-3446191761.

## STADTLER ET AL. 2010

Stadtler, H.; Kilger, C.; Meyr, H.: Supply Chain Typen. In: Stadtler, H. et al. (Hrsg.): *Supply chain management und advanced planning*. 3. Auflage. London: Springer 2010, S. 69–88. ISBN: 978-3642141300.

## STAKE 2000

Stake, R.: *On conceptual development of modular products*. Stockholm: The Royal Institute of Technology, Diss. 2000.

## STEFFEN 2007

Steffen, D.: *Ein Verfahren zur Produktstrukturierung für fortgeschrittene mechatronische Systeme*. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): *Band 207 von HNI-Verlagsschriftenreihe*. Paderborn: Heinz Nixdorf Institut 2007. ISBN: 978.3939350262 (zugleich: Paderborn: Universität, Diss. 2007).

## STEWARD 1962

Steward, D.: *On an Approach to the Analysis of the Structure of Large Systems of Equations*. *Siam Review* 4 (1962) 4, S. 321–342.

## STEWARD 1981

Steward, D. V.: *The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems*. *IEEE Transaction on Engineering Management* 28 (1981) 3, S. 79–83.

## STOCKMAR 2004

Stockmar, J.: *Variantenmanagement: Varianten vermeiden, beherrschen, reduzieren, finanzieren – Ergebnisse einer Umfrage 2004*. 6. Internationales Automobil-Forum, Graz, Österreich 2004.

## STONE 1997

Stone, R. B.: Towards a Theory of Modular Design, Austin: University, Diss. 1997

## STONE ET AL. 2000

Stone, R. B.; Wood, K. L.; Crawford, R. H.: A Heuristic Method for Identifying Modules for Product Architectures. *Design Studies* 21 (2000) 1, S. 5–31.

## STRUB 1998

Strub, M.: Das große Handbuch Einkaufs- und Beschaffungsmanagement. Landsberg: Moderne Industrie 1998. ISBN: 978-3478359702.

## SVORONOS &amp; ZIPKIN 1991

Svoronos, A.; Zipkin, P.: Evaluation of one-for-one replenishment policies for multiechelon inventory systems. *Management Science* 37 (1991) 1, S. 68–83.

## TATE ET AL. 1998

Tate, D.; Lindholm, D.; Harutunian, V.: Dependencies in axiomatic design. *Journal of Integrated Design and Process Technology* 3 (1998) S. 159–166.

## TAYLOR &amp; HENDERSON 1994

Taylor, L. E.; Henderson, M. R.: The Role of Features and Abstraction in Mechanical Design. 6th International Conference on Design Theory and Methodology (DTM 1994). Minneapolis, Vereinigte Staaten 1994.

## THEBEAU 2001

Thebeau, R.: Knowledge Management of System Interfaces and Interactions for Product Development Processes. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Master 2001.

## TITTMANN 2003

Tittmann, P.: Graphentheorie. Eine anwendungsorientierte Einführung mit zahlreichen Beispielen und 80 Aufgaben. Leipzig: Carl Hanser 2003. ISBN: 978-3446223431.

## TOWILL 1991

Towill, D. R.: Supply chain dynamics. *International Journal of Computer Integrated* 4 (1991) 4, S. 197–208.

## TOWILL ET AL. 1992

Towill, D. R.; Naim, M. M.; Wikner, J.: Industrial Dynamics Simulation Models in the Design of Supply Chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 22 (1992) 5, S. 3–13.

## TSIAKIS ET AL. 2001

Tsiakis, P.; Shah, N.; Pantelides, C. C.: Design of Multi-echelon Supply Chain Networks under Demand Uncertainty. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 40 (2001) 16, S. 3585–3604.

## ÜLKÜ &amp; SCHMIDT 2011

Ülkü, S.; Schmidt, G. M.: Matching Product Architecture and Supply Chain Configuration. *Production and Operations Management* 20 (2011) 1, S. 16–31.

## ULLMAN 2003

Ullman, D. G.: *The mechanical design process*. 3. Auflage. New York: McGraw-Hill 2003. ISBN: 978-0072373387.

## ULRICH 1995

Ulrich, K. T.: The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy* 24 (1995) 3, S. 419–440.

## ULRICH &amp; EPPINGER 2004

Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.: *Product Design and Development*. 3. Auflage. New York: McGraw-Hill 2004. ISBN: 0071232737.

## ULRICH &amp; EPPINGER 2012

Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.: *Product Design and Development*. 5. Auflage. New York: McGraw-Hill 2012. ISBN: 978-0073404776.

## VDA 2012

VDA: FAST 2025: Future Automotive Industry Structure. Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA) 2012.

## VDI 1993

VDI: VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth 1993.

## VDI 2004

VDI: VDI-Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Düsseldorf: Berlin: Beuth 2004.

## VOIGT 2008

Voigt, K.-I.: *Industrielles Management – Industriebetriebslehre aus prozessorientierter Sicht*. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3540256489.

## VOUDOURIS 1996

Voudouris, V. T.: Mathematical programming techniques to debottleneck the supply chain of fine chemical industries. *Computers & Chemical Engineering* 20 (1996) 2, S. 1269–1274.

## WAGNER 2002

Wagner, S. M.: *Lieferantenmanagement*. München: Hanser 2002. ISBN: 978-3446219045.

## WALDMAN &amp; SANGAL 2007

Waldman, F.; Sangal, N.: *Applying DSM to Enterprise Architectures*. 9th International Dependency and Structure Modelling Conference (DSM 07). München, Deutschland, 2007.

## WALDMANN &amp; STOCKER 2003

Waldmann, K.-H.; Stocker, U. M.: *Stochastische Modelle – Eine anwendungsorientierte Einführung*. Berlin: Springer 2003. ISBN: 978-3540032410.

## WALLACE &amp; BLESSING 2000

Wallace, K. M.; Blessing, L. T. M.: *Observations on some German contributions to engineering design in memory of professor Wolfgang Beitz*. *Research in Engineering Design* 12 (2000) 1, S. 2–7.

## WANNENWETSCH 2010

Wannenwetsch, H.: *Integrierte Materialwirtschaft und Logistik – Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion*. 4. Auflage. Heidelberg: Springer 2010. ISBN: 978-3540897729.

## WEBER &amp; ELLRAM 1992

Weber, C. A.; Ellram, L. M.: *Supplier selection using multi-objective programming: a decision support system approach*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 23 (1992) 2, S. 3–14.

## WEBER ET AL. 2003

Weber, C.; Werner, H.; Deubel, T.: *A different view on Product Data Management/Product Life-Cycle Management and its future potentials*. *Journal of Engineering Design* 14 (2003) 4, S. 447–464.

## VAN WEELE 2014

Van Weele, A. J.: *Purchasing and Supply Chain Management*. 6. Auflage. Andover, Hampshire: Cengage Learning 2014. ISBN: 978-1408088463.

## WERNER 2013

Werner, H.: Supply Chain Management – Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. 5. Auflage. Wiesbaden: Springer 2013. ISBN: 978-3834932594.

## WESTKÄMPER 2006

Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin: Springer 2006. ISBN: 978-3540307648.

## WHEELWRIGHT &amp; CLARK 1992

Wheelwright, S. C.; Clark, K. B.: Revolutionizing product development: quantum leaps in speed, efficiency, and quality. New York: Free Press 1992. ISBN: 978-0029055151.

## WHITEHEAD 2007

Whitehead, M.: A Risky Business. European Leaders in Procurement 7 (2007) S. 26–29.

## WIKNER ET AL. 1991

Wikner, J.; Towill, D. R.; Naim, M.: Smoothing supply chain dynamics. International Journal of Production Economics 22 (1991) 3, S. 231–248.

## WILDEMANN 2013

Wildemann, H.: Advanced Purchasing – Leitfaden zur Einbindung der Beschaffungsmärkte in den Produktentstehungsprozess. 13. Auflage. München: TCW Transfer-Centrum 2013. ISBN: 978-3934155381.

## WILDEMANN 2008

Wildemann, H.: Einkaufspotenzialanalyse: Programme zur partnerschaftlichen Erschließung von Rationalisierungspotenzialen. 2. Auflage. München: TCW Transfer-Centrum 2008. ISBN: 978-3929918649.

## WILHELM 2001

Wilhelm, B.: Konzeption und Bewertung einer modularen Fahrzeugfamilie – Strategien und Methoden. Aachen: Shaker 2001. ISBN: 978-3826588426.

## WILLIAMS 1981

Williams, J. F.: Heuristic techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures: theory and empirical analysis. Management Science 27 (1981) 3, S. 336–352.

## WILLIAMS 1983

Williams, J. F.: A hybrid algorithm for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures. Management Science 29 (1983) 1, S. 77–92.

## YANG &amp; PAN 2004

Yang, J.-S.; Pan, J. C.-H.: Just-in-time purchasing: an integrated inventory model involving deterministic variable lead time and quality improvement investment. *International Journal of Production Research* 42 (2004) 5, S. 853–863.

## YASSINE 2010

Yassine, A. A.: Multi-domain DSM: Simultaneous optimization of product, process & people DSMs. 12th International Dependency and Structure Modelling Conference (DSM 14). Cambridge, UK, 2010.

## YASSINE &amp; WISSMANN 2007

Yassine, A. A.; Wissmann, L. A.: The Implications of Product Architecture on the Firm. *Systems Engineering* 10 (2007) 2, S. 118–137.

## YASSINE ET AL. 2003

Yassine, A.; Whitney, D.; Daleiden, S.; Lavine, J.: Connectivity maps: modeling and analysing relationships in product development processes. *Journal of Engineering Design* 14 (2003) 3, S. 377–394.

## YU ET AL. 2003

Yu, T.; Yassine, A.; Goldberg, E. D.: A genetic algorithm for developing modular product architectures. ASME 2003 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2003). Chicago, Vereinigte Staaten 2003.

## YU ET AL. 2007

Yu, T.-L.; Yassine, A. a.; Goldberg, D. E.: An information theoretic method for developing modular architectures using genetic algorithms. *Research in Engineering Design* 18 (2007) 2, S. 91–109.

## ZAMIROWSKI &amp; OTTO 1999

Zamirowski, E. J.; Otto, K. N.: Identifying Product Portfolio Architecture Modularity Using Function and Variety Heuristics. ASME 1999 Design Engineering Technical Conferences (DECT 1999). Las Vegas, Vereinigte Staaten 1999.

## ZAWISLA 2006

Zawisla, T.: Risikoorientiertes Lieferantenmanagement – eine empirische Analyse. München: Technische Universität, Diss. 2006.

## ZARBINI ET AL. 2007

Zerbini, F.; Golfetto, F.; Gibbert, M.: Marketing of competence: Exploring the resource-

based content of value for customers through a case study analysis. *Industrial Marketing Management* 36 (2007) 6, S. 784–798.

ZHANG ET AL. 2009

Zhang, L. L.; You, X.; Jiao, J. R.: Supply chain configuration with co-ordinated product, process and logistics decisions: an approach based on Petri nets. *International Journal of Production Research* 47 (2009) 3, S. 6681–6706.

### 9.3 Studienarbeitenverzeichnis

Die 15 Studienarbeiten sind im Rahmen des vorliegenden Dissertationsprojekts entstanden. Als Betreuer hat der Verfasser die Arbeiten inhaltlich angeleitet und regelmäßigen Input gegeben. In Abstimmungstreffen wurde sich zu Ergebnissen und dem weiteren Vorgehen ausgetauscht.

#### PE-BARTON 2014

Barton, B.: Prämissen zum Entwurf von Produktarchitektur und Liefernetzwerk. Unveröffentlichte Semesterarbeit (Nr. 2819), Technische Universität München (2014).

#### PE-EHRHARDT 2013

Ehrhardt, J.: Strukturoptimierung von Lieferketten technischer Produkte am Beispiel eines Heizgerätes der Webasto Group. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 58), Technische Universität München (2013).

#### PE-EICHINGER 2013

Eichinger, J.: Maßnahmensystematisierung bei der frühzeitigen Integration der Beschaffung in den Produktentstehungsprozess. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 84), Technische Universität München (2013).

#### PE-HOLSTEIN 2013

Holstein, J.: Lieferantenbewertung in frühen Phasen der Produktentwicklung. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 83), Technische Universität München (2013).

#### PE-KAYSER 2014

Kayser, L.: Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk: systematische Klassifikation von Ansätzen. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 147), Technische Universität München (2014).

#### PE-KRETZSCHMAR 2014

Kretzschmar, N.: Bewertung von Liefernetzwerken in frühen Phasen der Produktentwicklung. Unveröffentlichte Semesterarbeit (Nr. 2818), Technische Universität München (2014).

#### PE-KÜBEL 2012

Kübel, T.: Methodology for the structural analysis of supply chains based on the product architecture. Unveröffentlichte Semesterarbeit (Nr. 2729), Technische Universität München (2012).

#### PE-LI 2012

Li, H.: Supplier identification and evaluation process using patent analysis method. Unveröffentlichte Diplomarbeit (Nr. 1361), Technische Universität München (2012).

## PE-SCHERER 2014

Scherer, A.: Strukturanalyse von Lieferketten. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 123), Technische Universität München (2014).

## PE-SCHRENK 2013

Schrenk, L.: Rechnergestützte Konfiguration von Lieferkettenszenarios auf Basis der Produktarchitektur. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 86), Technische Universität München (2013).

## PE-SEBALD 2014

Sebald, R.: Strukturanalyse von Liefernetzwerken – Kriterien und Methoden zur Bewertung von Lieferanten in Beschaffungsprozessen. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 151), Technische Universität München (2014).

## PE-THIMET 2014

Thimet, P.: Design for Procurement – Premises for the concurrent design of the product architecture and supply network. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 149), Technische Universität München (2014).

## PE-WALTER 2013

Walter, F.: Simultaner Entwurf von Produktarchitektur und Lieferantennetzwerk. Unveröffentlichte Diplomarbeit (Nr. 1377), Technische Universität München (2013).

## PE-WALZ 2014

Walz, M.: Konzept Clustertechnik für nicht-exklusive Cluster. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 150), Technische Universität München (2014).

## PE-WEHRLE 2013

Wehrle, P.: Strategien zur Vernetzung von Entwicklung und Beschaffung. Unveröffentlichte Bachelorarbeit (Nr. 85), Technische Universität München (2013).



## 10. Anhang

### 10.1 Ergänzung zu der theoretischen Einführung

#### Übersicht: Eigenschaften der Ausprägungen von Produktarchitekturen

In Tabelle 10-1 werden die vier Ausprägungen von Produktarchitekturen nach GÖPFERT & FELDHUSEN [2013, S. 259] hinsichtlich ihrer charakteristischen Eigenschaften einander gegenübergestellt. Diese ergeben sich aus der einschlägigen Fachliteratur. Die vier Ausprägungen umfassen integrale (IN), physisch-modulare (PM), funktional-modulare (FM) und modulare (MO) Produktarchitekturen. Die Eigenschaften und Effekte sind GÖPFERT & FELDHUSEN [2013, S. 262] zu entnehmen.

**Tabelle 10-1: Eigenschaften der Ausprägungen von Produktarchitekturen im Vergleich**

Eigen- schaft	Effekt	Ausprägung der Produktarchitektur			
		IN	PM	FM	MO
Entkopplung	Anzahl der Schnittstellen im Produkt	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Eindeutigkeit der Schnittstellen im Produkt	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Aufwand für die Montage der Produktbestandteile	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Aufwand für die Demontage der Produktbestandteile	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Aufwand zur Spezifikation der Schnittstellen im Produkt	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Aufwand in der Konstruktion	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
Wiederverwendung	Aufwand in der Entwicklung	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Kostensenkung durch Skalen- und Lernkurveneffekte	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Fehlerrate durch Skalen- und Lernkurveneffekte	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Weiterverwendung von Produktbestandteilen in anderen Produkten	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Differenzierung des Produkts	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Risiko von Fehlern im Produkt	Gering	Mittel	Mittel	Hoch

<b>Austauschbarkeit</b>	Veränderbarkeit der Architektur	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Aufwand zum Austausch fehlerhafter Produktbestandteile	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Aufwand zur Reparatur des Produkts	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Einschränkungen bei der Reparaturmöglichkeiten	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
<b>Erweiterbarkeit</b>	Aufwand zur Erweiterung der Produktfunktionalität	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Produktionstechnische Veränderungen durch Produkterweiterung	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Aufwand zur nachträglichen Produkterweiterung	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Produktintegrität	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
<b>Standardisierbarkeit</b>	Verwendung existierender Lösungen durch Vereinheitlichung	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Reduzierung der Komponentenvielfalt	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Verwendung marktverfügbarer Produktbestandteile	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Verfügbarkeit der Beschaffungsumfänge (mehrere Anbieter)	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Preisniveau durch konkurrierende Anbieter	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Differenzierung des Produkts	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Spezifische Produktleistung	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
<b>Prüfbarkeit</b>	Aufwand für Funktionstests	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Fehlerreduzierung in der Produktion (durch Modulprüfung)	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
	Aufwand zur Identifikation defekter Produktbestandteile	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
<b>Kombinierbarkeit</b>	Kombination von Modulen im Baukastenprinzip	-	Mittel	Mittel	Hoch
	Aufwand zur Herstellung von Produktvarianten und Produktfamilien	Hoch	Mittel	Mittel	Gering
	Aufwand zur Erstellung und Pflege von Baukästen	-	Mittel	Mittel	Hoch

## Übersicht: Prozessmodelle der Produktentwicklung

Die Literaturrecherche basiert auf der Übersicht Prozessmodellen nach BRAUN [2005, S. 29] auf der Ebene der Makrologik und sämtlichen Dissertationen des Lehrstuhls für Produktentwicklung. Zudem wurden weitere Prozessmodelle aus der Literatursuche zu Gestaltungsrichtlinien (Design-for-X) aufgenommen. Tabelle 10-2 zeigt das Ergebnis dieser Literaturrecherche, Prozessmodelle mit Fokus auf der Entwicklung. Modelle des Innovationsprozesses oder der Systemtechnik (engl. Systems Engineering) werden folglich ausgeschlossen. Zudem liegt der Fokus auf Prozessmodellen, welche sich nicht auf ein spezifisches Produkt fokussieren.

Tabelle 10-2: Relevante Prozessmodelle für die Produktentwicklung

Nr.	Prozessmodelle	Nr.	Prozessmodelle
1	„Generic Product Development Process“ ULRICH & EPPINGER 2004	14	„Produktentwicklungsprozess“ SPUR & KRAUSE 1997
2	„Produktentstehungsprozess“ FELDHUSEN & GROTE 2013B	15	„Kooperatives Produktengineering“ GAUSEMEIER ET AL. 2000
3	„Produktentstehungsprozess als Netzwerk von Zyklen“ GAUSEMEIER ET AL. 2006	16	„Integrated New Product Development Process“ CLARKSON & ECKERT 2005, S. 392
4	„Produktentstehungsprozess“ WILDEMANN 2013	17	„Integrierter Produktentwicklungsprozess“ ANDREASEN & HEIN 1987
5	„Münchener Vorgehensmodell“ LINDEMANN 2009	18	„Engineering Design Process“ FRENCH 1998
6	„Integrierte Produktentwicklung“ EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013	19	„Erweitertes Prozessmodell“ SCHLACHT 2001
7	„Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ VDI 1993	20	„Entwicklungsprozess individualisierter Produkte“ LINDEMANN & BAUMBERGER 2006
8	„Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ VDI 2004	21	„Designprozess“ HEUFLENER 2004
9	„Modern Product Development Process“ OTTO & WOOD 2001	22	„3-Ebenen Vorgehensmodell“ BENDER ET AL. 2005
10	„Münchener Produktkonkretisierungsmodell“ PONN & LINDEMANN 2011	23	„Produktentstehungsprozess“ BRAESS 2012
11	„Stage-Gate System“ COOPER 2011	24	„Entwicklungstrichter“ WHEELWRIGHT & CLARK 1992
12	„Mechanical Design Process“ ULLMAN 2003	25	„Vorgehensmodell“ BLANCHARD 2004
13	„Property Driven Development“ WEBER ET AL. 2003	26	„Technischer Entwicklungsprozess“ ROOZENBURG & EEKELS 1995

## 10.2 Ergänzung zu den methodischen Grundlagen

### Relevante Arten von Graphen und ihre Eigenschaften

Tabelle 10-3 stellt eine Auswahl von grundlegenden Arten von Graphen und ihre Eigenschaften dar, welche in der vorliegenden Dissertation noch weiter Verwendung finden. Die dargestellten Arten von Graphen und ihre Eigenschaften erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 10-3: Grundlegende Arten von Graphen und ihre Eigenschaften

Bezeichnung	Beschreibung	Eigenschaften	Quellen
<b>Schleifenfreier Graph</b> (loopless graph)	... besitzen keine Kanten, welche einen Knoten mit sich selbst verbinden.	Schleifen	GROSS & YELLEN 2014, S. 4
<b>Graph mit Schleifen</b> (graph with loops)	... besitzen Kanten, welche einen Knoten mit sich selbst verbinden.	Schleifen	GROSS & YELLEN 2014, S. 4
<b>Einfacher Graph</b> (simple graph)	... beschreibt einen ungerichteten Graph, welcher keine Schleifen und Mehrfachkanten besitzt.	Schleifen Orientierung Mehrfachkanten	GROSS & YELLEN 2014, S. 4
<b>Multigraph</b> (multigraph)	... besitzt Knoten (zwei), welche durch mehrere Kanten verbunden sind und Schleifen enthalten können.	Schleifen Mehrfachkanten	DIESTEL 2010, S. 28
<b>Gerichteter Graph</b> (directed or digraph)	... bildet eine definierte Richtung der Kanten zwischen Knoten ab.	Orientierung	TITTMANN 2003, S. 12–13
<b>Ungerichteter Graph</b> (undirected graph)	... bildet keine definierte Richtung der Kanten zwischen Knoten ab.	Orientierung	TITTMANN 2003, S. 12–13
<b>Gemischter Graph</b> (mixed graph)	... bildet Kanten mit und ohne definierter Richtung ab.	Orientierung	GROSS & YELLEN 2014, S. 6
<b>Gewichteter Graph</b> (weighted graph)	... enthält eine Gewichtung der Knoten oder Kanten (Knoten-/Kantengewicht).	Gewichtung	MOHAR 2014, S. 1039
<b>Ungewichteter Graph</b> (unweighted graph)	... enthält keine Gewichtung der Knoten oder Kanten.	Gewichtung	MOHAR 2014, S. 1039
<b>Typisierter Graph</b> (typed graph)	... bilden mehrere Domänen (Knotenarten) ab.	Knotenarten	DE LARA ET AL. 2007, S. 140
<b>Attribuierter Graph</b> (attributed graph)	... beinhalten spezifische Attribute für die Knoten und Kanten.	Attribute	KISSEL 2014, S. 81

### Literaturstudie: Ansätze zur Ausgestaltung von Produktarchitekturen

Für die Klassifikation von Ansätzen zur Ausgestaltung von Produktarchitekturen liefern die Publikationen von GERSHENSON ET AL. [2004], CAMPAGNOLO & CAMUFFO [2009] und DANILIDIS ET AL. [2011] einen initialen Überblick als Basis für eine Klassifikation.

Die Ansätze firmieren in der Fachliteratur unter dem Begriff der Modularisierung und beziehen sich nach DANILIDIS ET AL. [2011, S. 404] auf ein einzelnes Produkt, eine Produktfamilie oder ein Produktportfolio. Ansätze für Produktfamilie oder Produktportfolio werden umfassend von BLEES [2011, S. 22ff.] und KRAUSE [2012, S. 666ff.] vorgestellt und im Rahmen der vorliegenden Dissertation situativ um gängige Ansätze – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – erweitert.

Die Klassifikation in Tabelle 10-4 zeigt das Ergebnis der Literaturstudie mit 48 Ansätzen zur Ausgestaltung von Produktarchitekturen. Eine überdeckungslose Abgrenzung der Ansätze hinsichtlich der Perspektiven und Kategorien ist aufgrund der inhaltlichen Überschneidung der Ansätze nur bedingt zu realisieren. Die Klassifikation in Tabelle 10-4 intendiert lediglich eine grundlegend Einordnung der Ansätze im Rahmen der vorliegenden Dissertation.

**Tabelle 10-4: Klassifikation von Ansätzen zur Ausgestaltung von Produktarchitekturen**

Ansätze zur Ausgestaltung der Produktarchitektur		Perspektive		
		Produkt	+Produktfamilie	+Lebenszyklus
Kategorie	Gestaltungsempfehlungen	A		
	Gestaltungsmethoden	B	C	D
A	ULRICH 1995; SANCHEZ & MAHONEY 1996; ISHII 1998; FIXSON 2006; SAKO 2003; BALDWIN & CLARK 2000; MARSHALL ET AL. 1998			
B	PIMMLER & EPPINGER 1994; SOSA ET AL. 2007; STONE ET AL. 2000; STONE 1997; GÖPFERT 2009; HUANG & KUSIAK 1998; YU ET AL. 2007; YU ET AL. 2003			
C	MEYER & LEHNERD 1997; ROBERTSON & ULRICH 1998; MARTIN 1999; GONZALEZ-ZUGASTI ET AL. 2000; SIMPSON ET AL. 2001; ZAMIROWSKI & OTTO 1999; KUSIAK & HUANG 1996; ERIXON 1998; STAKE 2000; BLACKENFELT 2001; KOEPPEN 2008; KOPPENHAGEN 2004; STEFFEN 2007; BLEES 2011; JIAO & TSENG 1999; SEKOLEC 2005; LINDEMANN ET AL. 2009; DANILIDIS ET AL. 2010; DAHMUS ET AL. 2001; LANNER & MALMQVIST 1996; ISHII ET AL. 1995; FUJITA ET AL. 1998; FUJITA 2002			
D	FIXSON 2005; GERSHENSON ET AL. 1999; NEWCOMB ET AL. 1996; KUSIAK & CHOW 1987; COULTER ET AL. 1998; TATE ET AL. 1998; ALLEN & CARLSON-SKALAK 1998; GU ET AL. 1997; HILLSTROM 1994; SOSALE ET AL. 1997; SAND ET AL. 2002; SOSA ET AL. 2000; KUSIAK 2002			

## Methoden zur Entwicklung von Produktfamilien

Methoden zur Entwicklung von Produktfamilie (C) lassen sich anhand von drei Kriterien unterscheiden. Über Markt und Kunden (MK) werden die Differenzierung zum Wettbewerb und die Kundenbedürfnisse abgedeckt. Mit dem Produktprogramm (PP) wird die Kommunalität unterschiedlicher Varianten untersucht. Das letzte Set an Kriterien stellt auf eine individuelle Produktvariante (IP) ab, welche technische und funktionale Beziehungen der Produktbestandteile berücksichtigt. Zudem ist das letzte Kriterium (IP) handlungsleitend für den Einfluss auf die Ausgestaltung der Produktarchitektur im Rahmen der vorliegenden Dissertation. In Tabelle 10-5 werden die Methoden dargestellt und hinsichtlich der drei Kriterien charakterisiert.

**Tabelle 10-5: Übersicht über Methoden zur Entwicklung von Produktfamilien**

Methoden zur Entwicklung von Produktfamilien	Kriterien			Gestaltungsstrategien für die Produktarchitektur
	MK	PP	IP	
„The Power Tower“ MEYER & LEHNERD 1997	●	●	◐	-
„Planning for Product Platforms“ ROBERTSON & ULRICH 1998	●	●	○	-
„Design for Variety“ MARTIN 1999	○	●	●	Standardisierung
„Architecting Product Platforms“ GONZALEZ-ZUGASTI ET AL. 2000	●	◐	○	-
„Product Platform Concept Exploration“ SIMPSON ET AL. 2001	●	●	○	-
„Product Portfolio Architecture“ ZAMIROWSKI & OTTO 1999	○	●	◐	Standardisierung
„Development of Modular Products“ KUSIAK & HUANG 1996	○	●	○	-
„Modular Function Deployment“ ERIXON 1998	●	●	◐	Gleich- und Wiederholteilstrategie

„Conceptual Development of Modular Products“ STAKE 2000	◐	●	◐	Standardisierung, Gleich- und Wiederholteilstrategie
„Managing Complexity by Product Modularisation“ BLACKENFELT 2001	◐	●	●	Standardisierung, Gleich- und Wiederholteilstrategie
„Modularisierung durch Komponentenkopplungen“ KOEPPEN 2008]	●	●	●	-
„Modular Engineering“ KOPPEHAGEN 2004	◐	●	●	-
„Produktstrukturierung mechatr. Systeme“ STEFFEN 2007	●	●	◐	Standardisierung, Gleich- und Wiederholteilstrategie
„Lebensphasen-Modularisierung“ BLEES 2011	●	●	●	Standardisierung
„Architecture of Product Families (APF)“ JIAO & TSENG 1999	●	●	○	-
„Entwicklung modularer Produktfamilien“ SEKOLEC 2005	●	●	○	-
„Structural Complexity Management“ LINDEMANN ET AL. 2009 und DANILIDIS ET AL. 2010	○	●	●	Standardisierung, Gleich- und Wiederholteilstrategie
„Modular Product Architecture“ DAHMUS ET AL. 2001	○	●	●	Gleich- und Wiederholteilstrategie
„Product Architecture Design“ LANNER & MALMQVIST 1996	○	●	●	-
Legende: ● umfassend erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt				

### Literaturstudie: Gestaltungsrichtlinien aus dem Lebenszyklus

Eine initiale Übersicht von Gestaltungsrichtlinien wird von ARNETTE ET AL. [2014] vorgestellt und im Rahmen der vorliegenden Dissertation angepasst. Tabelle 10-6 stellt das Ergebnis der Literaturstudie zu relevanten Gestaltungsrichtlinien vor. Dabei werden Richtlinien fokussiert, welche auf einen wirtschaftlichen Einfluss<sup>62</sup> abzielen und ARNETTE ET AL. [2014] als Sub-Kategorien beschreiben. Diese bezeichnen konkretere Richtlinien als die Oberkategorien [BAUER & PAETZOLD 2006]. Zudem werden lediglich 18 relevante Gestaltungsrichtlinien für die Ausgestaltung von Produktarchitekturen dargestellt. Dabei wird der Einfluss der Richtlinien vornehmlich über drei Mechanismen konstituiert [BEHNCKE ET AL. 2015].

Tabelle 10-6: Überblick über relevante Gestaltungsrichtlinien

Gestaltungsrichtlinien Design-for-X	Abkürzung	Anzahl an Gestaltungsrichtlinien aus der Literaturstudie				
		relevant			irrelevant	total
		Modularisierung	Standardisierung	Simplifizierung		
<b>Modularity</b>	DFMod	2	0	0	2	4
<b>Mass Customization</b>	DFMaCu	1	1	0	7	9
<b>Maintainability</b>	DFMt	2	1	0	8	11
<b>Serviceability</b>	DFSV	0	1	0	2	3
<b>Assembly</b>	DFA	1	1	1	10	13
<b>Manufacturing</b>	DFM	0	1	1	5*	7
<b>Logistics</b>	DFL	1	0	1	11	13
<b>Procurement</b>	DFP	1	1	1	6	9

\* DFM umfasst generische Richtlinien mit spezifischen Regeln für den Herstellungsprozess. Diese sind für die Literaturrecherche nicht relevant, da sie nicht auf Strukturattribute der Produktarchitektur abstellen.

Die 18 relevanten Gestaltungsprinzipien beeinflussen die Ausgestaltung von Produktarchitekturen aus dem Entwicklungsprozess über drei Mechanismen (Mech.) und werden in Tabelle 10-7 beschrieben. Die Mechanismen umfassen die Modularisierung (M.1), Standardisierung (M.2) und Simplifizierung (M.3).

<sup>62</sup> Richtlinien, die auf einen ökologischen Einfluss abstellen, werden nicht berücksichtigt.

Tabelle 10-7: Gestaltungsrichtlinien für die Ausgestaltung der Produktarchitektur

Richtlinie	Beschreibung	Quellen	Mech.
DFMaCu 1	Übergreifende Module, um kundenindividuelle Produkte anzubieten.	DURAY ET AL. 2000 SKJELSTAD ET AL. 2005	M.1
DFMaCu 2	Standardisierte Module für den übergreifenden Einsatz in der gesamten Produktfamilie.	DURAY ET AL. 2000	M.1
DFMt 1	Beschleunigung der Instandsetzung durch Standardkomponenten, den Gebrauch von Standardwerkzeugen in der Instandhaltung sowie die Reduzierung der erforderlichen Ersatzteile.	MOOS 1985	M.1
DFMt 2	Austausch von gesamten Modulen in der Instandhaltung durch die Modularisierung des Produkts.	MOOS 1985	M.1
DFMt 3	Verbesserung der Ursachenanalyse in der Instandhaltung und Beschleunigung der Instandsetzung durch Zusammenfassung von Komponenten in Modul.	KUO ET AL. 2001 MOOS 1985	M.1
DFSv	Verwendung von standardisierten Halterungen im Service zur Reduzierung der Teilanzahl und Begrenzung der benötigten Demontageprozesse im Service.	HUANG 1996	M.2
DFA 1	Reduzierung der Montageoperationen und Komplexität des Produkts über die Begrenzung der Teileanzahl.	HUANG 1996 DOWLATSHAHI 1996	M.3
DFA2	Standardisierung von Komponenten, Prozessen und Methoden über die gesamte Produktfamilie, um die Montagezeit zu verkürzen.	MILES 1989	M.2
DFA 3	Umfassende Nutzung von vormontierten Modulen, um die Montagezeit zu verkürzen.	HUANG 1996	M.1
DFM 1	Verkürzung des Herstellungsprozesses durch die Reduzierung der Teileanzahl.	ANDERSON 2004 MILES 1989	M.3
DFM 2	Nutzung von Standardmaterialien und -komponenten mit hoher Verfügbarkeit.	ANDERSON 2004 BRALLA 1998	M.2
DFL 1	Parallele Abwicklung von Logistikprozessen und Verlagerung von Beschaffungsumfängen.	DOWLATSHAHI 1996 SIMCHI-LEVI ET AL. 2003	M.1
DFL 2	Verkürzung von logistischen Prozessen über eine Reduzierung der Teileanzahl.	DOWLATSHAHI 1996 SIMCHI-LEVI ET AL. 2003	M.3
DFP 1	Vereinfachung der Produktgestalt zur Reduzierung der Beschaffungskosten (Reduzierung der Teileanzahl).	PULKKINEN ET AL. 2012	M.3
DFP 2	Beschaffung von Modulen, um die Lagerbestände und Transportkosten zu reduzieren.	PULKKINEN ET AL. 2012	M.1
DFP 3	Reduzierung der Beschaffungskosten durch die Verwendung von Standardkomponenten.	PULKKINEN ET AL. 2012	M.2

## Modellierung von Liefernetzwerken

Tabelle 10-8 zeigt das Ergebnis aus der Literaturstudie zu Ansätzen zur Modellierung von Liefernetzwerken in Anlehnung an PE-EHRHARDT [2013].

**Tabelle 10-8: Klassifikation von Modellen zur Gestaltung des Liefernetzwerks**

Quellen	Modelltyp	Bewertungskriterien			
		Zeit	Flexibilität	Kosten	Qualität
ALTIOK & RANJAN 1995	Stochastisch-analytisch	X		X	
ARNTZEN ET AL. 1995	Deterministisch-analytisch	X		X	
CACHON & ZIPKIN 1999	Volkswirtschaftlich			X	
CHRISTY & GROUT 1994	Volkswirtschaftlich	X		X	X
ISHII ET AL. 1988	Deterministisch-analytisch	X	X		
LEE & BILLINGTON 1993	Stochastisch-analytisch	X	X		
PYKE & COHEN 1993	Stochastisch-analytisch			X	
PYKE & COHEN 1994	Stochastisch-analytisch			X	
SVORONOS & ZIPKIN 1991	Stochastisch-analytisch	X		X	
TOWILL 1991	Simulationsmodelle	X		X	X
TOWILL ET AL. 1992	Simulationsmodelle	X		X	X
WIKNER ET AL. 1991	Simulationsmodelle	X		X	X
VOUDOURIS 1996	Deterministisch-analytisch		X		
WILLIAMS 1981	Deterministisch-analytisch			X	
WILLIAMS 1983	Deterministisch-analytisch			X	
ISMAIL & SHARIFI 2006	Volkswirtschaftlich		X		
LEE ET AL. 2002	Simulationsmodelle			X	
TSIAKIS ET AL. 2001	Deterministisch-analytisch		X	X	
DAS & ABDEL-MALEK 2003	Deterministisch-analytisch		X		
PETROVIC 2001	Simulationsmodelle	X		X	
BERTRAND 2003	Stochastisch-analytisch		X		
CHEN & HUANG 2007	Strukturmodelle		X	X	
GERSCHBERGER ET AL. 2012	Strukturmodelle				X
GRAVES & WILLEMS 2003	Stochastisch-analytisch	X	X	X	
GRAVES & WILLEMS 2005	Strukturmodelle			X	
IIDA 2012	Stochastisch-analytisch			X	
KHOO & YIN 2003	Strukturmodelle		X	X	
SPIEGLER ET AL. 2012	Stochastisch-analytisch		X		
YANG & PAN 2004	Deterministisch-analytisch	X		X	X

## Informationsquellen für das Lieferantenscouting

In Tabelle 10-9 wird ein Überblick über Informationsquellen für das Lieferantenscouting in Anlehnung an KIENZLE [1999, S. 287] und KOPPELMANN [2004, S. 359ff.] gegeben.

**Tabelle 10-9: Übersicht über Informationsquellen für das Lieferantenscouting**

Informationsquellen für das Lieferantenscouting		Datengrundlage	
		Primärquellen	Sekundärquellen
Durchführendes Organ	Eigensuche	Fachtagungen, Konferenzen, Arbeitsgruppen, Diskussionsforen, Netzwerke, Feldinterviews, Betriebsbesichtigungen, Messebesuche, ...	Zeitungen, Fachzeitschriften, Fachbücher, Geschäftsberichte, Studien, Institutsveröffentlichungen, Scanning-Dienste, Abstract-Dienste, Online-Datenbanken, ...
	Fremdsuche	Journalisten, Wissenschaftler, lokale Organisation, ...	Information-Broker, Intelligente Softwareagenten, ...

## Lieferanten- und Beziehungsmerkmale

Tabelle 10-10 stellt eine umfassende Übersicht an Lieferanten- und Beziehungsmerkmalen in Anlehnung an LARGE [2013, S. 114] dar.

**Tabelle 10-10: Übersicht über Lieferanten- und Beziehungsmerkmale**

Lieferantenmerkmale	Beziehungsmerkmale
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unternehmensgröße (Umsatz &amp; Mitarbeiterzahl)</li> <li>• Kapazität und deren Auslastung</li> <li>• Angebotene Produkte und Zusatzleistungen</li> <li>• Unternehmenssitz und Standorte der Lieferwerke</li> <li>• Stellung im Beschaffungskanal</li> <li>• Leistungsfähigkeit (Qualität, Logistik, ...)</li> <li>• Flexibilität und Reaktionsfähigkeit</li> <li>• Zugehörigkeit zum eigenen Unternehmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bezogene Produkte</li> <li>• Aktuelles und potenzielles Einkaufsvolumen (Umsatz des Lieferanten)</li> <li>• Regelmäßigkeit des Bezugs</li> <li>• Status zur Entwicklungsstufe und Vertrag</li> <li>• Preise der bezogenen Beschaffungsobjekte im Marktvergleich und Preisänderungsrate</li> <li>• Leistung und Leistungsänderung (Qualität, Service, ...)</li> <li>• Kooperations- und Leistungsbereitschaft</li> </ul>

## Bewertungskriterien für die Lieferantenbewertung

In Tabelle 10-11 wird eine exemplarische Übersicht von Bewertungskriterien für die Lieferantenbewertung in Anlehnung an JANKER [2008, S. 111] dargestellt.

Tabelle 10-11: Übersicht von Bewertungskriterien für die Lieferantenbewertung

Hauptkriterien	Subkriterien	Hauptkriterien	Subkriterien
<b>Mengenleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestliefermenge</li> <li>• Mengenflexibilität</li> <li>• Hohe Auftragsmengen</li> <li>• Mengenkonzanz</li> </ul>	<b>Serviceleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektgarantie</li> <li>• Kulanzverhalten</li> <li>• Nachkaufssicherheit</li> <li>• Kundendienst</li> </ul>
<b>Qualitätsleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktqualität</li> <li>• Erfahrung des Lieferanten</li> <li>• Qualifikationsniveau (Mitarbeiter)</li> <li>• Technologiestand</li> <li>• Zertifizierung (ISO 9000:2000)</li> <li>• Leistungskonzanz</li> <li>• Einsatzvariabilität</li> <li>• Werbewert des Lieferanten</li> <li>• Qualitätsphilosophie</li> </ul>	<b>Informations- &amp; Kommunikationsleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kooperationsbereitschaft</li> <li>• Kommunikationsbereitschaft</li> <li>• Know-how-Transfer</li> <li>• Anwendungsberatung</li> <li>• Internet-Technologien</li> <li>• www-Angebot</li> <li>• Datenschutz</li> </ul>
<b>Logistikleistung</b>	<b>Zeitleistung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurze Lieferzeiten</li> <li>• Maßnahmen zur DLZ-Optimierung</li> <li>• Durchlaufzeitoptimierung</li> <li>• Terminzuverlässigkeit</li> <li>• Flexible Termingestaltung</li> </ul>	<b>Innovationsleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologische Kompetenz</li> <li>• Entwicklungspotenzial</li> <li>• F&amp;E-Kapazitäten</li> </ul>
	<b>Ortsleistung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entfernung zum Abnehmer</li> <li>• Lagerstellenzugänglichkeit</li> <li>• Transportanbindung</li> <li>• Lieferortflexibilität</li> </ul>	<b>Entgeltleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angebotspreis</li> <li>• Konditionengestaltung</li> <li>• Zahlungsziel</li> <li>• Kostenanalyse</li> <li>• Kostenreduktionsaktivitäten</li> </ul>
	<b>Lieferleistung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lieferzuverlässigkeit</li> <li>• Liefertreue</li> <li>• Exklusivbelieferung</li> <li>• Verarbeitungsgerechte Anlieferung</li> <li>• Verpackungs- und Transportschutz</li> </ul>	<b>Umweltleistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umweltverträglichkeit</li> <li>• Recyclingbereitschaft</li> </ul>

### Literaturstudie: Verfahren für die Lieferantenbewertung

Für die Übersicht von Verfahren zur Lieferantenbewertung liefern die Publikationen von DE BOER ET AL. [2001], HO ET AL. [2010] und DAY ET AL. [2010] sowie die Buchbeiträge von KOPPELMANN [2004, S. 262ff.] und JANKER [2008, S. 101ff.] einen umfassenden Überblick.

Tabelle 10-12 zeigt das Ergebnis der Literaturstudie mit 27 Verfahren zur Lieferantenbewertung, welche zudem den vier Quadranten des Ordnungsrahmens zugeordnet werden. Die Literaturstudie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und dient lediglich einem umfassenden Überblick an Verfahren. Eine eindeutige Zuordnung der Verfahren im Ordnungsrahmen ist nicht immer möglich, da Verfahren teils qualitative oder quantitative Facetten kombinieren. Die Verortung richtet sich daher am Kern des Verfahrens aus.

**Tabelle 10-12: Übersicht von Verfahren für die Lieferantenbewertung**

	Verfahren	Beschreibung
①	„Preisbeobachtung“ JANKER 2008, S. 103	Prognose des Beschaffungspreises über kontinuierliche Verfolgung der Preisentwicklung eines Beschaffungsobjektes
①	„Preisvergleich“ JANKER 2008, S. 103	Vergleich von Beschaffungspreisen verschiedener Lieferanten über einheitliche Einstandspreise (auch: Vergleichspreise)
①	„Lieferzeitvergleich“ STRUB 1998, S. 83	Vergleich von Beschaffungszeiten verschiedener Lieferanten bei zeitkritischen Bedarfsfällen
①	„Lineare Optimierung“ JANKER 2008, S. 108	Reihung der Lieferanten hinsichtlich vordefinierter Bewertungskriterien mittels Optimierung einer Zielfunktion
③	„Goal-Programming“ JANKER 2008, S. 109	Reihung der Lieferanten hinsichtlich vordefinierter Bewertungskriterien mittels Optimierung einer multikriteriellen Zielfunktion
③	„Preisstrukturanalyse“ JANKER 2008, S. 104	Kalkulation des Beschaffungspreises unabhängig vom angebotenen Preis des Lieferanten als Vergleichswert
③	„Kostenvergleich“ JANKER 2008, S. 107	Erweiterung der Einstandspreise des Lieferanten durch Kostenverursachung durch den Lieferanten beim Abnehmer
③	„Total Cost Supplier Selection“ SMYTKA & CLEMENS 1993	Erweiterung der Einstandspreise und der Kostenverursachung durch den Lieferanten beim Abnehmer um Risikofaktoren
③	„Kennzahlenverfahren“ JANKER 2008, S. 109ff.	Gegenüberstellung der Lieferanten über einen unternehmensspezifischen Satz an Kennzahlen
③	„Gesamtwertzahlverfahren“ JANKER 2008, S. 112	Gegenüberstellung der Lieferanten mittels einer integrierten Hauptkennzahl in einer Kennzahlenhierarchie (Multiplikation)
③	„Quotientenverfahren“ JANKER 2008, S. 112	Gegenüberstellung der Lieferanten mittels einer integrierten Hauptkennzahl in einer Kennzahlenhierarchie (Subtraktion)
③	„Vendor Rating System“ JANKER 2008, S. 112ff.	Gegenüberstellung des Beschaffungsobjekts und der Leistungsfähigkeit des Lieferanten

③	„Bilanzanalyse“ JANKER 2008, S. 113ff.	Analyse der Jahresbilanzen zur Ermittlung der Effektivität der Lieferantenleistung im Vergleich zum Branchendurchschnitt
③ ④	„Geldwertmethode“ JANKER 2008, S. 151ff.	Gegenüberstellung von Leistungsangeboten über die Monetisierung von quantitativen und qualitativen Bewertungskriterien
③ ④	„Principle Component Analysis“ PETRONI & BRAGLIA 2000	Bewertung von Lieferanten über eine lieferantenspezifische Gesamtwertzahl aus Faktorenanalyse quantitativer und qualitativer Kriterien
④	„Notensysteme“ JANKER 2008, S. 116ff.	Bewertung von Lieferanten über Anforderungskriterien ohne Gewichtung mittels fester Skala (Noten, Punkte, ...)
④	„Punktbewertung“ JANKER 2008, S. 118ff.	Bewertung von Lieferanten über Anforderungskriterien mit Gewichtung mittels fester Skala (Noten, Punkte, ...)
④	„Matrix-Approach“ GREGORY 1986	Bewertung von Lieferanten über Anforderungskriterien mit Gewichtung mittels fester Skala durch mehrere Entscheidungsträger
④	„Nutzwertanalyse“ JANKER 2008, S. 125ff.	Gegenüberstellung der Lieferanten über Gesamtnutzenwert aus kardinalen Bewertungskriterien und deren individuellen Gewichtung
④	„Checklistenverfahren“ JANKER 2008, S. 128	Verbale Bewertung über (erlässliche und unerlässliche) Kriterien aus einer umfassenden Checkliste
④	„Portfolio-Analyse“ JANKER 2008, S. 128ff.	Gegenüberstellung der Lieferanten hinsichtlich unternehmensbezogener und umfeldbezogener Merkmalausprägungen
④	„Profilanalyse“ JANKER 2008, S. 140ff.	Visualisierung (Graph) der Leistungsfähigkeit der Lieferanten über (qualitative und quantitative) Bewertungskriterien
④	„Lieferanten-Gap-Analyse“ JANKER 2008, S. 143ff.	Bewertung der Lieferanten über objekt- und situationsbestimmte Lieferantenmerkmale und deren Gewichtung
④	„Expertensysteme“ JANKER 2008, S. 146ff.	Bewertung von Lieferanten mittels wissensbasierter Software auf Basis einer Wissensbasis und eines Steuerungssystems
④	„Analytic Hierarchy Process“ NYDICK & HILL 1992	Reihung der Leistungsangebote von den Lieferanten über die Bedeutung der Bewertungskriterien (paarweiser Vergleich) und deren Erfüllungsgrad
④	„Activity-based Costing“ ROODHOFT ET AL. 1997	Berechnung der Gesamtkosten eines Leistungsangebots über die Kostenverursachung im Produktionsprozess im Unternehmen durch den Lieferanten
④	„Lieferantentypologie“ STRUB 1998, S. 115ff.	Gegenüberstellung der Lieferanten hinsichtlich des Versorgungsrisikos, des Lieferrisikos und der Leistungsfähigkeit

### Lieferantenkonzept: Eigenschaften der Beschaffungsstrategien

**Single Sourcing** beschreibt die Beschaffung eines spezifischen Beschaffungsobjekts bei einem Lieferanten. Im Gegensatz zum **Sole Sourcing** wird die Entscheidung zur Einzelquellenbeschaffung beim Single Sourcing bewusst von der Beschaffung getroffen [KRAMPF 2012, S. 15–16]. Nach WANNENWETSCH [2010, S.164] sind diese Lieferanten schon in die Produktentwicklung einzubinden und die Zusammenarbeit mit ihnen über den gesamten Produktlebenszyklus vertraglich abzusichern. Im **Dual Sourcing** wird das Beschaffungsvolumen eines Objekts auf zwei Beschaffungsquellen aufgeteilt [KRAMPF 2012, S. 16]. Bei der Mehrquellenbeschaffung (**Multiple Sourcing**) wird das Beschaffungsvolumen eines Objekts auf mehrere Lieferanten aufgeteilt [WANNENWETSCH 2010, S. 164], um der Gefahr der Monopolisierung zu entgehen [KRAMPF 2012, S. 29]. Multiple Sourcing setzt einen hohen Standardisierungs- und geringen Spezifizierungsgrad des Beschaffungsobjekts voraus [WANNENWETSCH 2010, S.167; KRAMPF 2012, S. 15–16]. In Tabelle 10-13 werden die Eigenschaften der Beschaffungsstrategien nach WANNENWETSCH [2010, S.165ff.] und WERNER [2013, S. 162] dargestellt.

**Tabelle 10-13: Eigenschaften der Beschaffungsstrategien des Lieferantenkonzepts im Vergleich**

Eigenschaften	Beschaffungsstrategie			
	Sole	Single	Dual	Multiple
Mengendegressionseffekt (Bestellvolumen)	Hoch	Hoch	Mittel	Gering
Bestell- und Transaktionskosten	Gering	Gering	Gering	Hoch
Transportkosten	Gering	Gering	Gering	Hoch
Kapitalbindung	Gering	Gering	Gering	Hoch
Logistische Komplexität	Gering	Gering	Gering	Hoch
Flexibilität der Beschaffungsquelle	Gering	Gering	Mittel	Hoch
Abhängigkeitsverhältnis vom Lieferanten	Hoch	Hoch	Mittel	Gering
Wissenstransfer (Know-how-Verlust)	Hoch	Hoch	Mittel	Gering
Versorgungssicherheit	Gering	Gering	Mittel	Hoch
Wettbewerb (Konkurrenzsituation)	Keine	Gering	Mittel	Hoch
Förderung gleich bleibender Qualität	Hoch	Hoch	Mittel	Mittel

### Objektkonzept: Eigenschaften der Beschaffungsstrategien

Die Teilebeschaffung (**Unit Sourcing**) beschreibt Beschaffungsobjekte mit geringer Komplexität und Wertschöpfungstiefe [KRAMPF 2012, S. 16]. An diesen Objekten haben noch keine Montageoperationen stattgefunden. Sie zeichnen sich durch einen hohen Standardisierungs- und geringen Spezifizierungsgrad aus [VOIGT 2008, S. 193–194]. Die Komponentenbeschaffung (**Component Sourcing**) umfasst Beschaffungsobjekte, die sich aus Einzelteilen zusammensetzen [WANNENWETSCH 2010, S. 172; ARNOLD 2002, S. 209]. **Im Modular Sourcing** wird der Originalteilhersteller mit kompletten Baugruppen beliefert, die aus unterschiedlichen Komponenten bestehen und eine geometrische Abhängigkeit besitzen [ARNOLD 2002, S. 209]. Bei Modulen übernimmt der Lieferant die Verantwortung für die Fertigung und Koordination von Sublieferanten, während die Entwicklungs- und Konstruktionsleistung maßgeblich vom Originalteilhersteller erbracht wird [VOIGT 2008, S. 192; KRAMPF 2012, S. 99ff.]. Das **System Sourcing** stellt eine Bündelung der benötigten Leistungen in einbaufertigen Funktionseinheiten dar [STRUB 1998, S. 444]. Im System Sourcing überträgt der OEM dem Lieferanten zusätzlich die Entwicklungsleistung und -verantwortung. Tabelle 10-14 stellt eine Auswahl an charakteristischen Eigenschaften der Beschaffungsstrategien in Anlehnung an WANNENWETSCH [2010, S.172ff.] und WERNER [2013, S. 164] dar.

**Tabelle 10-14: Eigenschaften der Beschaffungsstrategien des Objektkonzepts im Vergleich**

Charakteristische Eigenschaft	Beschaffungsstrategie			
	Unit	Component	Modular	System
Abstimmungsaufwand	Gering	Mittel	Hoch	Hoch
Anzahl an Schnittstellen	Hoch	Hoch	Gering	Gering
Konzentration auf Kernkompetenzen	Gering	Gering	Hoch	Hoch
Beschaffungskosten	Hoch	Hoch	Mittel	Mittel
Frachtkosten	Mittel	Mittel	Gering	Gering
Abhängigkeitsverhältnis	Gering	Mittel	Hoch	Hoch
Innovationspotenzial	Hoch	Hoch	Mittel	Mittel
Wissenstransfer (Know-how-Verlust)	Gering	Mittel	Hoch	Hoch

### Arealkonzept: Eigenschaften der Beschaffungsstrategien

Das **Local Sourcing** beschreibt den Bezug des Beschaffungsobjekts am Heimmarkt in unmittelbarer Umgebung des Originalteilherstellers [KRAMPF 2012, S. 15; WANNENWETSCH 2010, S. 167ff.]. Im **Domestic Sourcing** wird der Beschaffungsmarkt auf das gesamte Inland des Originalteilherstellers ausgeweitet [WANNENWETSCH 2010, S. 169]. Im **Global Sourcing** finden weltweite Beschaffungsquellen bei der Lieferantenentscheidung Berücksichtigung [KRAMPF 2012, S. 15]. Tabelle 10-15 zeigt eine Auswahl an Eigenschaften der Beschaffungsstrategien in Anlehnung an WANNENWETSCH [2010, S.167ff.] und WERNER [2013, S. 165].

**Tabelle 10-15: Eigenschaften der Beschaffungsstrategien des Arealkonzepts im Vergleich**

Charakteristische Eigenschaft	Beschaffungsstrategie		
	Local	Domestic	Global
Transport- und Nebenkosten	Gering	Mittel	Hoch
Transport- und Qualitätsrisiken	Gering	Mittel	Hoch
Einstandspreise	Hoch	Mittel	Gering
Wechselkursschwankungen	Gering	Gering	Hoch
Zuverlässigkeit	Hoch	Mittel	Gering
Flexibilität (Änderungen)	Hoch	Mittel	Gering
Basis möglicher Lieferanten	Gering	Mittel	Hoch
Kommunikationsaufwand	Gering	Mittel	Hoch

### 10.3 Ergänzung zum Stand der Forschung und Technik

#### Literaturstudie: Richtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung

Für die Recherche wurden folgende Literaturdatenbanken verwendet: ScienceDirect, SCOPUS, Web of Science und Google Scholar. Zudem fanden Buchbeiträge auf Google Books und im Bibliotheksverbund Bayern Berücksichtigung. Tabelle 10-16 fasst die Ergebnisse zusammen, welche sich auf Publikationen aus dem Maschinenbau und der Beschaffung beschränken.

Tabelle 10-16: Literaturstudie zu Gestaltungsrichtlinien zur beschaffungsgerechten Produktentwicklung

Suchbegriff	„Design for Procurement“		„Design for Purchasing“		„Design for Supply Chain“		„Beschaffungsgerechte Produktentwicklung“	
	Journals und Paper	5 (1)	3 (1)	8 (0)	0 (0)	46 (1)	40 (2)	-
3 (1)		73 (3)	0 (0)	27 (0)	31 (1)	978 (5)	-	-
Buchbeiträge	0 (0)		0 (0)		16 (1)		0 (0)	
	6 (0)		1 (0)		30 (0)		25 (0)	
Legende:	Science Direct	Scopus	Gesamte Anzahl an Suchergebnissen (Anzahl relevanter Publikationen)				Bibliotheksverbund	
	Web of Science	Google Scholar					Google Books	

#### Handlungsempfehlungen der Gestaltungsrichtlinien

Tabelle 10-17 fasst die Handlungsempfehlungen aus der Literaturstudie zusammen.

Tabelle 10-17: Handlungsempfehlungen der Gestaltungsrichtlinien

Empfehlung	Wirkungsbereich
Standardisierung	Produktarchitektur und Liefernetzwerk
Modularisierung	Produktarchitektur und Liefernetzwerk
Simplifizierung	Produktarchitektur und Liefernetzwerk
Partnerschaft	Liefernetzwerk

### Literaturstudie: Ansätze zur Abstimmung

Für die Literaturrecherche wurden folgende Literaturdatenbanken verwendet: ScienceDirect, SCOPUS, Web of Science und Google Scholar. Tabelle 10-18 fasst die Ergebnisse der Literaturstudie zusammen, welche sich auf Publikationen aus den Bereichen des Maschinenwesens und der Beschaffung beschränken.

**Tabelle 10-18: Literaturstudie zu Ansätzen zur Abstimmung von Produktarchitektur und Liefernetzwerk**

Suchbegriff	„Product Architecture“		„Product Structure“		„Modularity“		„Product Design“	
„Supply Chain Design“	74 (4)	10 (2)	63 (1)	1 (0)	409 (4)	37 (2)	333 (4)	120 (9)
	6 (1)	619 (10)	2 (0)	485 (7)	39 (6)	1510 (9)	74 (8)	2630 (10)
„Supply Chain Network“	41 (2)	5 (1)	72 (1)	6 (0)	508 (2)	46 (1)	350 (2)	52 (3)
	1 (0)	248 (8)	3 (0)	409 (6)	35 (2)	2010 (7)	17 (2)	2170 (7)
„Supply Chain Configuration“	27 (4)	7 (2)	38 (1)	2 (1)	160 (4)	19 (3)	117 (4)	30 (5)
	5 (2)	241 (10)	2 (1)	201 (6)	24 (4)	636 (8)	15 (4)	721 (11)
„Network of Suppliers“	20 (1)	0 (0)	16 (0)	1 (0)	108 (1)	3 (0)	93 (1)	3 (0)
	0 (0)	169 (0)	0 (0)	87 (0)	4 (0)	527 (0)	1 (0)	907 (0)
„Supplier Network“	37 (1)	6 (0)	22 (0)	0 (0)	199 (1)	5 (0)	173 (1)	4 (0)
	1 (0)	207 (1)	0 (0)	145 (0)	5 (0)	740 (1)	2 (0)	1050 (2)
„Supply Network“	57 (2)	2 (0)	81 (0)	7 (0)	980 (2)	166 (0)	374 (2)	23 (0)
	2 (0)	336 (3)	7 (0)	475 (1)	476 (0)	5470 (1)	11 (0)	2640 (3)
Legende:	Science Direct	Scopus	Gesamte Anzahl der Suchergebnisse (Anzahl relevanter Publikationen)					
	Web of Science	Google Scholar						

## Kommerzielle Clusterverfahren

Aus der Recherche im Forschungsfeld zu Matrixmethoden in Tagungsberichten der internationalen „Dependency and Structure Modelling Conference“ ergeben sich zahlreiche kommerzielle Clusterverfahren. Tabelle 10-19 stellt die relevanten Softwareprogramme aus den Jahren 2008 bis 2010 dar. Zudem werden auf der Homepage ([www.dsmweb.org](http://www.dsmweb.org)) weitere DSM-Tools angeboten. Eine genaue Beschreibung der Verfahren und verwendeter Zielfunktionen ist für die kommerziellen Verfahren nicht verfügbar und wird in Kapitel 4.3.2 nicht aufgeführt.

**Tabelle 10-19: Übersicht über kommerzielle Clusterverfahren**

Clusterverfahren	Webpage
Loomeo	<a href="http://www.teseon.com">http://www.teseon.com</a>
Acclaro DFSS	<a href="http://www.axiomaticdesign.com">http://www.axiomaticdesign.com</a>
Lattix	<a href="http://www.lattix.com">www.lattix.com</a>
Multiplan Professional	derzeit nicht verfügbar!
NDepend	<a href="http://www.ndepend.com/">http://www.ndepend.com/</a>
Cambridge Advanced Modeller (CAM) (P3 Signposting)	<a href="https://www-edc.eng.cam.ac.uk/cam/">https://www-edc.eng.cam.ac.uk/cam/</a>
Structure 101	<a href="https://structure101.com/">https://structure101.com/</a>
Plexus	<a href="http://www.Plexusplanning.com">http://www.Plexusplanning.com</a>
ProjectDSM	<a href="http://www.projectdsm.com">http://www.projectdsm.com</a>
Soley	<a href="https://www.soley-technology.com">https://www.soley-technology.com</a>

## Zielfunktionen von Clusterverfahren

Tabelle 10-20 fasst eine Übersicht über Zielfunktionen von Clusterverfahren und Kennzahlen zur Modularisierung aus der Fachliteratur EVERITT ET AL. [2011], GERSHENSON ET AL. [2004], SOSA ET AL. [2007] und YASSINE [2010] zusammen.

**Tabelle 10-20: Übersicht über Zielfunktionen von Clusterverfahren**

Beschreibung	Formel	Quelle
Minimierung der Anzahl von Relationen außerhalb der Cluster und Maximierung der Anzahl von Relationen innerhalb der Cluster	$f = \frac{x_{i,p} - x_{i,e}}{x_{i,p}} \cdot \frac{x_{o,e}}{x_{o,p}}$	BEHNCKE ET AL. 2014C

Maximierung der Anzahl gebündelter Relationen in einem Cluster	$f = \frac{x_{i,p} - x_{i,e}}{x_{i,p}}$	BEHNCKE ET AL. 2014C
Minimierung der quadratischen euklidischen Distanz zwischen gemittelten Vektoren (Centroid)	$f_{k(ij)} = \frac{n_i}{n_i + n_j} d_{ki} + \frac{n_j}{n_i + n_j} d_{kj} + \frac{-n_i n_j}{(n_i + n_j)^2} d_{ij}$	EVERITT ET AL. 2011
Minimierung der quadratischen euklidischen Distanz zwischen gewichteten Schwerpunkten (Median)	$f_{k(ij)} = \frac{1}{2} d_{ki} + \frac{1}{2} d_{kj} + \left(-\frac{1}{4}\right) d_{ij}$	EVERITT ET AL. 2011
Maximierung der Quadratsumme in einem Cluster über der Summe aller Variablen (Ward)	$f_{k(ij)} = \frac{n_k + n_i}{n_k + n_i + n_j} d_{ki} + \frac{n_k + n_j}{n_k + n_i + n_j} d_{kj} + \frac{-n_k}{n_k + n_i + n_j} d_{ij}$	EVERITT ET AL. 2011
Minimierung der Summe aller Unterschiede zwischen einem Punkt und seinem Schwerpunkt	$f(C) = \sum_{j=1:k} \sum_{x_i \in C_j} \ x_i - c_j\ ^2$	BERKHIN 2006
Minimierung von internen und externen Relationen eines Clusters	$f = \sum_{i=1}^k (I_i) (n_i)^\alpha + \sum_{i=1}^k (I) N^\beta$	THEBEAU 2001; YASSINE 2010
Maximierung der Modularität	$f = (1 - \alpha - \beta) \cdot \left( c \cdot \log N + \log N \sum_{i=1}^{n_c} n_i \right) + \alpha \cdot [ S_1  \cdot (2 \cdot \log N + 1)] + \alpha \cdot [ S_2  \cdot (2 \cdot \log N + 1)]$	YU ET AL. 2003; YU ET AL. 2007
Maximierung der (Grad-) Modularität	$f_{in-degree\ Modularität} = 1 - \frac{\sum_{i \neq j}^n x_{ij}}{x_{max} \cdot (n - 1)}$ $f_{out-degree\ Modularität} = 1 - \frac{\sum_{i \neq j}^n x_{ji}}{x_{max} \cdot (n - 1)}$	SOSA ET AL. 2007
Maximierung der (Abstands-) Modularität	$f_{in-distance\ Modularität} = \frac{\sum_{i \neq j}^n d(i, j)}{n \cdot (n - 1)}$ $f_{out-distance\ Modularität} = \frac{\sum_{i \neq j}^n d(j, i)}{n \cdot (n - 1)}$	SOSA ET AL. 2007
Maximierung der (Brücken-) Modularität	$f_{Brückenmodularität} = 1 - \frac{\sum_{i \neq a, i \neq b, b \neq a} \frac{nd_{ab}(i)}{nd_{ab}}}{[(n - 1) \cdot (n - 1)]}$	SOSA ET AL. 2007
<p>Legende: <math>x_{i/o}</math> Relationen innerhalb (i) und außerhalb (o); <math>x_{p/e}</math> mögliche (p) und reale (e) Relationen   <math>d_{k(ij)}</math> Distanz zwischen zwei Gruppen i und j   <math>n_k, n_i, n_j</math>: Größe der Cluster   <math>k</math> gesamte Anzahl der Cluster   <math>c_j</math> Schwerpunkt des Clusters j   <math>N</math> Anzahl der Knoten einer DSM   <math>I_i</math> Summe von Zeichen innerhalb eines Clusters i   <math>I</math> Summe von Zeichen außerhalb aller Cluster   <math>n_i</math> Anzahl der Knoten in dem <math>i</math>-ten Cluster   <math>\alpha, \beta</math> Gewichtung (<math>\geq 1</math>)   <math>x_{ij}</math> Zeichen innerhalb eines Clusters   <math>x_{ji}</math> Zeichen außerhalb eines Clusters   <math>d(i, j)</math> Distanz zwischen i und j   <math>d(j, i)</math> Distanz zwischen j und i   <math>nd_{ab}</math> geodätische Linie zwischen a und b   <math>nd_{ab}(i)</math> geodätische Linie zwischen a und b, die Knoten i enthält</p>		

## 10.4 Ergänzung zum Lösungsansatz

### DfP.A1: Definition der Gestalt der Produktarchitektur

In Abbildung 10-1 wird die DfP.A1-Checkliste zur Definition der Gestalt der Produktarchitektur für das begleitende Anwendungsbeispiel (Flugzeugtriebwerk) aus Kapitel 6.1.3 dargestellt. Mit dieser Aktivität wird in der Produktplanung die Zielstruktur der Architektur festgelegt.

Bei dem begleitenden Anwendungsbeispiel handelt es sich um ein Entwicklungsprojekt für ein Derivat in einer bestehenden Produktfamilie. Hinsichtlich der Unabhängigkeit von Produktbestandteilen wird sowohl eine physische als auch funktionale Unabhängigkeit intendiert. Daraus ergibt sich eine modulare Produktarchitektur für das Entwicklungsprojekt. Die charakteristischen Eigenschaften für modulare Produktarchitekturen werden in der DfP.A1-Checkliste (Abbildung 10-1) dem Anwender ausgegeben. Diese decken sich mit den Eigenschaften der intendierten Architektur. In der Folge ist für den Anwendungsfall keine andere Ausprägung in Erwägung zu ziehen, und diese Aktivität kann mit der Auswahl der modularen Produktarchitektur als Zielarchitektur für das Flugzeugtriebwerk abgeschlossen werden.

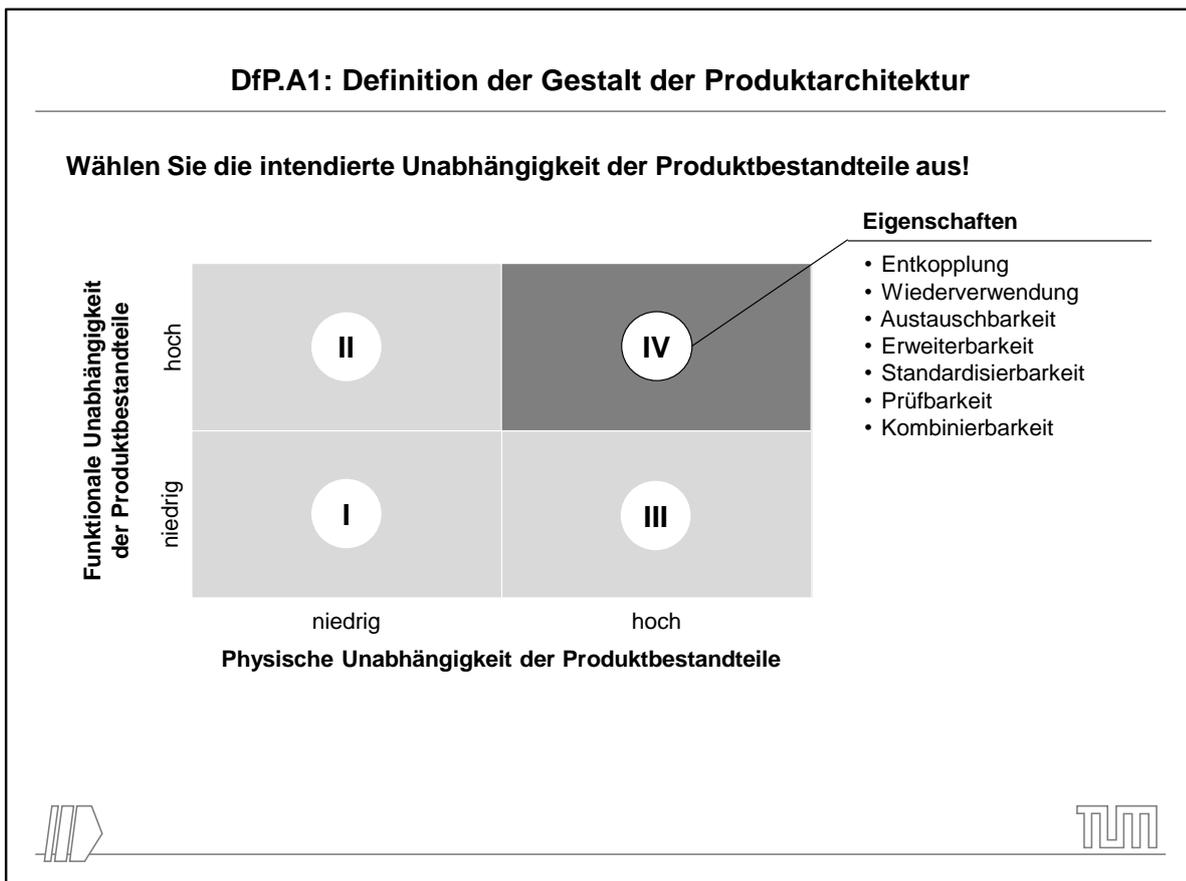


Abbildung 10-1: DfP.A1-Checkliste (Definition der Gestalt der Produktarchitektur)

## DfP.A2: Vorauswahl von Lieferanten

In Abbildung 10-2 wird die DfP.A2-Checkliste zur Identifikation von potenziellen neuen Lieferanten am Beschaffungsmarkt für den begleitenden Anwendungsfall dargestellt.

Im begleitenden Anwendungsbeispiel wird ein Entwicklungsprojekt für ein Derivat einer bestehenden Produktfamilie fokussiert, bei dem die Reduzierung der Produktkosten durch die systematische Ausschöpfung verbleibender Potenziale der bestehenden Lieferantenbasis realisiert werden sollen. Demnach existiert für das Flugzeugtriebwerk bereits eine performante Lieferantenbasis, welche die Identifikation von neuen Lieferanten am Beschaffungsmarkt obsolet macht. In Abbildung 10-2 wird folglich die generische DfP.A2-Checkliste dargestellt, welche in der industriellen Praxis die Verankerung dieser Aktivität in die Geschäftsprozesse erlaubt.

Die bestehende Fachliteratur bietet ein Portfolio an Methoden zur Identifikation von neuen Lieferanten auf Basis der Informationsquellen für das Lieferantenscouting (vgl. Tabelle 10-9), welches bei innovativen und Technologie-intensiven Beschaffungsumfängen durch die Methode des Lieferantenscoutings mittels systematischer Patentrecherche zu erweitern ist. Diese Methode wurde eigens entwickelt und wird nachfolgend erläutert.

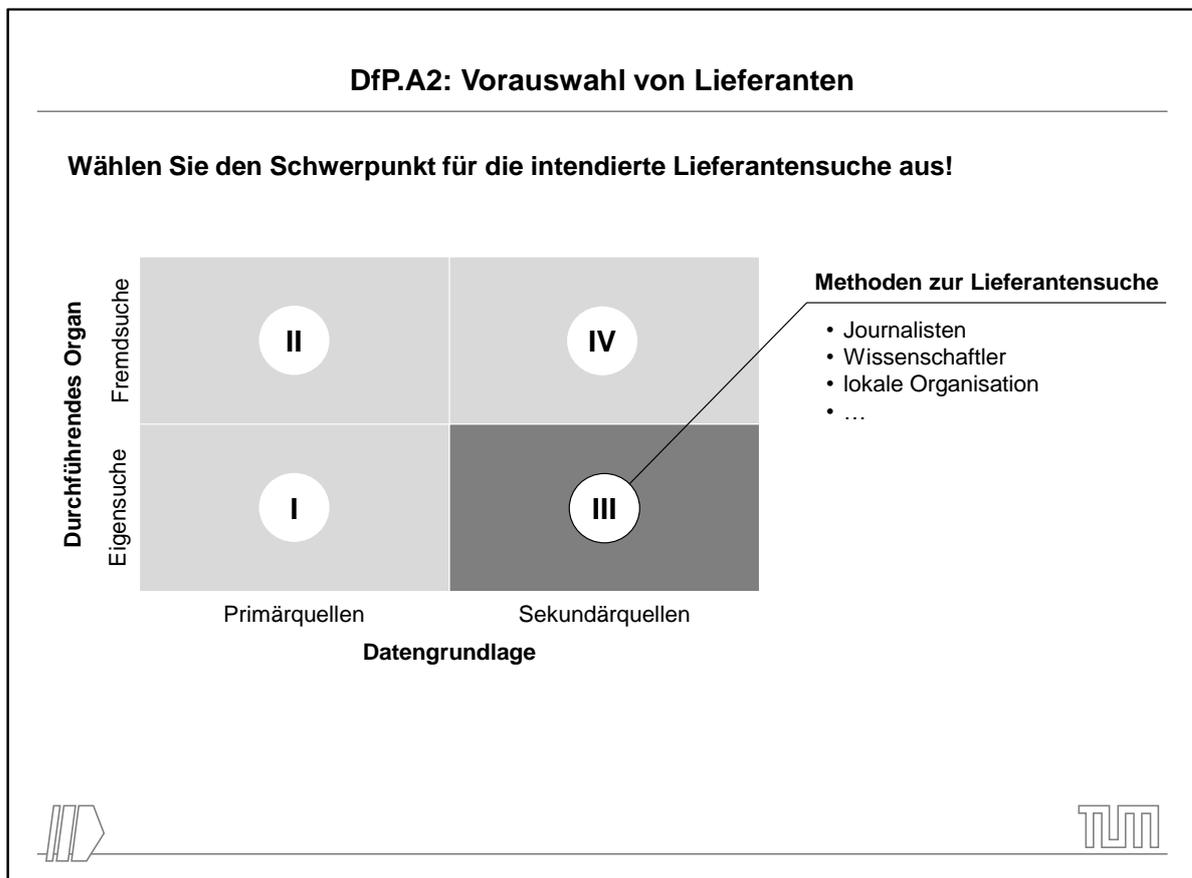


Abbildung 10-2: DfP.A2-Checkliste (Vorauswahl von Lieferanten)

### DfP.A3: Eingrenzung der Lieferantenbasis

In Abbildung 10-3 wird die DfP.A3-Checkliste zur Eingrenzung der Lieferantenbasis für den begleitenden Anwendungsfall (Kapitel 6.1.3) dargestellt. Mit dieser Aktivität wird die Vorauswahl von Lieferanten (DfP.A3) auf eine performante Lieferantenbasis eingegrenzt.

Im begleitenden Anwendungsbeispiel wird ein Entwicklungsprojekt für ein Derivat einer bestehenden Produktfamilie fokussiert, bei dem die systematische Ausschöpfung verbleibender Potenziale der bestehenden Lieferantenbasis realisiert werden soll. Demnach existiert für das Flugzeugtriebwerk bereits eine performante Lieferantenbasis. Damit ist keine weitere Eingrenzung der Lieferantenbasis für das begleitende Anwendungsbeispiel erforderlich, weshalb in Abbildung 10-3 die generische DfP.A3-Checkliste dargestellt ist, welche in der industriellen Praxis die Verankerung dieser Aktivität in die Geschäftsprozesse erlaubt. Für die Eingrenzung ziehen die Methoden einen Satz an Lieferanten- und Beziehungsmerkmalen heran, welche stets an den spezifischen Anwendungsfall zu adaptieren sind. Die Merkmale werden in der DfP.A3-Checkliste auf der Basis von Tabelle 10-10 auf der Ebene von Oberbegriffen dargestellt. Mit der Eignungsbewertung der Lieferanten wird über ratioskalierte, nominalskalierte und ordinalskalierte Vergleichsmethoden eine Reihung über Lieferantengruppen gebildet. Auch die Auswahl der Vergleichsmethode wird über die DfP.A3-Checkliste (Abbildung 10-3) unterstützt.

**DfP.A3: Eingrenzung der Lieferantenbasis**

---

**Wählen Sie die Merkmale für die Eingrenzung der Lieferantenbasis aus!**

<u>Lieferantenmerkmale:</u>	<u>Beziehungsmerkmale:</u>
• Unternehmensgröße (Umsatz & Mitarbeiterzahl)	• Bezogene Produkte
• Kapazität und deren Auslastung	• Aktuelles und potentielles Einkaufsvolumen (Umsatz des Lieferanten)
• Angebotene Produkte und Zusatzleistungen	• Regelmäßigkeit des Bezugs
• Unternehmenssitz und Standorte der Lieferwerke	• Status zur Entwicklungsstufe und Vertrag
• Stellung im Beschaffungskanal	• Preise der bezogenen Beschaffungsobjekte im Marktvergleich und Preisänderungsrate
• Leistungsfähigkeit (Qualität, Logistik, ...)	• Leistung und Leistungsänderung (Qualität, Service, ...)
• Flexibilität und Reaktionsfähigkeit	• Kooperations- und Leistungsbereitschaft
• Zugehörigkeit zum eigenen Unternehmen	

**Wählen Sie eine Skalierung für die Vergleichsmethoden aus!**

• Ratioskalierte Vergleichsmethode	<input checked="" type="checkbox"/>
• Nominalskalierte Vergleichsmethode	<input type="checkbox"/>
• Ordinalskalierte Vergleichsmethode	<input type="checkbox"/>




Abbildung 10-3: DfP.A3-Checkliste (Eingrenzung der Lieferantenbasis)

## DfP.B1: Checkliste zur Strukturierung vorläufiger Produktarchitekturen

In Abbildung 10-4 wird die DfP.B1-Checkliste zur Strukturierung der vorläufigen Produktarchitektur für das begleitende Anwendungsbeispiel (Flugzeugtriebwerk) aus Kapitel 6.1.3 dargestellt. Mit dieser Aktivität wird in der Konzeptentwicklung die (vorläufige) Struktur der Produktarchitektur definiert.

Die DfP.B1-Checkliste (Abbildung 10-4) unterstützt die Auswahl einer Methode zur Modularisierung und die Bewertung der Strukturierung. Bei dem Entwicklungsprojekt zum begleitenden Anwendungsbeispiel wird sowohl eine physische als auch funktionale Unabhängigkeit intendiert. Als Methode zur Modularisierung weist Abbildung 10-4 das Clusterverfahren für Matrixmethoden (Kapitel 6.4.2) aus, welches zwei Strukturmetriken für die Bewertung heranzieht. Kapitel 6.4.2 stellt die Anwendung des Clusterverfahrens für das begleitende Anwendungsbeispiel im Detail dar, weshalb für weitere Ausführungen auf Kapitel 6.4.2 verwiesen wird.

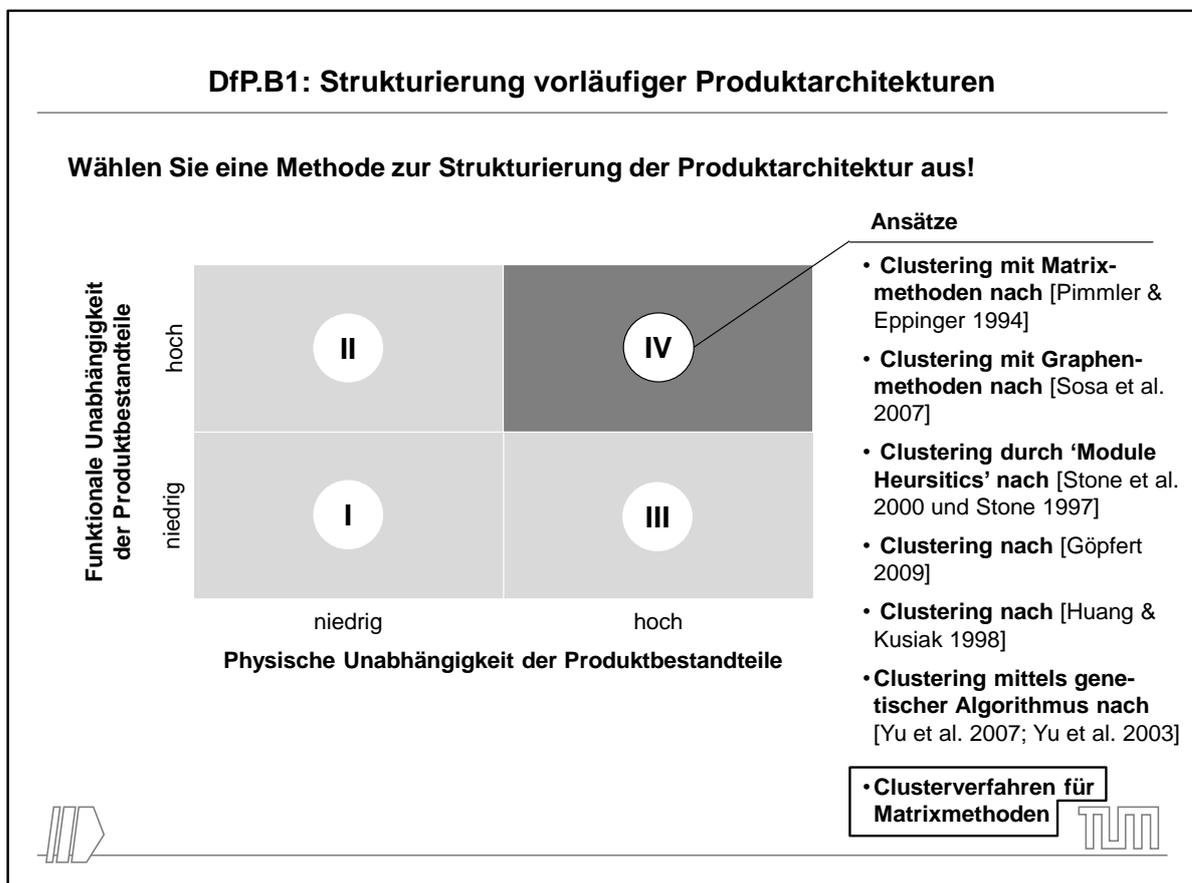


Abbildung 10-4: DfP.B1-Checkliste (Strukturierung vorläufiger Produktarchitekturen)

## DfP.B2: Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung

Die DfP.B2-Checkliste zur Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung wird in Abbildung 10-5 für das begleitende Anwendungsbeispiel aus Kapitel 6.1.3 dargestellt.

Mit dieser Aktivität werden die einzelnen Komponenten des Flugzeugtriebwerks (sieben) über die DfP.B2-Checkliste hinsichtlich der Treiber für Standardisierung und Simplifizierung hinterfragt. Diese Treiber sind Tabelle 10-7 in Ergänzung zu methodischen Grundlagen (Kapitel 0) zu entnehmen. In Tabelle 6-3 wird das Ergebnis dieser Abfrage mittels der DfP.B2-Checkliste für die sieben physischen Bestandteile des Flugzeugtriebwerks dargestellt. Demnach werden das Gehäuse (K1), der Einlauf (K2), die Schubdüse (K6) und die Welle (K7) aufgrund des übergreifenden Einsatzes in der gesamten Produktfamilie standardisiert. Ferner wird für die Brennkammer eine Reduzierung der Teileanzahl vorgenommen. Die Umsetzung der Simplifizierung für die einzelne Komponente Brennkammer (K5) hat jedoch keinen Einfluss auf Strukturattribute der Produktarchitektur und ist daher zu vernachlässigen. In Abbildung 10-5 wird die DfP.B2-Checkliste für die Komponente K1 (Gehäuse) dargestellt.

<b>DfP.B2: Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung</b>			
<b>Für welche Komponenten sind Standardisierung und Simplifizierung umzusetzen?</b>			
<b>Gestaltungsrichtlinien</b>	<b>Abkürzung</b>	<b>Standardisierung</b>	<b>Simplifizierung</b>
Mass Customization	DFMaCu	Komponente K7	-
Maintainability	DFMt	Komponente K2 & Komponente K6	-
Serviceability	DFSv	-	-
Assembly	DFA	-	-
Manufacturing	DFM	Komponente K1	-
Logistics	DFL	-	-
Procurement	DFP	-	Komponente K4

**Abbildung 10-5: DfP.B2-Checkliste (Umsetzung von Standardisierung und Simplifizierung )**

### DfP.B3: Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien

Mit der DfP.B3-Checkliste (Abbildung 10-6) wird die Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien für das begleitende Anwendungsbeispiel (Kapitel 6.1.3) dargestellt.

Diese Aktivität fragt die sieben Komponenten des Flugzeugtriebwerks hinsichtlich der Treiber für Gleich- und Wiederholteilstrategien ab, welche aus den Methoden zur Modularisierung (Tabelle 10-5) erwachsen. Diese Methoden lassen sich hinsichtlich der drei Kriterien Markt und Kunden, Produktfamilie und individuelle Produktvariante unterscheiden. Aus der Abfrage ergeben sich für das Flugzeugtriebwerk die bereits aufgeführten Komponenten Gehäuse (K1), Einlauf (K2), Schubdüse (K6) und Welle (K7) eine Wiederholteilstrategie. Eine Gleichteilstrategie wird auf dem dargestellten Abstraktionsgrad des begleitenden Anwendungsbeispiels nicht ersichtlich, obschon bei einzelnen Komponenten diese Strategie durchgeführt wird. So werden bei dem Verdichter (K3) und der Turbine (K5) einzelne Bliske<sup>63</sup> mehrfach verwendet. In dem Gehäuse (K1) kommen hingegen dieselben Halter und Nieten zum Einsatz.

DfP.B3: Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien		
Für welche Komponenten sind Gleich- und Wiederholteilstrategien umzusetzen?		
Beschaffungsumfang		Umsetzung von Strategien
Gehäuse	K1	Wiederholteilstrategie
Einlauf	K2	Wiederholteilstrategie
Verdichter	K3	Gleichteilstrategie
Brennkammer	K4	-
Turbine	K5	Gleichteilstrategie
Schubdüse	K6	Wiederholteilstrategie
Welle	K7	Wiederholteilstrategie

**Verfahren zur Umsetzung der Strategien**

- **Modular Function Deployment** nach [Erixon 1998]
- **Conceptual Development of Modular Products** nach [Stake 2000]
- **Managing Complexity by Product Modularisation** nach [Blackenfelt 2001]
- **Produktstrukturierung mechatronischer Systeme** nach [STEFFEN 2007]
- **Structural Complexity Management** nach [Lindemann et al. 2009] und [Daniilidis et al. 2010]
- **Modular Product Architecture** nach [Dahmus et al. 2001]

Abbildung 10-6: DfP.B3-Checkliste (Umsetzung von Gleich- und Wiederholteilstrategien)

<sup>63</sup> Blisk ist die Abkürzung für „Blade Integrated Disk“ und beschreibt eine Bauform von Turbinenschaufeln.

## DfP.B4: Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten

Im vierten Schritt der Konzeptentwicklung erfolgt die Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit des Lieferanten. Für diese Aktivität wird über die DfP.B4-Checkliste die Auswahl der Bewertungskriterien (inkl. Gewichtung) und das korrespondierende Bewertungsverfahren unterstützt und in Abbildung 10-7 für das begleitende Anwendungsbeispiel dargestellt.

Die Grundlage für die DfP.B4-Checkliste bildet der Überblick über Bewertungskriterien in Tabelle 10-11 und die Bewertungsverfahren aus Tabelle 10-12. Für das Flugzeugtriebwerk wird ein Entwicklungsprojekt für ein Derivat einer bestehenden Produktfamilie fokussiert, bei dem die Reduzierung der Produktkosten durch die systematische Ausschöpfung verbleibender Potenziale der bestehenden Lieferantenbasis realisiert werden soll.

Demnach wird für das begleitende Anwendungsbeispiel das Kriterium der Entgeltleistung aus Tabelle 10-11 fokussiert, welches mit der Methode des Kostenvergleichs nach JANKER [2008, S. 107] harmonisiert. Abbildung 10-7 stellt folglich die DfP.B4-Checkliste für den Lieferanten L5 der Komponente K5 (Turbine) dar.

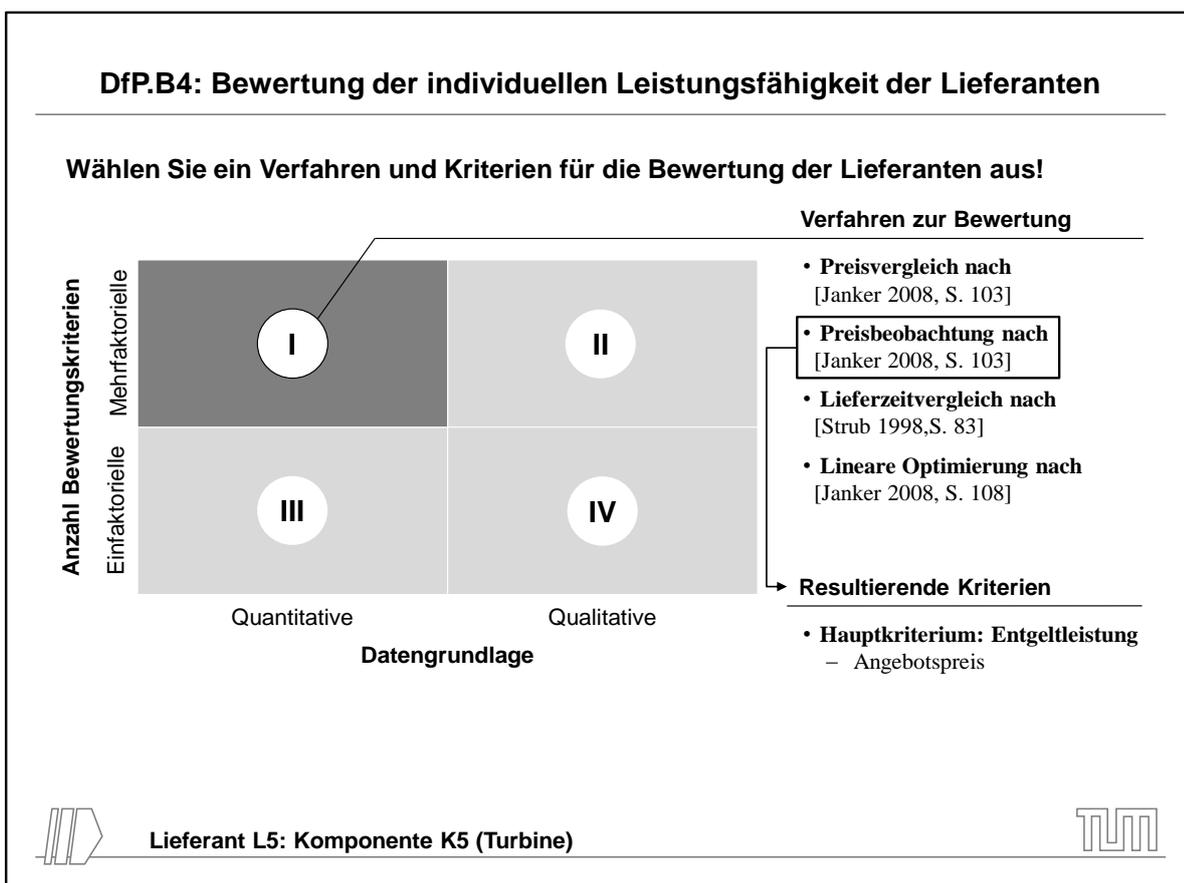


Abbildung 10-7: DfP.B4-Checkliste (Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten)

### DfP.B5: Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks

Mit dieser Aktivität wird die Bewertung der individuellen Leistungsfähigkeit der Lieferanten, um deren Bewertung im Kollektiv des Liefernetzwerks ergänzt. Abbildung 10-8 stellt diese ergänzende Bewertung am begleitenden Anwendungsbeispiel aus Kapitel 6.1.3 dar.

Für diese Bewertung besteht keine ausreichende methodische Grundlage in der aktuellen Fachliteratur (Tabelle 10-12), obgleich die Zusammensetzung und Struktur des Liefernetzwerks einen merklichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Netzwerks ausübt [ROSEIRA ET AL. 2010]. Diese Bewertung wird in der vorliegenden Dissertation mit einer eigens entwickelten Methode unterstützt.

In der DfP.B5-Checkliste (Abbildung 10-8) wird die Methode dargestellt und das weitere Vorgehen in Form der Normstrategien illustriert. Die Ergebnisse stützen sich dabei auf die akquirierten Informationen aus dem Anwendungsbeispiel des Flugzeugtriebwerks zu funktionalen und geometrischen Abhängigkeiten zwischen den Komponenten (Abbildung 6-5).

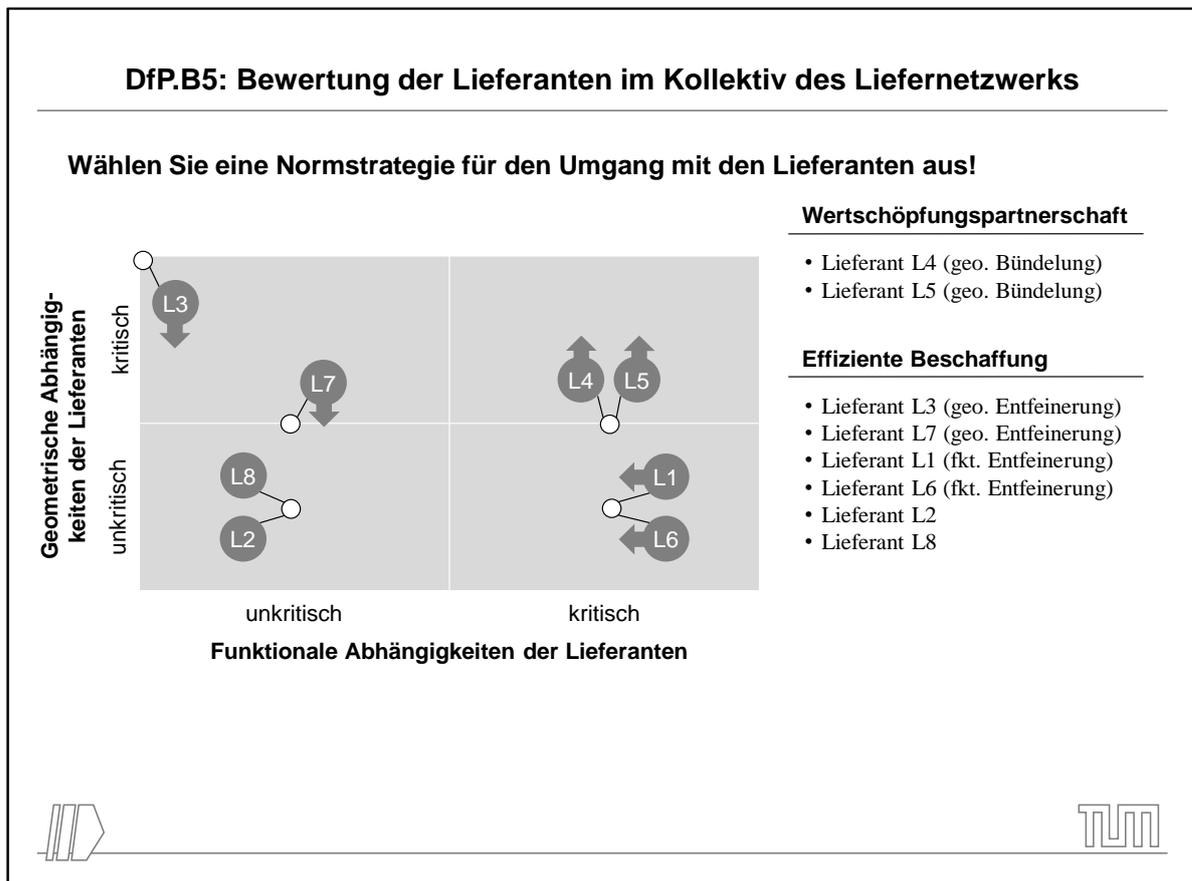


Abbildung 10-8: DfP.B5-Checkliste (Bewertung der Lieferanten im Kollektiv des Liefernetzwerks)

## DfP.B6: Umsetzung von Beschaffungsstrategien

Die DfP.B6-Checkliste zur Umsetzung von Beschaffungsstrategien wird in Abbildung 10-9 für das begleitende Anwendungsbeispiel aus Kapitel 6.1.3 dargestellt.

Diese Aktivität fragt Strategien zur Beschaffung der Komponenten aus den verfügbaren Beschaffungsquellen in der Lieferantenbasis über die DfP.B6-Checkliste ab. Mit diesen Strategien sind charakteristische Eigenschaften assoziiert,<sup>64</sup> welche über die Abfrage mit der DfP.B6-Checkliste abgesichert werden. In Tabelle 6-2 wird das Ergebnis dieser Abfrage für das Flugzeugtriebwerk dargestellt. Demnach kommt bei den ersten vier Komponenten (K1 bis K4) Domestic Sourcing zum Einsatz, während bei den letzten drei Komponenten (K5 bis K7) eine globale Beschaffungsstrategie genutzt wird. Um den gezielten Wettbewerb zwischen den Lieferanten des Flugzeugtriebwerks zu forcieren, wird für die Brennkammer (K4) Dual Sourcing betrieben. Bei den weiteren Komponenten wird auf eine einzelne Beschaffungsquelle zurückgegriffen. Modular Sourcing kann aufgrund des erforderlichen Kompetenzportfolios lediglich von den Lieferanten für Einlauf (K2) und Turbine (K5) betrieben werden.

DfP.B6: Umsetzung von Beschaffungsstrategien						
Beschaffungsumfang		Beschaffungsquelle		Beschaffungskonzepte		
				Areal	Lieferanten	Objekt
Gehäuse	K1	Lieferant A	L3	Domestic	Single	Component
Einlauf	K2	Lieferant A	L2	Domestic	Single	Modular
Verdichter	K3	Lieferant A	L4	Domestic	Sole	Component
Brennkammer	K4	Lieferant A	L1	Domestic	Dual	Component
		Lieferant A	L6	Domestic		Component
Turbine	K5	Lieferant A	L5	Global	Sole	Modular
Schubdüse	K6	Lieferant A	L8	Global	Single	Component
Welle	K7	Lieferant A	L7	Global	Single	Component

Eigenschaften des Beschaffungskonzepts	
• Abstimmungsaufwand (mittel)	• Frachtkosten (hoch)
• Anzahl an Schnittstellen (hoch)	• Abhängigkeitsverhältnis (mittel)
• Konzentration auf Kernkompetenzen (gering)	• Innovationspotential (hoch)
• Beschaffungskosten (hoch)	• Wissenstransfer (mittel)

Abbildung 10-9: DfP.B6-Checkliste (Umsetzung von Beschaffungsstrategien)

<sup>64</sup> Ein Überblick über die Eigenschaften der Beschaffungsstrategien ist den Tabelle 10-13 (Lieferantenkonzept), Tabelle 10-14 (Objektkonzept) und Tabelle 10-15 (Arealkonzept) zu entnehmen.

## Methoden für die Informationsakquisition

In Tabelle 10-21 werden fünf grundlegende Methoden zur Informationsakquisition erläutert und hinsichtlich der Kriterien Fehlerfreiheit, Planungssicherheit und Aufwand für die Datenerhebung charakterisiert. Dabei setzt sich der Aufwand für die Datenerhebung aus der Vorbereitung (V), Durchführung (D) und Nachbereitung (N) zusammen. Die Ausführungen ergeben sich in Anlehnung an LINDEMANN ET AL. [2009, S. 79ff.].

**Tabelle 10-21: Methoden zur Informationsakquisition**

	Beschreibung	Fehlerfreiheit	Datenerhebung (V D N)	Planungssicherheit
<b>Interview und Workshop</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensive Interaktion mit Gesprächspartnern</li> <li>• Erhebung von implizitem Expertenwissen</li> <li>• Gemeinsame Erarbeitung von Informationen (Modellierer und Wissensträger)</li> <li>• Einbindung verschiedener Gesprächspartner (keine Begrenzung der Sichtweise)</li> </ul>	hoch	hoch	niedrig
			hoch	
			hoch	
<b>Fragebogen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Interaktion mit Gesprächspartnern</li> <li>• Erhebung von explizitem Expertenwissen</li> <li>• Getrennte Erarbeitung von Informationen (Modellierer und Wissensträger)</li> <li>• Einbindung verschiedener Gesprächspartner (keine Begrenzung der Sichtweise)</li> </ul>	mittel	hoch	niedrig
			gering	
			hoch	
<b>Einzelarbeit und Teamarbeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Keine) Interaktion mit Gesprächspartnern</li> <li>• Erhebung von implizitem Expertenwissen</li> <li>• Koexistente Erarbeitung von Informationen (Modellierer ist Wissensträger)</li> <li>• Einbindung verschiedener Gesprächspartner (Begrenzung der Sichtweise)</li> </ul>	gering	mittel	gering
			mittel	
			mittel	
<b>Modelltransformation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Interaktion mit Gesprächspartnern</li> <li>• Erhebung von explizitem Expertenwissen</li> <li>• Getrennte Erarbeitung von Informationen (Modellierer unabhängig von Wissensträger)</li> <li>• Einbindung verschiedener Gesprächspartner (Begrenzung der Sichtweise)</li> </ul>	mittel	gering	mittel
			gering	
			mittel	
<b>Data Mining</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Interaktion mit Gesprächspartnern</li> <li>• Erhebung von Erfahrungswissen</li> <li>• Getrennte Erarbeitung von Informationen (kein Wissensträger, nur Modellierer)</li> <li>• Keine Einbindung verschiedener Gesprächspartner (Begrenzung der Sichtweise)</li> </ul>	mittel	hoch	mittel
			gering	
			hoch	

### Erläuterung: Berechnung der Stirling-Zahl zweiter Art

Mit der Stirling-Zahl zweiter Art wird eine bestimmte Menge  $n$  in eine nichtleere disjunkte Teilmenge mit einer spezifischen Größe  $k$  aufgeteilt. Wird beispielsweise aus der Menge  $n=5$  eine Teilmenge  $k=4$  gezogen, ergeben sich zehn verschiedene Szenarios. Um die gesamte Anzahl an möglichen Szenarios für überlappende Cluster aus einer gegebenen Systemgröße ( $n$ ) zu erhalten, sind die Zeilensummen zu summieren. Damit ergeben sich für ein System mit fünf Elementen ( $n=5$ ) 52 verschiedene Szenarios. In Tabelle 10-22 wird die Anzahl an Szenarios exemplarisch für einzelne Werte für die Menge  $n$  und die Größe  $k$  dargestellt.

Tabelle 10-22: Berechnung der Stirling-Zahl zweiter Art

$n \setminus k$	1	2	3	4	5	$\Sigma$
1	1					1
2	1	1				2
3	1	3	1			4
4	1	7	6	1		15
5	1	15	25	10	1	51

### Transformation: Binäre Spaltenvektoren und dezimale Clustervektoren

In Tabelle 10-23 wird ein binärer Spaltenvektor eines Systems mit fünf Elementen ( $n = 5$ ) in einen dezimalen Clustervektor überführt.

Tabelle 10-23: Transformation – DSM-Repräsentation in binäre Spaltenvektoren

Binäre Spaltenvektoren	Dezimaler Clustervektor
$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}_2$	$\begin{pmatrix} 28 & 14 & 7 \end{pmatrix}_{10}$
$C_{01}, C_{07}, C_{14}$	

### Transformation: Binärer Spaltenvektor in dezimale Repräsentation

In Tabelle 10-24 wird die Transformation eines binären Spaltenvektors für eine einzelne Clusteralternative mit drei Clustern ( $C_{01}$ ,  $C_{07}$  und  $C_{14}$ ) in eine dezimale Repräsentation gezeigt. Der binäre Clustervektor für die einzelne Alternative setzt sich aus den drei binären Spaltenvektoren der Cluster ( $C_{01}$ ,  $C_{07}$  und  $C_{14}$ ) zusammen und besitzt folglich die Dimension  $5 \times 3$ . Mit der dezimalen Repräsentation werden die drei Cluster zusammengefasst, sodass der Vektor zur Repräsentation der einzelnen Clusteralternative im Dezimalsystem lediglich die Dimension  $1 \times 3$  hat.

**Tabelle 10-24: Transformation – Binärer Spaltenvektor in dezimale Repräsentation**

Cluster	Binärer Spaltenvektor	Berechnung der dezimalen Repräsentation	dezimale Repräsentation
$C_{01}$	$(11100)_2^T$	$1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$	$(28)_{10}$
$C_{07}$	$(01110)_2^T$	$0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$	$(14)_{10}$
$C_{14}$	$(00111)_2^T$	$0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$	$(7)_{10}$

### Transformation: Binärer Spaltenvektor in DSM-Repräsentation

In Tabelle 10-25 wird die Transformation eines binären Spaltenvektors für eine einzelne Clusteralternative mit drei Clustern ( $C_{01}$ ,  $C_{07}$  und  $C_{14}$ ) in eine DSM-Repräsentation gezeigt. Der binäre Clustervektor für die einzelne Alternative setzt sich aus den drei binären Spaltenvektoren der Cluster ( $C_{01}$ ,  $C_{07}$  und  $C_{14}$ ) zusammen. Mit der Anzahl der Elemente ( $n=5$ ) ergibt sich die Dimension der DSM zu  $5 \times 5$ .

**Tabelle 10-25: Transformation – Binärer Spaltenvektor in DSM-Repräsentation**

Binäre Spaltenvektoren	DSM-Repräsentation
$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}_2$	$\text{DSM} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$
$C_{01}, C_{07}, C_{14}$	

### 10.5 Ergänzung zur Evaluation des Lösungsansatzes

#### APL.B1: Berechnung der Funktionsbeziehung der Komponenten

In Abbildung 10-10 wird die Funktionsbeziehung der Komponenten in blockdiagonaler Form ( $DSM_{K-K, Funktion}$ ) auf Grundlage von Formel 6-5 berechnet. Zudem werden in Abbildung 10-10 die Funktionen hinter den Abhängigkeiten zwischen den Komponenten dargestellt.

DSM [K-K, Funktion]		Komponenten																	
		K1	K3	K4	K2	K5	K34	K14	K15	K16	K13	K18	K20	K22	K23	K24	K21	K6	K17
Komponente	K1	■																	
Komponente	K3		■																
Komponente	K4			■															
Komponente	K2				■														
Komponente	K5					■													
Komponente	K34						■												
Komponente	K14							■											
Komponente	K15								■										
Komponente	K16									■									
Komponente	K13										■								
Komponente	K18											■							
Komponente	K20												■						
Komponente	K22													■					
Komponente	K23														■				
Komponente	K24															■			
Komponente	K21																■		
Komponente	K6																	■	
Komponente	K17																		■

Abbildung 10-10: Funktionsbeziehung der Komponenten ( $DSM_{K-K, Funktion}$ )

#### APL.B1: Berechnung des Lösungsraums

Mit der Funktionsbeziehung der Komponenten (Abbildung 10-10) wird in Tabelle 10-26 der Lösungsraum an Szenarios für die Produktarchitektur für die Klassenlösungen berechnet.

Tabelle 10-26: Berechnung des Lösungsraums an Szenarios für die Produktarchitektur

$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 3$	$\Sigma 4$	$\Sigma 5$	$\Sigma 6$	$\Sigma 7$	$\Sigma 8$	$\Sigma 9$	$\Sigma 10$	$\Sigma 11$	$\Sigma 12$	
0	0	1	27	171	788	3.221	12.561	48.187	184.170	704.661	2.703.165	
$\Sigma 13$			$\Sigma 14$			$\Sigma 15$		$\Sigma 16$		$\Sigma 17$		$\Sigma 18$
10.399.351			40.115.052			155.115.629		601.078.109		2.333.603.499		9.075.132.086

### APL.B1: Repräsentation der Szenarios für die Produktarchitektur

Tabelle 10-27 stellt die acht relevanten Szenarios für die Produktarchitektur aus Tabelle 7-2 über ihre dezimale Repräsentation dar. Für die Berechnung dieser Repräsentation werden die Komponenten in ihrer numerischen Reihenfolge herangezogen.

**Tabelle 10-27: Dezimale Repräsentation der Szenarios für die Produktarchitektur**

	PA <sub>1,1</sub>	P <sub>2,1</sub>	PA <sub>2,2</sub>	PA <sub>2,3</sub>	PA <sub>3,1</sub>	PA <sub>3,2</sub>	PA <sub>3,3</sub>	PA <sub>3,4</sub>
<b>Cluster 1</b>	261.087	132.063	132.063	252.895	131.103	131.103	132.063	132.063
<b>Cluster 2</b>		129.088	260.160	126.976	132.050	132.050	120.896	251.968
<b>Cluster 3</b>					129.088	260.160	126.976	126.976

### APL.B2: Berechnung der Lieferbeziehung der Lieferanten

Abbildung 10-11 zeigt die Lieferbeziehung der Lieferanten in blockdiagonaler Form ( $DSM_{F-F, Liefer}$ ). Bei der Fallstudie sind keine Informationen zu den Abhängigkeiten zwischen Funktionen und Lieferanten vorhanden, sodass auf die Berechnung über die Abhängigkeiten zwischen Komponenten und Lieferanten ( $DMM_{L-K, Liefer}$ ) sowie zwischen Funktionen und Komponenten ( $DMM_{K-F, Trafo}$ ) verzichtet wird. Formel 10-1 stellt diese Adaption dar.

$$DSM_{L-L, Liefer, X} = DMM_{L-F, Liefer, X} \times DSM_{F-F, Fluss} \times DSM_{L-F, Liefer, X}^T \quad \text{Formel 10-1}$$

Zur Vereinfachung wird die DSM symmetrisch dargestellt, obgleich durch die gerichteten Relationen der  $DSM_{F-F, Fluss}$  auch gerichtete Relationen in Abbildung 10-11 enthalten sind.

DSM [L-L, Liefer]		Lieferanten															
		L2	L4	L5	L3	L6	L12	L11	L13	L15	L14	L20	L7				
Lieferanten	Lieferant A	L2															
	Lieferant C	L4															
	Lieferant D	L5															
	Lieferant B	L3															
	Lieferant E	L6															
	Lieferant H	L12															
	Lieferant G	L11															
	Lieferant I	L13															
	Lieferant K	L15															
	Lieferant J	L14															
	Lieferant L	L20															
	Lieferant F	L7															

**Abbildung 10-11: Lieferbeziehung der Lieferanten ( $DSM_{L-L, Liefer}$ )**

### APL.B2: Repräsentation der Szenarios für das Liefernetzwerk

Tabelle 10-28 stellt die zehn Szenarios für die Produktarchitektur aus Tabelle 7-2 über ihre dezimale Repräsentation dar. Für die Berechnung dieser Repräsentation werden die Komponenten in ihrer numerischen Reihenfolge herangezogen.

**Tabelle 10-28: Dezimale Repräsentation der Szenarios für das Liefernetzwerk**

Szenarios	LN <sub>1,1</sub>	LN <sub>2,1</sub>	LN <sub>2,2</sub>	LN <sub>3,1</sub>	LN <sub>3,2</sub>	LN <sub>3,3</sub>	LN <sub>3,4</sub>
Cluster 1	262.143	131.551	131.551	131.551	131.551	131.551	131.551
Cluster 2		262.098	262.130	253.906	253.906	253.938	253.938
Cluster 3				126.976	130.560	126.976	130.560

### APL.C: Berechnung des Konformitätsindex für die Lösungspaarungen

In Tabelle 10-29 wird für die 23 Lösungsalternativen der Konformitätsindex dargestellt. Für Klassenlösungen ergeben sich lediglich auf der Diagonalen Lösungsalternativen.

**Tabelle 10-29: Berechnung des Konformitätsindex für die Lösungspaarungen**

Angaben in [%]	PA <sub>1,1</sub>	P <sub>2,1</sub>	PA <sub>2,2</sub>	PA <sub>2,3</sub>	PA <sub>3,1</sub>	PA <sub>3,2</sub>	PA <sub>3,3</sub>	PA <sub>3,4</sub>	CP	SP
LN <sub>1,1</sub>	46,9								100,0	0,0
LN <sub>2,1</sub>		27,4	33,9	2,7					15,2	1,9
LN <sub>2,2</sub>		20,2	25,8	0,1					41,3	0,0
LN <sub>3,1</sub>					34,5	31,6	30,4	37,4	0,0	3,8
LN <sub>3,2</sub>					36,4	33,5	25,0	31,4	0,0	1,9
LN <sub>3,3</sub>					29,6	27,2	27,7	31,4	23,9	1,9
LN <sub>3,4</sub>					31,6	29,2	22,8	26,5	23,9	0,0
CP	67,7	15,1	16,1	55,9	2,2	3,2	12,9	12,9		
SP	5,0	13,3	5,0	5,0	13,3	5,0	13,3	5,0		

**CVM: Clusterverfahren aus der Fachliteratur**

In Tabelle 10-30 werden die vier korrespondierenden Clusterverfahren in Anlehnung an EVERITT ET AL. [2011] und BERKHIN [2006] zusammenfassend dargestellt und kurz erläutert.

**Tabelle 10-30: Überblick über Clusterverfahren aus der Fachliteratur**

<b>Verfahren</b>	<b>Typ</b>	<b>Beschreibung</b>
Centroid	Hierarchisch	Minimierung der quadratischen, euklidischen Distanz zwischen gemittelten Vektoren (Centroid)
Median	Hierarchisch	Minimierung der quadratischen, euklidischen Distanz zwischen gewichteten Schwerpunkten (Median)
Ward	Hierarchisch	Maximierung der Quadratsumme in einem Cluster über der Summe aller Variablen (Ward)
k-means	Partitionierend	Minimierung der Summe aller Unterschiede zwischen einem Punkt und seinem Schwerpunkt



# 11. 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
- 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 Stirnzahnrädern. 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 TROPSCUH, 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 KITTSTEINER, 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 Krafteinleitungsstellenkonstruktion 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.:  
Anforderungskklärung 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 NIBL, 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 Komponentenentwicklung 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 MICHAILIDOU, 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  
TU München: 2016. (als Dissertation eingereicht)
- D155 PLÖTNER, M.:  
Integriertes Vorgehen zur selbstindividualisierungsgerechten Produktstrukturplanung  
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)
- 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  
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)

- D158 MÜNZBERG, C. H. W.:  
Krisen in der Produktentwicklung und ihre operative Bewältigung  
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)
- D159 HEIMBERGER, N.:  
Strukturbasierte Koordinationsplanung in komplexen Entwicklungsprojekten  
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)
- D160 LANG, A.:  
Im Spannungsfeld zwischen Risiken und Chancen – Eine Methode zur Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Öffnung der Produktentwicklung  
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)
- D161 ALLAVERDI, D.:  
Systematic identification of Flexible Design Opportunities in offshore drilling systems  
TU München: 2017. (als Dissertation eingereicht)