

Hamburger Schriftenreihe
Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Technische Universität Hamburg-Harburg
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Krause
Denickestraße 17
21073 Hamburg

Max Brosch

Eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im
Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Impressum

TuTech Verlag

TuTech Innovation GmbH
Harburger Schloßstr. 6-12
21079 Hamburg

Tel: +49 40 76629-0

Fax: +49 40 76629-6129

E-Mail: verlag@tutech.de

www.tutechverlag.de

Nachdruck, Vervielfältigung, Speicherung oder Übertragung in
elektronische, optische, chemische oder mechanische Datenhaltungs- oder
-verwertungssysteme sind – auch auszugsweise – ohne ausdrückliche
schriftliche Genehmigung von TuTech Innovation GmbH verboten.

Die Verwertung von Informationen aus der Hamburger Schriftenreihe
Produktentwicklung und Konstruktionstechnik zum Zweck der gewerblichen
Informationsvermittlung ist nicht zulässig.

Alle Rechte vorbehalten.

© TuTech Innovation GmbH

Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
ISSN 1868-6885

1. Auflage Dezember 2014

ISBN 978-3-941492-82-0

Eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von
Max Brosch

aus
Aachen

2014

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause

2. Gutachter: Prof. Dr. Thorsten Blecker

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Oktober 2014

Vorwort

Diese Dissertation entstand während fünf spannender und lehrreicher Jahre am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der TU Hamburg-Harburg. Ohne die fachliche und persönliche Unterstützung meiner Kollegen, meiner Freunde und meiner Familie wäre diese Arbeit nicht erfolgreich fertig gestellt worden. Deshalb möchte ich all jenen hier an dieser Stelle danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause für das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Betreuung der Arbeit. Er hat mich nicht nur an das Thema des Varianten- und Komplexitätsmanagements herangeführt, sondern diese Dissertation auch durch grundlegende Impulse geprägt.

Außerdem danke ich Herrn Prof. Dr. Thorsten Blecker sehr herzlich für die Unterstützung als Zweitgutachter. Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitz.

Die Validierung der Methode durch die erfolgreiche Anwendung in der industriellen Praxis ist von zentraler Bedeutung für diese Arbeit. Deshalb danke ich den Mitarbeitern des Unternehmens der Sicherheitstechnik für das Vertrauen und die freundliche und offene Zusammenarbeit.

Meinen Kollegen und Freunden am Institut möchte ich nicht nur für die fachliche, sondern auch die moralische Unterstützung danken. Besonders hervorzuheben ist hier Gregor Beckmann, der mir sowohl in fachlichen Diskussionen, als auch bei der Anwendung der Methode in der industriellen Praxis zur Seite stand. Des Weiteren danke ich Dr. Jens Schmidt, Dr. Thomas Kipp, Dr. Christoph Blees, Niklas Halfmann und Sandra Eilmus für die fachlichen Diskussionen und die Unterstützung, sowie allen anderen Kollegen für das angenehme Arbeitsklima.

Abschließend gilt mein Dank meiner Familie, die mich nicht nur während der Erstellung dieser Arbeit unterstützt und angespornt haben, und die oft auf meine Anwesenheit verzichten mussten.

Max Brosch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung.....	2
1.2	Aufgabenstellung.....	4
2	Begriffliche Grundlagen	7
2.1	Allgemeine Begriffe	7
2.2	Komplexität.....	8
2.2.1	Grundlagen der Komplexität	8
2.2.2	Einteilung in vier verschiedenen Perspektiven	10
2.2.3	Produktvarianteninduzierte Komplexität.....	12
2.3	Handlungsfelder des Komplexitätsmanagements.....	13
2.3.1	Transparenz schaffen	14
2.3.2	Supply Chain Management	21
2.3.3	Anforderungsmanagement	25
2.3.4	Variantenmanagement	27
3	Problemanalyse.....	33
3.1	Problembeschreibung.....	33
3.1.1	Aus Sicht der industriellen Situation anhand eines Beispiels	33
3.1.2	Aus Sicht der industriellen Praxis anhand einer Expertenbefragung	35
3.1.3	Aus Sicht des Stands der Wissenschaft	37
3.2	Anforderungen an eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität	40
4	Stand der Wissenschaft	43
4.1	Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien	43
4.2	Komplexitätsmanagement	46
4.2.1	Reduce Supply Chain Complexity nach Hoole.....	47
4.2.2	Product Variety and Manufacturing Complexity in Assembly Systems and Supply Chains nach Hu	49
4.2.3	Komplexitäts- und Risikomanagement als Methodenbausteine des Supply Chain Managements nach Kersten.....	50
4.2.4	Die Frage der optimalen Komplexität in Supply-Chains nach Klaus	51
4.2.5	Design for Supply Chain Management nach Lee.....	52
4.2.6	Produktportfoliooptimierung in Transportnetzwerken nach Huch	54
4.2.7	Ganzheitliches Komplexitätsmanagement nach Kirchhof	54

4.2.8	Produktkomplexität managen nach Schuh.....	55
4.2.9	Komplexitätsmanagement nach Wildemann	57
4.3	Komplexitätsbewertung.....	59
4.3.1	Komplexitätsbewertung mithilfe der Graphentheorie.....	60
4.3.2	Komplexitätsbewertung über die Entropie	61
4.3.3	Komplexitätsbewertung über die Prozessbetrachtung	62
4.3.4	Komplexitätsbewertung über die Kostenbetrachtung	63
4.4	Forschungsbedarf.....	65
4.4.1	Aus Sicht des Komplexitätsmanagements.....	66
4.4.2	Aus Sicht der Komplexitätsbewertung	70
4.4.3	Zusammenfassung	71
5	Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität	73
5.1	Einführung eines erläuternden Beispiels	77
5.2	DfVC zur Identifikation strategischer Handlungsfelder	79
5.2.1	Erfassung der Produktvielfalt und der Value Chain.....	80
5.2.2	Erfassung der produktvarianteninduzierten Komplexität und ihrer Treiber	84
5.2.3	Priorisierung der Komplexitätstreiber	94
5.2.4	Zuordnung der Komplexitätstreiber zu Handlungsfeldern.....	99
5.3	DfVC zur Unterstützung der Produktentstehung.....	102
5.3.1	Erfassung der geplanten Produktvielfalt und der Value Chain	103
5.3.2	Erfassung der produktvarianteninduzierten Komplexität und ihrer Treiber	105
5.3.3	Darstellen von Alternativen	106
5.3.4	Verschiebung des Variantenentstehungspunktes.....	108
5.3.5	Bewertung der produktvarianteninduzierten Komplexität.....	111
6	Validierung der Methode.....	121
6.1	Formulierung der Prüfungshypothesen.....	122
6.2	Methodenblock I – Identifikation strategischer Handlungsfelder.....	122
6.2.1	Erfassung der Produktvielfalt und der Value Chain.....	123
6.2.2	Erfassung der produktvarianteninduzierten Komplexität und ihrer Treiber	128
6.2.3	Priorisierung der Komplexitätstreiber	131
6.2.4	Zuordnung der Komplexitätstreiber zu Handlungsfeldern.....	134

6.3	Methodenblock II –Unterstützung der Produktentstehung.....	135
6.3.1	Erfassung der geplanten Produktvielfalt und der Value Chain	135
6.3.2	Darstellen von Alternativen	139
6.3.3	Verschiebung des Variantenentstehungspunktes	140
6.3.4	Bewerten der produktvarianteninduzierten Komplexität	143
6.4	Auswertung der Fallstudien.....	145
7	Erweiterung des Integrierten PKT-Ansatz	149
8	Zusammenfassung und Ausblick	153
Anhang	155
A.	Eigenschaften komplexer Systeme.....	155
B.	Unternehmensbefragung	156
C.	Leitfaden zur Erfassung der produktvarianteninduzierten Komplexität.....	170
D.	Erweiterte Vielfaltsbäume der Mehrgasmessgeräte-Produktfamilie	172
E.	Bewertungsspinnennetz.....	180
Literatur	183

Abkürzungen

CTO	Customize To Order
DfVC	Design for Value Chain
eEPK	erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERP System	Enterprise-Resource-Planing System
ETO	Engineer To Order
HP	Hewlett Packard
Integrierter PKT-Ansatz	Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien
M	arithmetischer Mittelwert
MIG	Module Interface Graph
MTO	Make To Order
MTS	Make To Stock
NAFTA	Nordamerikanisches Freihandelsabkommen (North American Free Trade Agreement)
piK	produktvarianteninduzierte Komplexität
PKT	Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
PLM Systeme	Product Lifecycle Management Systeme
S	maximale Abweichung
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SCOR	Supply Chain Operations Model
TUHH	Technische Universität Hamburg-Harburg
VEP	Variantenentstehungspunkt
VMEA	Variant Mode and Effects Analysis

1 Einleitung

Entwicklungstrends, wie die Globalisierung des Wettbewerbs, dynamische Anforderungen regulatorischer, markt-, länder- und kundenspezifischer Art und kürzere Produktlebenszyklen, stellen Unternehmen vor neue, sich ständig ändernde Herausforderungen. Sie werden veranlasst, ihre externe, vom Kunden wahrgenommene Produktvielfalt, aus folgenden Gründen zu erhöhen [Abd08]:

- Der Markt zwingt Unternehmen neue Produktvarianten einzuführen, welche national beziehungsweise regional unterschiedlichen Vorschriften und Anforderungen genügen müssen.
- Der Kunde nutzt seine Macht und übt Druck auf die Hersteller aus, ihr Angebot weiter zu differenzieren.
- Die hohe Marktsättigung treibt Unternehmen, sich für Nischenmärkte zu öffnen und damit kleinere Kundengruppen mit speziellen Wünschen zu bedienen.
- Der Kunde wünscht eine stärkere Individualisierung und eine größere Auswahl an neuen beziehungsweise zusätzlichen Produktfunktionen.

Diese starke Erhöhung der Produktvielfalt verringert den Verkauf der Standardprodukte und verlagert ihn hin zu seltener geforderten Varianten, den Exoten. Bild 1.1 zeigt die dadurch entstehende Verflachung der Häufigkeitsverteilung. Problematisch ist hierbei die fehlende Transparenz der Kosten, die durch Effizienzverluste infolge der Produktausweitung anfallen. Die Exoten des Produktspektrums werden typischerweise zu Preisen unterhalb der tatsächlich verursachten Kosten abgesetzt. Es kommt daher zu einer Quersubvention zulasten der Standardprodukte [Sch05].

Die Kosten der Produktvielfalt weisen drei Merkmale auf

- funktionsübergreifende Wirkung,
- zeitverzögertes Auftreten und
- asymmetrisches dynamisches Verhalten.

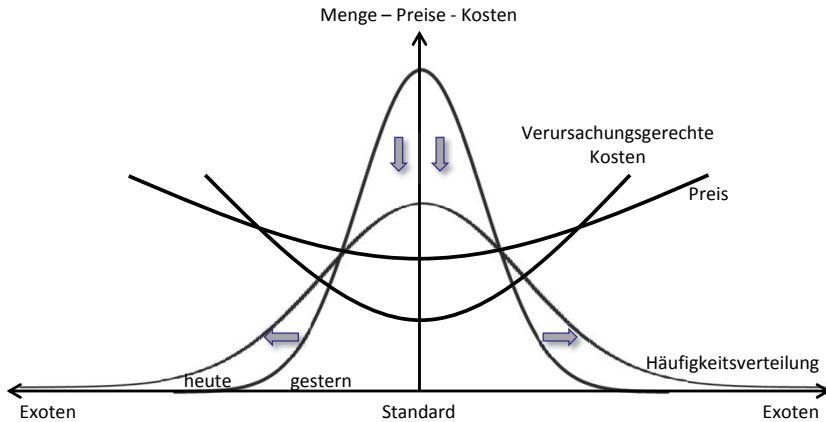


Bild 1.1.1 Quersubvention zulasten der Standardprodukte [Sch05]

Die funktionsübergreifende Wirkung der Kosten meint die Wirkung auf nahezu alle Unternehmensfunktionen und während des gesamten Produktlebenszyklus [Rat93]. Die Kostenwirkung tritt zeitverzögert auf, das heißt bei marginaler Zunahme der Produkt- und Prozessvielfalt können noch keine erkennbaren Kostenerhöhungen festgestellt werden. Erst ab einer bestimmten Höhe der Zunahme sind zusätzliche Investitionen notwendig [Sch05]. Das dritte Merkmal der Kosten der Variantenvielfalt ist das asymmetrische dynamische Verhalten. Bei steigender Produktvielfalt sind zusätzliche Strukturen, wie beispielsweise neue Maschinen, erforderlich, um weitere Technologien und Verfahren abzudecken. Verringert sich die Produktvielfalt, können diese Kosten jedoch nicht im gleichen Maß abgebaut werden, da die getätigten Investitionen nicht in vollem Umfang wieder eingeholt werden können. Es bleibt meist über einen längeren Zeitraum eine Ertragslücke [Rat93].

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Auswirkungen der Produktvielfalt auf die Unternehmensprozesse und der daraus resultierende Aufwand untersucht und eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität entwickelt. Hierzu werden zunächst die Problem- und die Aufgabenstellung beschrieben.

1.1 Problemstellung

Die Erhöhung der Produktvielfalt führt intern direkt und indirekt zu erhöhter Vielfalt auf der Ebene des Wertschöpfungsnetzwerkes. Auf der Produktebene entstehen eine erhöhte Teile- und Komponentenanzahl sowie ein erhöhter Dokumentationsaufwand. Auf der Ebene des Wertschöpfungsnetzwerkes erhöht sich die Anzahl der (neuen) Zulieferer, der Anforderungen sowie der Produktionsprozesse und -standorte (Bild 1.2).

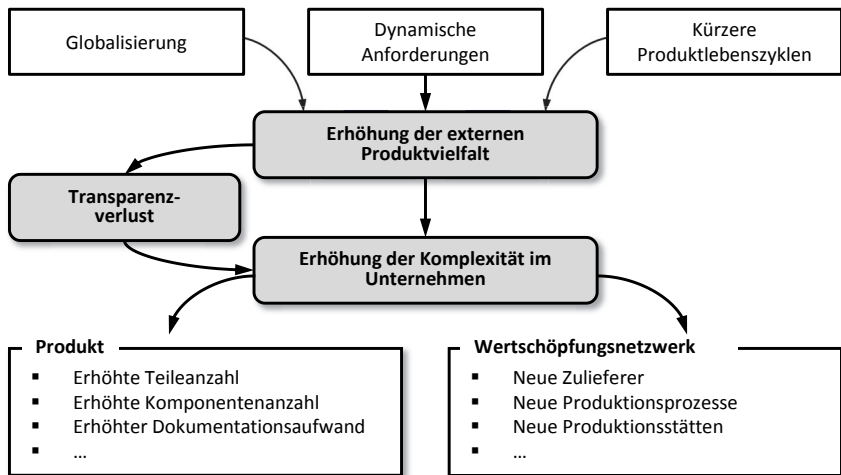


Bild 1.2 Zunehmende Komplexität als zentrale Herausforderung [Bro11a]

Komplexität ist ein wesentlicher Grund oder Treiber für Probleme, die zu zusätzlichen Anstrengungen und zu einem erhöhten Risiko von Ausfällen führen [And09]. Produktvielfalt kann zu erhöhten Durchlaufzeiten und höheren Lagerbeständen, zu komplizierteren Herstellungsprozessen, zur Erweiterung der Lieferantenbeziehungen und zu zusätzlichen Investitionen führen.

Nur wenn es den Unternehmen gelingt, die fortschreitende Entwicklung der Globalisierung und die Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten mit überschaubaren Produktstrukturen und Produktionsprozessen zu befriedigen, können langfristig die Kosten gesenkt und neue Kunden gewonnen werden [VDI01].

Nach WILDEMANN werden in Zukunft nicht mehr einzelne Unternehmen im Wettbewerb stehen, aufgrund der intensiven unternehmensübergreifenden Integration der Wertschöpfungsaktivitäten wird ein Wettbewerb zwischen den Wertschöpfungsketten beziehungsweise Wertschöpfungsnetzwerken stattfinden. Daher wird neben einer optimierten Aufbauorganisation und geeigneten Führungs-, Steuerungs- und Kontrollinstrumenten ein schnell anpassungsfähiges Komplexitäts- und Variantenmanagement benötigt [Wi100].

Je besser dieses Management ist, desto größer ist der Wettbewerbsvorteil gegenüber Konkurrenten [Sch05]. Erfolgreiche Unternehmen zeichnen sich daher durch einen ganzheitlichen Einsatz eines Komplexitätsmanagements aus, das die Vielfalt in allen Unternehmensbereichen und -prozessen plant und mithilfe von entsprechenden Instrumenten, Prinzipien und Methoden reduziert und beherrscht [Con95]. Erfahrungen aus der Industrie haben gezeigt, dass die Produkt- und die Wertschöpfungskonzepte meistens getrennt entwickelt werden. Durch solche, nicht optimal aufeinander abgestimmte Konzepte entsteht eine hohe und unnötige Vielfalt in der Auftragsabwicklung. Das hat zur Folge, dass für sämtliche Glieder der Wertschöpfungskette ein erhöhter Aufwand durch die gesteigerte Produktvielfalt festgestellt werden kann [Wi100].

Um die vielfältigen und dynamischen Anforderungen der weltweiten Märkte, Länder und Kunden bedienen zu können, müssen die Unternehmen sich mit der Fragestellung auseinandersetzen, wie sie das Wissen über Komplexität innerhalb der globalen Wertschöpfung und Warenverteilung nutzen, um Komplexität bereits in den frühen Phasen der Produktentstehung zu beherrschen und damit reduzieren oder vermeiden zu können.

1.2 Aufgabenstellung

Unternehmen können langfristig nur dann wettbewerbsfähig bleiben, wenn sie sich hinreichend schnell auf aktuelle und zukünftige Kundenbedürfnisse und damit auf deren Anforderungen an Produktvarianten einstellen. Ziel der Beherrschung der Produktvielfalt sollte es dabei sein, die Varianten mit minimalem Aufwand produzieren und vertreiben zu können. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen bei der Entwicklung der Produktvarianten vor allem auch das Wertschöpfungsnetzwerk, das heißt die gesamte Auftragsabwicklung, berücksichtigt werden.

Bestehende Lösungsansätze konzentrieren sich derzeit entweder auf die Ebene der Produkte oder auf die der Wertschöpfungskette. Ein ganzheitliches Komplexitätsmanagement unter Berücksichtigung der Produkte und der Wertschöpfungskette steht bisher genauso wenig im wissenschaftlichen Fokus der Produktentstehung und Konstruktionstechnik, wie die Integration des Wissens über Komplexität aus der Wertschöpfungskette in die Produktentwicklung.

In der Wissenschaft wird die Frage nach dem Komplexitätsverständnis auf der Produkt- und der Prozessebene getrennt diskutiert. Unternehmen haben in der Praxis allerdings ein eigenes, unternehmensspezifisches Verständnis von Komplexität. Die methodische Reduzierung dieser unternehmensspezifischen Komplexität steht bisher ebenfalls nicht im Fokus der Wissenschaft.

Das Ziel der Arbeit ist daher die Beantwortung der folgenden Forschungsfragen:

- Wie können die produktvarianteninduzierte Komplexität und ihre Treiber unternehmensspezifisch identifiziert werden?
- Wie kann ein ganzheitliches und generisches Komplexitätsmanagement durch das Wissen über die unternehmensspezifische, produktvarianteninduzierte Komplexität und ihre Treiber optimiert werden?
- Wie kann die produktvarianteninduzierte Komplexität durch die Gestaltung des Auftragsabwicklungsprozesses reduziert werden?
- Wie kann das unternehmensspezifische Komplexitätswissen in den Produktentstehungsprozess integriert werden?

Da diese ganzheitliche Betrachtung des Komplexitätsmanagements und die frühzeitige Integration des Komplexitätswissens in den Produktentstehungsprozess derzeit methodisch nicht ausreichend unterstützt wird, wird im Rahmen dieser Arbeit die Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität entwickelt.

Diese Methode verwendet gemäß PAHL/BEITZ konkrete Handlungsanweisungen, die sich aus der Wissenschaft und aus Erfahrungen unterschiedlicher Anwendungen ergeben haben. Die

Handlungsanweisungen müssen flexibel gestaltet sein, indem z.B. mehrere Vorschläge zur Lösungsfindung gemacht werden. Auch die angewandten Methodenwerkzeuge müssen flexibel sein, um den untersuchten Prozess an die jeweilige Problemstellung anpassen zu können [Pah07].

Das Ziel der Arbeit und der entwickelten Methode ist es, das Wissen, die Erfahrung und auch die Intuition der beteiligten Unternehmen, Organisationseinheiten und Mitarbeiter zu bündeln, Transparenz zu schaffen, eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zu fördern und die Produktentstehung methodisch und systematisch zu unterstützen. Dazu wird sowohl der multikausale Wirkverbund aus Supply Chain Management, Anforderungsmanagement und Komplexitätsmanagement in der Produktentstehung untersucht, als auch der am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) entwickelte Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien, um die Ebene der Prozesssicht beziehungsweise des Wertschöpfungsnetzwerkes erweitert (Kapitel 7).

Inhalt der Arbeit ist daher eine Problemanalyse (Kapitel 3) aus Sicht der industriellen Praxis und der Wissenschaft. Diese beinhaltet die Problembeschreibung und die Festlegung des Betrachtungsrahmens dieser Arbeit. Hieraus werden dann Anforderungen an eine zu entwickelnde Methode abgeleitet.

Aus diesen Anforderungen und dem aktuellen Stand der Wissenschaft (Kapitel 4) lässt sich der Forschungsbedarf identifizieren. Darauf aufbauend wird eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität Design for Value Chain (DfVC) entwickelt und vorgestellt (Kapitel 5). Diese unterscheidet zum einen das strategische Ziel der Identifizierung von unternehmensspezifischen Handlungsfeldern eines ganzheitlichen Komplexitätsmanagements und zum anderen das Ziel der Unterstützung von Produktentstehungsprojekten. Beide Ziele werden anhand eines Beispiels vorgestellt und im Detail erläutert.

Anschließend wird die Methode DfVC anhand eines Projektes aus der industriellen Praxis validiert (Kapitel 1). Die Ergebnisse werden in der Zusammenfassung (Kapitel 8) diskutiert.

2 Begriffliche Grundlagen

Einige der in dieser Arbeit genutzten Termini werden mit unterschiedlichen Definitionen beziehungsweise Inhalten in der betrieblichen Praxis und der Wissenschaft verwendet. Daher wird im Anschluss an einige allgemeine Begriffe, der Ausdruck Komplexität, sowie weitere Begriffe aus dem Handlungsfeld des Komplexitätsmanagements definiert.

2.1 Allgemeine Begriffe

Prozess

Ein Prozess im Sinne dieser Arbeit ist ein Vorgang, der einen messbaren Input in einen messbaren Output verwandelt. Er besteht aus Teilprozessen, die in einem sach- und zeitlogischen inneren Zusammenhang stehen und immer weiter unterteilt werden können, bis hin zu einzelnen Arbeitsschritten [Saa02], [Bec08b]. Ein Prozess ist

- wertschöpfend, das heißt durch die Arbeitsschritte wird ein Mehrwert für das Unternehmen geschaffen,
- repetitiv, das heißt er wird mit ähnlichen Inputs und ähnlichen Arbeitsschritten in einer bestimmten Wiederholrate durchgeführt und
- zielorientiert, das heißt Zweck des Prozesses ist die Verwirklichung von sachlichen, formalen, sozialen oder ökologischen Zielen [Saa02].

Auftragsabwicklung

Unter der Auftragsabwicklung wird der Prozess der Erfüllung von Kundenaufträgen vom Zeitpunkt der Bestellung durch den Kunden bis zum Zahlungseingang des Leistungsentgelts verstanden [Rob10]. Der Auftragsabwicklungsprozess kann hierbei in die folgenden Teilprozesse unterteilt werden [Rob10]:

- Auftragsübermittlung (Bestellung durch den Kunden)
- Auftragsbearbeitung (Überprüfung des Kundenauftrages und Einplanung in das Produktions- und Logistiksystem)
- Fertigung und/oder Auftragszusammenstellung (Produktion und Kommissionierung der Waren)
- Verpackung und Versand

- Fakturierung (Rechnungsstellung der erbrachten Leistungen)
- Zahlungstransaktion (Eingang des Leistungsentgelts)

System

Ein System ist eine Gruppe von Elementen, die in Wechselbeziehungen zueinander stehen. Das Gesamtsystem kann aus verschiedenen Teilsystemen bestehen. Die Beziehungen zwischen den Systemelementen definieren dabei die Systemstruktur [Pah07].

Ein System ist ferner dadurch gekennzeichnet, dass es von seiner Umgebung durch eine Systemgrenze abgegrenzt ist. Ein geschlossenes System hat keine Beziehung zu den Objekten außerhalb, während bei einem offenen System Informationen, Energie oder Material mit der Umwelt ausgetauscht werden können [Ber73], [Pah07], [Flo93].

2.2 Komplexität

Komplexität ist ein häufig benutztes Schlagwort [And09] und wird sowohl im Alltag als auch in der Literatur verwendet, ohne dass seine Bedeutung näher definiert und reflektiert wird [Gro80]. Der Begriff Komplexität ist eng mit der Variantenvielfalt verbunden. Diese beschreibt die Anzahl und Verschiedenheit unterschiedlicher Varianten eines Bauteils, einer Baugruppe eines Produkts oder eines Prozesses [Fra02], [Hei99], [Fir03]. Die Variantenvielfalt ist insofern ein Teilaspekt und eine Ursache der Komplexität.

2.2.1 Grundlagen der Komplexität

Komplexität wird in unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen von der Biologie oder Physik über Ingenieurwissenschaften bis hin zur Soziologie untersucht, wobei jede Disziplin Komplexität unterschiedlich definiert [Ble04], [Sch03], [Sta97], [Kir03], [Mey06]. Es ist daher nicht möglich, eine einheitliche Definition zu finden, sondern es liegen unterschiedliche, getrennte Definitionen und Perspektiven vor [Gel94]. Eine Auswahl dieser Definitionen nach STÜTTGEN ist im Anhang A gegeben. In Anlehnung an MEYER und ABDELKAFI können die unterschiedlichen Komplexitätsdefinitionen in die folgenden sechs Komplexitätskategorien unterschieden werden [Mey06], [Abd08] (Bild 2.1), die sich gegenseitig beeinflussen. Komplexität versteht sich dabei als graduelle und nicht als absolute Eigenschaft.

- **Komplexität als Größe eines Systems** ist eine Definition, die häufig in der Kybernetik und der Betriebswirtschaftslehre zu finden ist [Ker06]. Komplexität wird hier durch die Anzahl der Elemente eines Systems bestimmt (Bild 2.1 links oben).
- **Komplexität als Variabilität eines Systems** erweitert die vorherige Interpretation um die Vernetzung zwischen den Elementen, die unterschiedlichen Arten der Elemente und deren Verbindungen sowie die dynamischen Veränderungen in der Systemkonfiguration [Ash85], [Kuh02] (Bild 2.1 links Mitte).
- **Komplexität als Entropie des Systems** wird häufig in der Informationstheorie genutzt, um den durchschnittlichen Informationsgehalt oder der Informationsdichte eines Systems zu beschreiben. Je mehr Zeichen von einer Quelle empfangen werden,

desto mehr Information werden gesendet. Dadurch sinkt die Unsicherheit über das, was insgesamt hätte gesendet werden können [Sha48] (Bild 2.1 links unten).

- **Komplexität als kombinatorische Vielfalt eines Systems** beschreibt die Vielzahl der verschiedenen Systemzustände [Mal96], [Bli98], [Sch03]. Bild 2.1 rechts oben zeigt die kombinatorische Vielfalt eines Systems mit drei Glühbirnen. Jede Glühbirne kann hierbei zwei Zustände "An" oder "Aus" annehmen, so dass sich eine kombinatorische Vielfalt von $2^3 = 8$ Zuständen ergibt. Bei einem anderen System mit 25 statt drei Glühbirnen ergibt sich eine kombinatorische Vielfalt von 33.554.432 Zuständen [Mal96].
- **Komplexität als Länge der Beschreibung eines Systems** beschreibt in der Informatik die Anzahl der Wörter, die nötig sind, um ein System zu beschreiben [Gel94]. In Bild 2.1 rechts Mitte können jedoch die beiden Zustände A und B mit der gleichen Anzahl von Wörtern beschrieben werden: „Kein Punkt in A ist verbunden“ beziehungsweise „Alle Punkte in B sind verbunden“. Dementsprechend sind nach dieser Definition beide Systeme gleichermaßen komplex. Zur Beschreibung der Komplexität ist es daher notwendig, andere Faktoren wie die Systemgrenze, die Dekomposition des Systems und die Beschreibungssprache zu betrachten [Sch03].
- **Persönliche Wahrnehmung der Komplexität** beruht auf der Erfahrung und dem Wissen der Beteiligten. VON FOERSTER zeigt die Abhängigkeit der Wahrnehmung von Fähigkeiten und Wissen des Betrachters durch zwei Zahlenreihen.

(1) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

(2) 8, 5, 4, 9, 1, 7, 6, 3, 2

Ohne das Wissen, dass die zweite Reihe alphabetisch nach der Reihenfolge der englischen Zahlwörter (eight, five, four, etc.) sortiert ist, erscheint sie dem Betrachter als sehr viel komplexer als die erste Zahlenreihe. Mit diesem Wissen ist jedoch die Komplexität beider Zahlenreihen gleich [Foe77] (Bild 2.1 rechts unten).

Vor allem im deutschen Sprachraum wird zusätzlich zwischen Komplexität und Kompliziertheit unterschieden. Komplexität wird mit einer Situation, die nicht leicht verstanden werden kann, also kompliziert ist, assoziiert [Flo93]. Komplexität bedeutet jedoch mehr als nur Kompliziertheit. Nach ULRICH UND PROBST wird ein System komplex genannt, wenn die Anordnung der Elemente nicht nur kompliziert ist, sondern auch noch den Zustand ändert. Ein Buch zum Beispiel ist kompliziert, wenn es schwierige Inhalte vermittelt, textlich schwer verständlich ist und aus vielen Kapiteln und Abschnitten besteht. Allerdings ist es nicht komplex, da es nicht den Zustand ändert. Komplexe Systeme verhalten sich unterschiedlich über die Zeit, daher ist es nicht möglich vorherzusagen, welchen Status sie als nächstes annehmen werden [Ulr95].

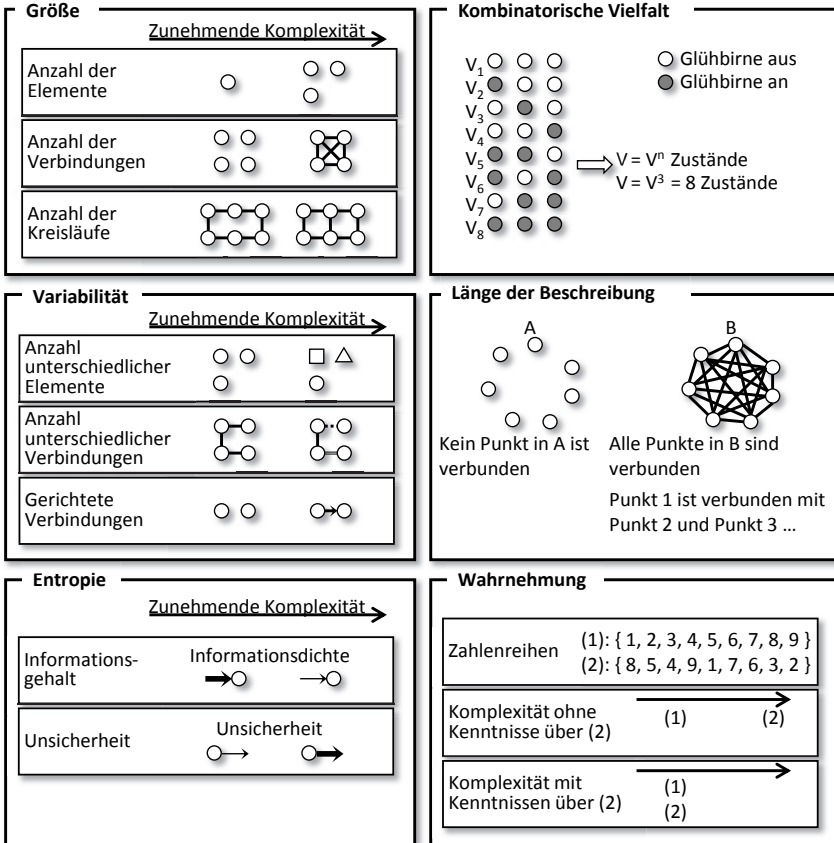


Bild 2.1 Sechs unterschiedliche Komplexitätskategorien [Bro11d]

Nach LIEBSCHER hängt die Kompliziertheit eines Systems von der Menge der verschiedenen Elemente des Systems ab, während die Komplexität sich aus den Beziehungen zwischen diesen Elementen ergibt [Kla79].

ULRICH UND PROBST verstehen die Größe eines Systems und die Beziehungen zwischen den Elementen als Kompliziertheit [Ulr95]. Wenn ein kompliziertes System zusätzlich seinen Status ändert, wird es als komplexes System verstanden.

2.2.2 Einteilung in vier verschiedenen Perspektiven

Im Rahmen dieser Arbeit werden vier verschiedene Perspektiven der Komplexität untersucht (Bild 2.2). Sie beziehen sich auf die oben genannten Kategorien und vervollständigen diese um die Wirkung der Komplexität. Die vier Perspektiven werden genutzt, um unterschiedliche

unternehmensspezifische Definitionen von Komplexität einzuordnen und in einen Zusammenhang zu stellen. Die Perspektiven

- Konstruktive Eigenschaften der Komplexität,
- Erscheinungsformen der Komplexität,
- Bezugsobjekte der Komplexität und
- Wirkung der Komplexität

definieren den Grad der Komplexität und müssen je nach Anwendung unterschiedlich gewichtet werden.

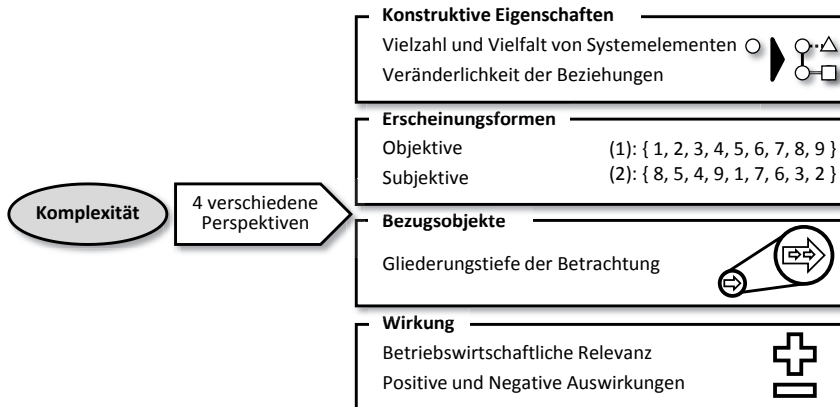


Bild 2.2 Perspektiven der Komplexität [Bro11d]

Komplexität aus Sicht der **konstruktiven Eigenschaften** beschreibt die Anzahl und Vielfalt der Systemelemente und deren Beziehungen. Sie beschreibt somit die Kategorien Größe, kombinatorische Vielfalt und Variabilität. Aus dieser Perspektive ist Komplexität nicht nur Kompliziertheit, sondern auch das nicht deterministische, unsichere und dynamische Verhalten der Systemelemente.

Die **Erscheinungsformen** der Komplexität unterscheiden die objektive und die subjektive Komplexität. Die objektive Erscheinungsform beschreibt die Anzahl der Elemente und Verbindungen, die gezählt und objektiv bewertet werden kann. Die subjektive Erscheinungsform stellt die vom Betrachter wahrgenommene Komplexität dar.

Analog unterscheidet WILDEMANN zwischen der individuellen und strukturellen Komplexität [Wil09] und KIRCHHOFF die strukturelle und funktionale Komplexität [Kir03].

Die Perspektive der **Bezugsobjekte** untersucht den Detaillierungsgrad [Gel94]. Eine Branche mit wenigen konkurrierenden Unternehmen erscheint beispielsweise auf den ersten Blick als wenig komplex. Eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Unternehmen offenbart jedoch die gegebenenfalls äußerst komplexen Verflechtungen zwischen diesen. Aussagen über die Komplexität können daher nur bezüglich ihres Bezugsobjektes getroffen werden [Blo10].

Die vierte Perspektive ist die der **Wirkung**. Hierbei werden Relevanz und Auswirkungen der Komplexität im Unternehmen berücksichtigt [Wil09]. Komplexität wird nicht unbedingt mit negativen Eigenschaften assoziiert, da sie auch positive Effekte haben kann, wenn z.B. Alleinstellungsmerkmale generiert werden können [Dal09].

Zusammenfassend lässt sich Komplexität daher als Auslöser für zusätzliche Anstrengungen, den Einsatz von zusätzlichen Ressourcen und einen erhöhten Bedarf an Informationen für das Unternehmen beschreiben.

2.2.3 Produktvarianteninduzierte Komplexität

Zur Einordnung des Begriffs der produktvarianteninduzierten Komplexität (piK) lassen sich Varianten nach WESTKÄMPER und BARTUSCHAT übergeordnet in die drei Typen Zeit, Menge und Art gruppieren (siehe Bild 2.3). Die Zeitvariante beschreibt die Produktion und die Veränderlichkeit eines Produktes über die Zeit. Treten Schwankungen in den Losgrößen auf und werden diese mit dem gleichen Produktionsprozess durchgeführt, handelt es sich um Mengenvarianten. Der dritte Typ ist die Art. Hierbei handelt es sich um die Artungleichheit eines Produktes [Wes92].

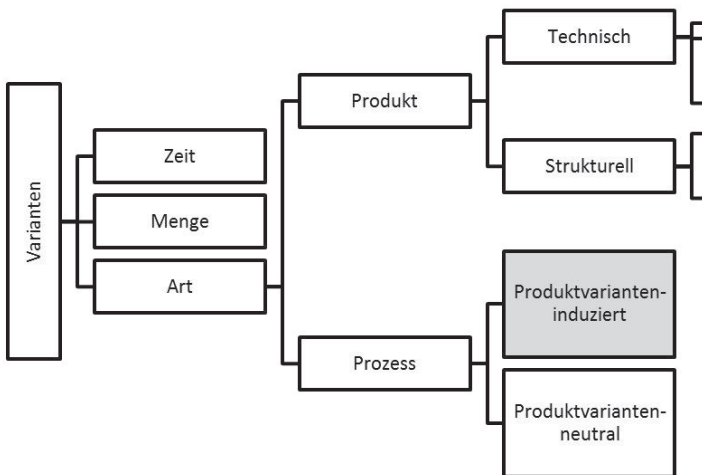


Bild 2.3 Gliederung der Varianten nach [Wes92], [Lin94], [Zim88], [REF78]

Die Artvarianten werden weiter nach Produkt- und Prozessvarianten unterschieden. Die Produktvarianten werden im Weiteren nach LINGNAU in technische und strukturelle Varianten unterschieden [Lin94]. Diese können unter anderem nach ZIMMERMANN noch weiter unterteilt werden [Zim88]. Eine weitere Unterteilung wird hier jedoch nicht betrachtet.

Prozessvarianten unterteilen sich nach MENGE in produktvarianteninduzierte und produktvariantenneutrale Prozessvarianten. Eine Prozessvariante ist produktvarianteninduziert, wenn durch die Verschiedenartigkeit der Produktvarianten Unterschiede in den Abläufen ausgelöst werden. Produktvariantenneutrale Prozessvarianten lassen sich nicht auf die Produktvarianten zurückführen, sondern haben andere Ursachen. Eine Ursache ist z.B. die Erhöhung der

Produktionsmenge eines Standardproduktes, die einen geänderten Prozess erforderlich macht, da der gegenwärtige Prozess die erhöhte Produktionsmenge nicht leisten kann [Men01].

Die piK beschreibt grundsätzlich die zusätzlichen Anstrengungen, den Einsatz von zusätzlichen Ressourcen und den erhöhten Informationsbedarf innerhalb der Auftragsabwicklung, die auf eine erhöhte Vielfalt der Produkte zurückzuführen sind [Abd08]. Komplexität ist somit produktvarianteninduziert, wenn die Unterschiede in der Auftragsabwicklung durch die Verschiedenheit der Produktvarianten ausgelöst werden. Im Gegensatz dazu stellt die produktvariantenneutrale Komplexität jene Komplexität dar, die nicht von der Produktvielfalt induziert ist [Men01].

Im Rahmen der piK untersucht diese Arbeit die Änderungen der bestehenden Prozesse im Unternehmen, welche durch Produktvarianten hervorgerufen werden. Dies ist im Bild 2.3 grau hinterlegt.

2.3 Handlungsfelder des Komplexitätsmanagements

WILDEMANN unterscheidet für das Komplexitätsmanagement drei grundsätzliche Strategien [Wil00]:

- Komplexitätsreduzierung
- Komplexitätsbeherrschung
- Komplexitätsvermeidung

Komplexitätsreduzierung verfolgt das Ziel, die bereits vorhandene Komplexität zu senken, indem beispielsweise bestehende Teile, Varianten und Prozesse reduziert werden [Wil00].

Komplexitätsbeherrschung ist die effiziente Handhabung nicht vermeidbarer Komplexität [Wil00]. Eine wesentliche Herausforderung hierbei ist es, die extern geforderte Komplexität bereitzustellen und die daraus entstehende, unvermeidbare interne Komplexität kostengünstig und effizient zu handhaben [War97].

Den längsten Umsetzungs- und Wirkhorizont hat die **Komplexitätsvermeidung**. Ihr Ziel ist es, die Entstehung von Komplexität präventiv zu verhindern [Wil00].

Bild 2.4 zeigt die Strategien des Komplexitätsmanagements und deren Wirkungsbereiche. In der praktischen Anwendung sind diese Strategien jedoch häufig nicht trennscharf abzugrenzen. So unterstützen die Strategien der Komplexitätsbeherrschung und der Komplexitätsvermeidung auch die Reduzierung von Komplexität.

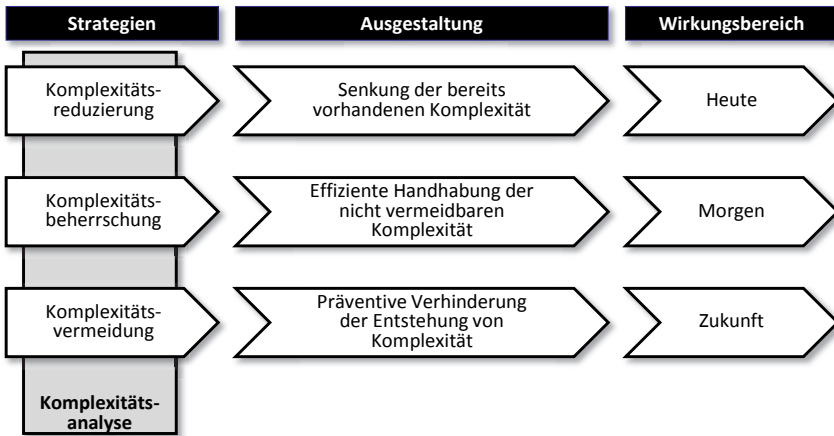


Bild 2.4 Strategien des Komplexitätsmanagements nach [Wil00]

Zu diesen Strategien können unterschiedliche Handlungsfelder identifiziert werden. Im Allgemeinen wird unter einem Handlungsfeld eine Dimension eines Problems verstanden, für die spezifische Maßnahmen gefunden werden müssen, um das Problem zu beheben [Hom03]. Eine Literaturrecherche hat unterschiedliche Handlungsfelder ergeben, von denen die Folgenden in den nächsten Kapiteln betrachtet werden:

- Transparenz schaffen
- Supply Chain Management
- Anforderungsmanagement
- Variantenmanagement

Diese vier Handlungsfelder beschreiben den Betrachtungsrahmen der vorliegenden Arbeit und damit die wesentlichen Wirkungsfelder der zu entwickelnden Methode.

2.3.1 Transparenz schaffen

Transparenz beschreibt das Verständnis der piK eines Sachzusammenhangs und der auf diesen wirkenden Einflussfaktoren [Lam12]. Transparenz kann somit über die Identifikation von Komplexitätstreibern, die Visualisierung der Auftragsabwicklungsprozesse sowie die Darstellung der Auswirkungen von Produktvielfalt erhöht beziehungsweise verbessert werden.

Als Komplexitätstreiber werden hierbei die verschiedenen Faktoren sowohl der Organisationsumwelt als auch der Organisation selbst verstanden, welche einen maßgeblichen Einfluss auf den Grad beziehungsweise das Ausmaß der Komplexität haben [Wil00], [Sch05], [Lam12].

Die grafische Darstellung von Ursachen, die zu einem Ergebnis führen oder dieses maßgeblich beeinflussen, wird als Ursache-Wirkungs-Diagramm bezeichnet. Dieses kann die Darstellung der Auswirkungen von Produktvielfalt unterstützen [Sch09].

2.3.1.1 Komplexitätstreiber

Komplexität wirkt zum einen von außen auf das Unternehmen und wird durch vom Markt induzierte Komplexitätstreiber, wie z.B. Nachfrageänderungen und –schwankungen, beeinflusst. Zum anderen wird sie auch von internen Treibern, wie z.B. eine nicht notwendige produktbezogene Vielfalt und die daraus resultierende explodierende Anzahl an Sachnummern beeinflusst [Wil00].

Obwohl diese Komplexitätstreiber unternehmens- und branchenspezifisch sind, haben verschiedene Autoren generische Komplexitätstreiber definiert beziehungsweise mittels Unternehmensbefragungen empirisch ermittelt. Tabelle 2.1 zeigt einen Ausschnitt dieser Komplexitätstreiber aus einer Literaturrecherche und einer Unternehmensbefragung von LAMMERS [Lam12]. Eine detailliertere Beschreibung von generischen Komplexitätstreibern findet sich in WILDEMANN [Wil00], SCHUH [Sch05], MEYER [Mey06] und LAMMERS [Lam12].

Tabelle 2.1 Ausschnitt unterschiedlicher Komplexitätstreiber nach [Lam12]

Komplexitätstreiber	Quelle
Anzahl von Produkten	Praxisanalyse von LAMMERS [Lam12]
Kundenanzahl	Praxisanalyse von LAMMERS [Lam12]
Politisches Umfeld	Praxisanalyse von LAMMERS [Lam12]
Innovationen	Praxisanalyse von LAMMERS [Lam12]
Ungenügende Abstimmung und Informationen zwischen betrieblichen Teilsystemen	Praxisanalyse von LAMMERS [Lam12]
Zoll	Praxisanalyse von LAMMERS [Lam12]
Abhängigkeiten von Zulieferern	Praxisanalyse von LAMMERS [Lam12]
Kundenspezifische Forderungen	GEIMER [Gei05]
Menge an Stock Keeping Units	HAUPTMANN [Hau07]
Zahl der Supply Chain Akteure	KLAUS [Kla05]
Liefargeschwindigkeit	MILGATE [Mil01]
Weltweite Verstreuung der Absatzmärkte	MEYER [Mey06]
Ausgeprägtes Formularwesen	MEYER [Mey06]
Dispositionsart	MEYER [Mey06]

2.3.1.2 Prozesstransparenz

Bei der Entwicklung einer Methode zur Reduzierung der piK umfasst Transparenz vor allem die Prozessbeschaffenheit. Durch Prozesstransparenz wird gewährleistet, dass alle Beteiligten ein gemeinsames Verständnis der Prozesse des Wertschöpfungsnetzwerkes haben und eine belastbare Diskussionsgrundlage zur Optimierung von Unternehmensabläufen generiert werden kann.

In Forschung und Praxis wurden und werden viele Methoden zur Modellierung von Geschäftsprozessen entwickelt und angewandt, die hier nicht alle im Einzelnen vorgestellt werden können. Zur Entwicklung einer Methode zur Reduzierung der piK sind Prozesse zu modellieren. Hierzu sind insbesondere grafische Methoden, die sogenannten Diagrammsprachen geeignet. Diese lassen sich in datenflussorientierte, kontrollflussorientierte und objektorientierte Ansätze differenzieren (Bild 2.5).

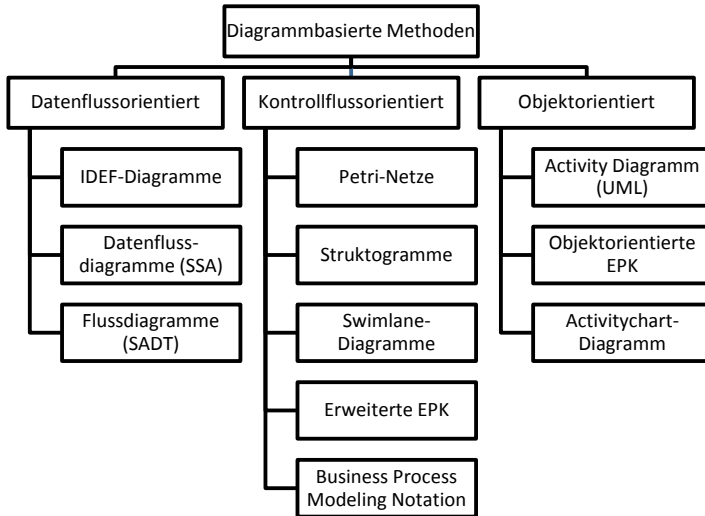


Bild 2.5 Übersicht über ausgewählte Diagrammsprachen nach [Gad10]

Im Rahmen einer Umfrage zum Prozessmanagement von GADATSCH wurde festgestellt, dass das Flussdiagramm (SADT), die erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette (eEPK) sowie die Swimlane-Diagramme die am meisten genutzten Methoden sind [Gad10].

SADT ermöglicht die Darstellung verschiedener Systeme und Prozesse mittels hierarchisch geordneter Diagramme. In SADT werden Aktivitätendiagramme und Datendiagramme unterschieden. Im Aktivitätendiagramm, auch Aktigramm genannt, werden Aktivitäten beziehungsweise Funktionen durch Datenflüsse verknüpft. Das Datendiagramm, auch Datagramm genannt, verknüpft Daten durch Aktivitäten [Ros77].

Zur Visualisierung von Prozessabläufen sind folglich die Aktigramme geeignet. Aktivitäten werden dabei als Rechtecke und Daten als Pfeile dargestellt. Je nach Bedeutung der Daten werden die Pfeile auf bestimmten Seiten des Rechtecks dargestellt (Bild 2.6).

SADT-Diagramme enthalten somit zunächst keine Reihenfolgebeziehungen oder zeitliche Abläufe. Da jedoch eine Aktivität nur ausgeführt werden kann, wenn alle notwendigen Eingabedaten vorliegen, kann implizit eine Reihenfolge der Aktivitäten angenommen werden [Ros77], [Sch85].

SADT ist eine leicht erlernbare und verständliche Darstellungsmethode. Allerdings wird die Systemumgebung nicht dargestellt und bei der Verwendung zur Visualisierung der Auftragsabwicklungsprozesse werden die Diagramme schnell unübersichtlich.

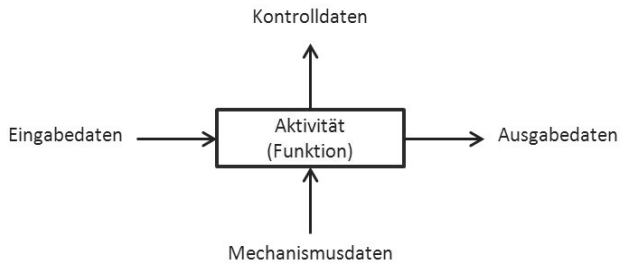


Bild 2.6 SADT Basiselement [Sch85]

Die Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) wurde eine sogenannte semiformale, grafische Technik zur Modellierung von Geschäftsprozessen auf der Fachkonzeptebene entwickelt. Der Prozess wird hierbei als eine Abfolge von Funktionen und Ereignissen betrachtet, wobei die Ereignisse Funktionen auslösen, die wiederum ein Ereignis als Folge haben [Sch98].

Durch die Abfolge von Ereignissen und Funktionen wird der Prozessverlauf abgebildet. Bei Eintritt eines Ereignisses wird somit unmittelbar die Auslösung einer Funktion erzwungen. In der einfachen Ereignisgesteuerten Prozesskette werden jedoch nicht die Unternehmensressourcen in Form der beteiligten Abteilungen abgebildet. Dieser Aspekt wird jedoch von der eEPK aufgenommen und umgesetzt.

Zusätzlich zu der reinen Ablauflogik stellt die eEPK daher organisatorische Einheiten und Informationsobjekte dar (Bild 2.7).

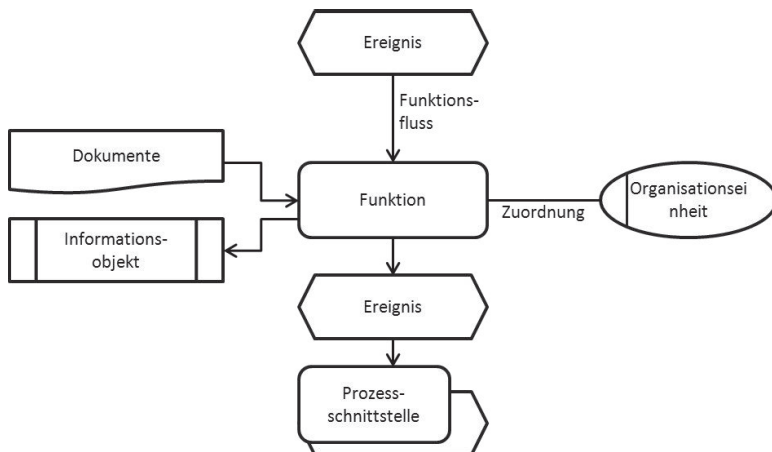








Bild 2.7 Notation einer eEPK [Sch98]

Grundsätzlich sind sowohl die EPK als auch die eEPK vergleichsweise leicht erlernbar und gut geeignet für die Diskussion in den Fachabteilungen. Die eEPK hat ihre Stärke in der Beschreibung standardisierter Abläufe. Bei der Erkennung von Organisationsbrüchen, das heißt dem Wechsel von Organisationseinheiten beziehungsweise Value Chain Stationen, sind die eEPK den Swimlane-Diagrammen gegenüber im Nachteil, da diese eine spaltenweise Sortierung der Aktivitäten und Funktionen nach Organisationseinheiten beziehungsweise Value Chain Stationen bieten [Gad05].

Der Begriff „Swimlane“ bezeichnet ein Anfang der 1990'er Jahre unter dem Begriff „Organisationsprozessdarstellung“ entwickeltes Ablaufdiagramm [Gad10]. Als Swimlane werden, analog zu Schwimmbahnen, Verantwortungsbereiche für Akteure bezeichnet, zwischen denen die zugeordneten Verantwortungen für einen Prozessabschnitt hin und her pendeln, bis der Ablauf abgeschlossen ist [Gad10]. Tabelle 2.2 zeigt die Notationssymbole der Swimlane-Diagramme.

Tabelle 2.2 Notationssymbole der Swimlane-Diagramme [Gad10]

Symbol	Benennung	Bedeutung
	Prozessschritt	Abbildung von Prozessen und Aktivitäten der realen Welt
	Kontrollfluss	Zeitlich-logischer Ablauf der Prozessschritte
	Verzweigung	Verzweigung im Ablauf
	Logistischer Operator	Logische Verknüpfungsoperatoren („AND“, „OR“ und „XOR“)
	Swimlane	Zuständigkeitsbereich von Akteuren (Personen, Abteilungen, Unternehmen)
	Dokument	Ablaufbezogenes Dokument, Datenbank oder Informationsobjekt

Anhand des Swimlane Diagramms wird der Prozessablauf durch die einzelnen Funktionsbereiche des Unternehmens klar dargestellt. Es wird sofort ersichtlich, welcher Unternehmensbereich für den jeweiligen Prozessschritt verantwortlich ist. Durch die Verzweigungsmarke wird die Aufspaltung in zwei parallele Prozessabläufe dargestellt.

2.3.1.3 Darstellung der Auswirkungen von Produktvielfalt

Zur Darstellung der Auswirkungen von Produktvielfalt können neben Ishikawa-Diagrammen auch die Visualisierungen durch Vielfaltstrichter und graphische Darstellungen von Einflussfaktoren verwendet werden.

Das **Ishikawa-Diagramm** wurde in Japan entwickelt und nach seinem Erfinder benannt. Hierbei werden in einem Fischgräten-Diagramm die Hauptursachen für ein Problem eingetragen. Diese werden dann um Nebenursachen ergänzt. Hauptursachen und Nebenursachen werden mit Pfeilen in Richtung des Problems visualisiert (Bild 2.8) und durch verschiedene Kreativitätstechniken ermittelt. Die Hauptursachen werden dabei in die sechs Herkunftskategorien (Mensch, Maschine, Milieu, Material, Methode und Messung) unterteilt [Sch09].

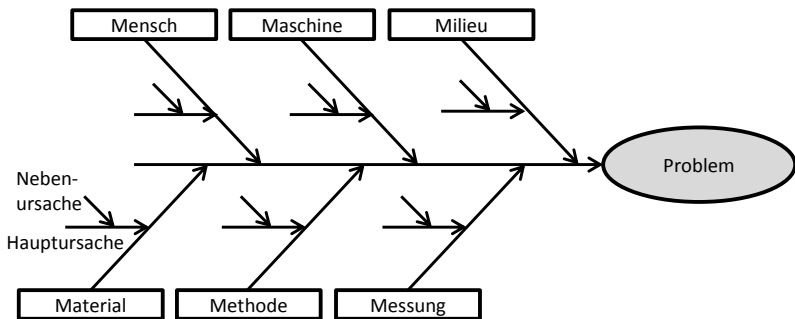


Bild 2.8 Ishikawa-Diagramm nach [Sch09]

HINES UND RICH [Hin97] beschreiben mit dem **Production Variety Funnel (Vielfaltstrichter)** einen Ansatz, der ursprünglich aus dem Operations Management kommt und im Bereich der Produktion erstmals in der Textilindustrie [New03] Anwendung fand. Er bildet die Anzahl der verschiedenen vorhandenen Bestandseinheiten gegenüber dem Fortschritt im Wertschöpfungsprozess ab (Bild 2.9). Hierbei werden vier verschiedene Grundformen des Vielfaltstrichters unterschieden [Hin97]:

- I-Shape
Obwohl sich Eingangs- und Ausgangstoffe unterscheiden, bleibt ihre Anzahl während der Wertschöpfung annähernd gleich. Als Beispiel wäre etwa das Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren zu nennen, bei dem geschmolzener Stahl durch eine Vakuumbehandlung entgast wird [Hah08].
- V-Shape
Aus einer geringen Anzahl unterschiedlicher Ausgangsmaterialien wird eine Vielzahl verschiedener Endprodukte erstellt. Hier kann als Beispiel ein integriertes Stahlwerk dienen, welches eine große Anzahl unterschiedlicher Halbzeuge aus nur wenigen Ausgangsstoffen (Eisenerz oder Roheisen und einige Hilfs- und Zusatzstoffe) erstellt.
- A-Shape

Viele unterschiedliche Rohstoffe und verschiedene Produktionsströme bei im Verhältnis wenigen Endprodukten, HINES UND RICH nennen als Beispiel die Flugzeugindustrie.

- T-Shape

Unternehmen mit dieser Produktionsstruktur können – typischerweise im Bereich der Endmontage – aus einer begrenzten Anzahl von vorgehaltenen Halbfertigerzeugnissen eine große Vielfalt unterschiedlicher Produktvarianten erzeugen. Dies ist in der Regel die am besten geeignete Produktionsstruktur für den Bereich des Mass Customization.

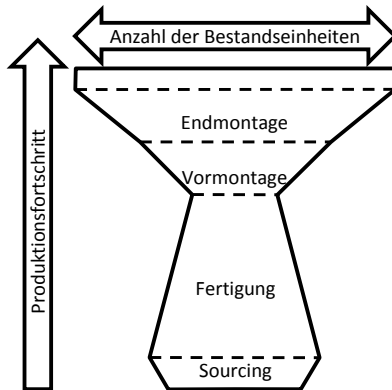


Bild 2.9 Vielfaltstrichter nach [Hin97]

Bei der **grafischen Darstellung von Einflussfaktoren** werden Ursache-Wirkungszusammenhänge visualisiert (Bild 2.10). Das Zusammenspiel zwischen den Einflussfaktoren kann dabei sowohl qualitativ (grobe Einschätzung der Einflüsse durch „schwach“, „mittel“ und „stark“) als auch quantitativ durch das Hinterlegen konkreter Daten beschrieben werden [Ble09].

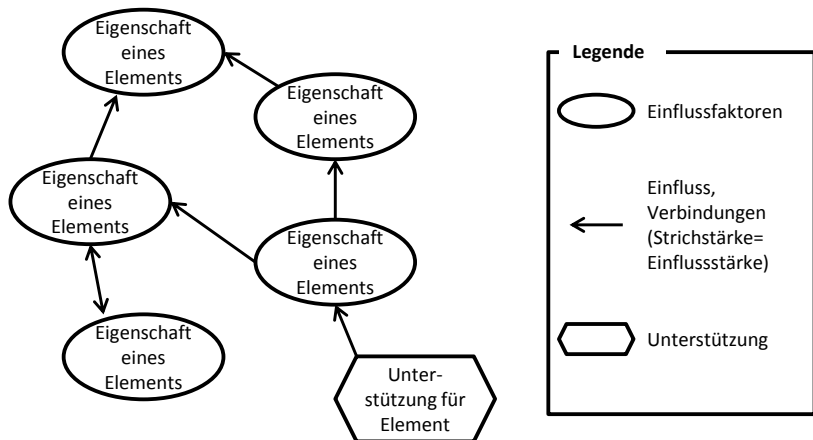


Bild 2.10 Grafische Darstellung von Einflussfaktoren nach[Ble09]

2.3.2 Supply Chain Management

Als Supply Chain wird eine Versorgungs- und Lieferkette verstanden, die sich vom Rohstofflieferanten bis zum Endverbraucher erstreckt [Bec04]. Kennzeichnend für eine Supply Chain ist nach HOULIHAN [Hou85]:

- Die Supply Chain dokumentiert alle Prozesse von der Rohstoffbeschaffung bis hin zu den Serviceleistungen beim Endkunden,
- sie umfasst alle beteiligten Prozesse vom Zulieferer bis zum Endkunden als ein ganzheitliches System,
- die Supply Chain überschreitet organisatorische Grenzen und
- das Kernziel der Supply Chain ist die Schaffung von Kundennutzen, der in einem ausbalancierten Verhältnis zu Kosten und Gewinn steht.

Die Supply Chain umfasst somit nicht nur die Hersteller und die Zulieferer, sondern auch Spediteure, Lagerhäuser, Einzelhändler und die Kunden selbst. Das Supply Chain Management ist hierbei nach Wildemann „...eine Organisations- und Managementphilosophie, die durch eine prozessoptimierende Integration der Aktivitäten der am Wertschöpfungssystem beteiligten Unternehmen auf eine unternehmensübergreifende Koordination und Synchronisierung der Informations- und Materialflüsse zur Kosten-, Zeit- und Qualitätsoptimierung zielt.“ [Wil11]. Das Supply Chain Management beschreibt somit den gesamten Fluss einer Auftragsabwicklung vom Rohstofflieferanten bis hin zum Endkunden und ist daher auf der strategischen, taktischen und operativen Ebene eines Unternehmens zu finden [May07]. Die Tätigkeiten des Supply Chain Managements können hierbei in vier Phasen unterteilt werden [Cho04]:

- Supply Chain Design
- Supply Chain Planning
- Supply Chain Execution
- Supply Chain Monitoring

Das **Supply Chain Design** umfasst eine langfristige Planung des gesamten Netzwerks mit dem Fokus auf der Konfiguration von Fabriken, Distributionszentren und Lieferanten. Die meisten Definitionen von Supply Chain Design konzentrieren sich auf die Anordnung von Elementen innerhalb der Supply Chain [Bal01], [Per02], der Dimensionierung der Elemente [Hoe01] oder dem Schaffen einer optimalen Plattform für das Supply Chain Management [Yu03] durch die Bestimmung der Supply Chain Strategie und des optimalen Kooperationsverhaltens gegenüber anderen Partnern innerhalb der Supply Chain [Sha07]. Zusammengefasst ist das Ziel von Supply Chain Design die optimale Anordnung von Elementen in der Supply Chain und die Gestaltung der Verbindungen zueinander.

Im Rahmen des **Supply Chain Planning** wird die Konfiguration des Logistik-Netzwerkes betrachtet und festgelegt. Außerdem werden in dieser Phase die Zuteilung der prognostizierten Nachfrage nach Produkten zwischen Fabriken an verschiedenen Standorten, die Verteilung der Endprodukte zu regionalen Märkten und Kunden und der Nachschub von Material bestimmt. In der Praxis werden von vielen Unternehmen erhebliche Kosteneinsparungen durch eine netzwerkweite Koordination der Logistik realisiert [Cho04].

In der **Supply Chain Execution** Phase wird entschieden, wie die einzelnen Kundenaufträge erfüllt werden und wie man den Materialfluss innerhalb des Logistik-Netzwerkes steuert [Cho04].

Die Phase des **Supply Chain Monitoring** umfasst schließlich alle Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Überwachung der Leistung der Supply Chain. Insbesondere die Qualität der Produkte, der Fabriken und der Distributionszentren, sowie die Kosten werden überwacht. Weitere wichtige Themen sind die Analyse der Logistik und Lagerhaltung in den verschiedenen Stufen der Lieferkette [Cho04].

Die Auswirkungen von unterschiedlichen Produktionsansätzen auf die Supply Chain oder das Management wurden z.B. von [Abd08], [Per10], [Ran01], [Twi98], [Fin00], [App04] untersucht. Hierbei werden die folgenden Ansätze unterschieden [Abd08] [Twi98]:

- Make To Stock (MTS)

Die Ware wird gemäß einer festen Spezifikation kundenanonym produziert, auf Lager gelegt und verkauft.

- Customize To Order (CTO)

Die Ware wird in vordefinierten Standardvarianten kundenanonym produziert und auf Lager gelegt. Die Ware wird gemäß kundenspezifischer Spezifikationen im Lager für den jeweiligen Kundenauftrag konfiguriert und ausgeliefert.

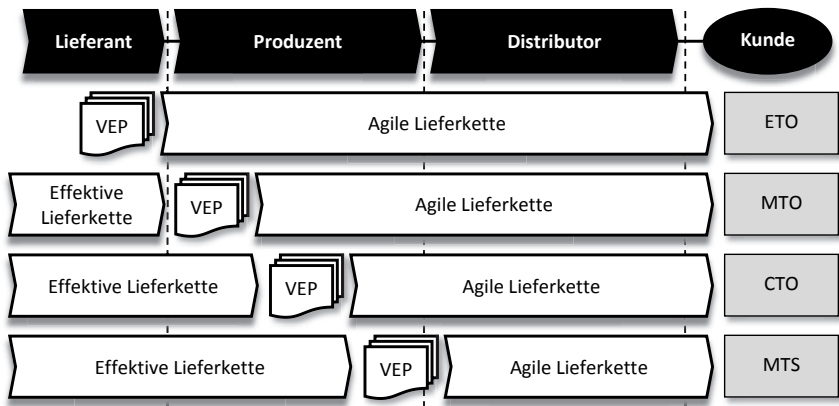
- Make To Order (MTO)

Die Ware wird gemäß wählbaren Optionen für den jeweiligen Kundenauftrag produziert und an den Kunden ausgeliefert.

- Engineer To Order (ETO)

Die Ware wird gemäß kundenspezifischer Spezifikationen entwickelt, produziert und ausgeliefert.

Je nach Produktionsansatz verschiebt sich somit der Variantenentstehungspunkt innerhalb der Supply Chain (Bild 2.11). Bis zum Variantenentstehungspunkt wird eine effektive Lieferkette erwartet, da die Anzahl der Varianten gering ist. Ab der Variantenentstehung ist eine agile, die Nachfrage mit dem Angebot in Einklang bringende, Lieferkette anzustreben [Bec04].



VEP = Variantenentstehungspunkt

Bild 2.11 PProduktionsansätze und ihre Variantenentstehungspunkte [Bec04]

Wertschöpfungsnetzwerke

Da diese Arbeit einen Beitrag zur Reduzierung der piK im Wertschöpfungsnetzwerk leisten soll, wird im Folgenden zunächst der Begriff des Wertschöpfungsnetzwerkes und die Abgrenzung zur Supply Chain definiert.

Der Begriff Supply Chain ist eher unzutreffend, da zum einen nicht nur der Aspekt der Lieferantenseite (Supplier), sondern auch die Kundenseite erfasst wird und es sich zum anderen nicht um eine Kette handelt, sondern um ein kompliziertes Netzwerk aus einer Vielzahl autonom agierender, unternehmerischer Einheiten [Lam98].

Zum Gesamtverständnis der Supply Chain gehören auch weiterführende Managementaufgaben, wie Planungs- und Ausführungsprozesse [Bec08a]. Demzufolge setzt die Supply Chain bereits weit vor der Erfüllung eines Auftrages mit der Erfassung des erweiterten Marktbedarf-

- Die Betrachtung des Wertschöpfungsprozesses beginnt nicht bereits bei der Gewinnung der Rohstoffe, sondern die Fertigung und die Montage des Produktes stellen die erste Stufe der Value Chain dar.
- Der betrachtete Prozess endet mit der Auslieferung zum Kunden. Folgeprozesse, wie Service oder Kundendienst, werden nicht berücksichtigt.
- Prozesse, die von dem Produktdurchlauf nicht direkt abhängig sind, wie beispielsweise Transport und Lagerung, werden nicht mit betrachtet.
- Die Value Chain wird nicht als unternehmensinterne Wertkette angenommen, sondern als unternehmensübergreifender Wertschöpfungsprozess verstanden.

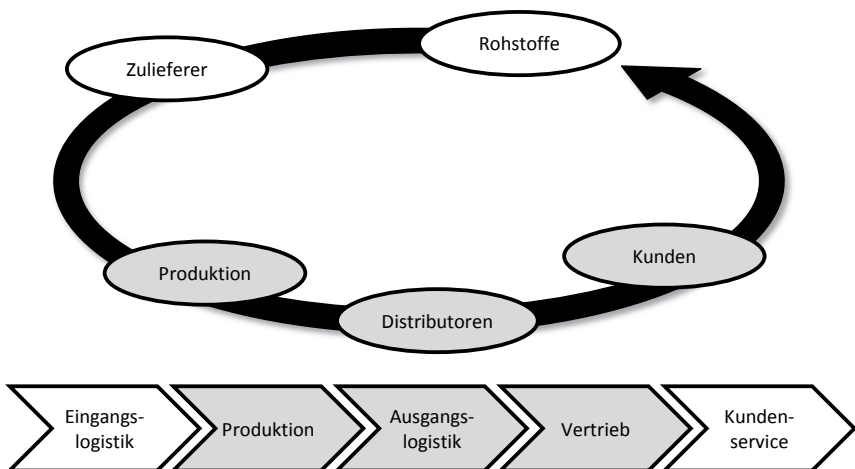


Bild 2.13 Value Chain Verständnis dieser Arbeit

2.3.3 Anforderungsmanagement

Anforderungsmanagement hat das Ziel, die Herausforderungen des Marktes und des Marktumfelds zu bewältigen. Dies können Wettbewerbsdruck, Internationalisierung der Märkte, kürzer werdende Produktzyklen, kundenindividuelle Wünsche, Kostenminimierung, kürzere Lieferzeiten und Technologiewandel sein [Kru00]. Vorteile eines durchgängigen Anforderungsmanagement sind [Pah07], [Kru00]:

- Marktakzeptanz durch Erfüllen von Anforderungen
- Kundenzufriedenheit
- Zeitlicher Vorteil gegenüber der Konkurrenz durch Beachtung von Marktanforderungen
- Minimierung von finanziellen Risiken
- Vermeidung von Designfehlern

Diese Vorteile sind teilweise eng miteinander verknüpft. So führt die Vermeidung von Designfehlern und Schaffung von Marktakzeptanz unmittelbar zur Minimierung von finanziellen Risiken. Voraussetzung für die Entwicklung von technisch und finanziell erfolgreichen Produkten sind eine geklärte Aufgabenstellung und die Beachtung aller Anforderungen [Pah07].

Das Anforderungsmanagement wird durch Bereitstellung von Datenbanken für die Verwaltung von Anforderungen und durch Softwareschnittstellen zu anderen Bereichen des Unternehmens unterstützt. Das Anforderungsmanagement erstreckt sich über die gesamte Produktentwicklung [Pon11]. Es umfasst den Erstellungs-, Abstimmungs- und Dokumentationsprozess. Es gliedert sich hierbei in die Phasen:

- Ermitteln von Anforderungen,
- Dokumentieren von Anforderungen,
- Prüfen von Anforderungen und
- Pflege und Verwaltung von Anforderungen.

Um die internen Anforderungen und hierbei insbesondere die Value Chain Anforderungen aufzunehmen, zu strukturieren, zu priorisieren und zu verwalten, werden im Folgenden verschiedene Möglichkeiten der Anforderungskategorisierung beschrieben. Sie werden unter dem Gesichtspunkt analysiert, ob die Kategoriensysteme die Anforderungen des Auftragsabwicklungsprozesses berücksichtigen. Strukturierungsmodelle bieten die Möglichkeit, Anforderungen in Gruppen zu analysieren, so dass sie selektiv betrachtet werden können [Ste09]. Während die Anforderungen bei älteren methodischen Ansätzen erst ermittelt und dann strukturiert wurden, um die Dokumentation und Umsetzung zu vereinfachen, geht man neuerdings dazu über, die Anforderungen vor der Ermittlung zu strukturieren [Gra11], [Röd11]. Dadurch wird das Projektteam inhaltlich unterstützt, während der Ermittlung alle relevanten Informationen zu berücksichtigen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der steigenden Anzahl von Anforderungen und Anforderungsquellen hilfreich. Unter einer Kategorisierung wird eine Struktur verstanden, die die wesentlichen Anforderungen in Kategorien beziehungsweise Unterkategorien gruppiert. Diese dienen als Leitfaden bei der Identifizierung und Erfassung aller relevanten Anforderungen.

RÖDER beschreibt, wie ein Kategoriensystem (Cluster) genutzt werden soll [Röd11]. Dabei geht er davon aus, dass die Kategorien bereits existieren. Kategorien können sowohl direkt durch den Kunden bestimmt werden, indem er Anforderungen einer spezifischen Kategorie stellt, als auch durch interne Anforderungen definiert werden. Die Kategorien können laut RÖDER auf unterschiedliche Art und Weise erstellt werden. Die Erstellung kann subjektiv erfolgen, indem die Interessensgruppen bei der Ermittlung subjektive, eigene Anforderungsgruppen bilden. Sie erfolgt objektiv, wenn Zusammenhänge des Produktes und des Prozesses analysiert werden. In einer Mischform werden abgeschlossene Projekte und deren Anforderungen mit dem aktuellen Projekt verglichen, um daraus optimierte Kategorien zu bilden. In der Literatur findet sich eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze zur Strukturierung [Röd11].

Weit verbreitet ist der Ansatz, Anforderungen in Produkthanforderungen und Prozessanforderungen zu unterscheiden. Während Prozessanforderungen auf Fragen der Kosten, des

Marketings, der Durchlaufzeiten, des Vertriebs und der Verteilung eingehen, sind Produktanforderungen solche, die direkt auf das Produkt bezogen sind [Ebe08]. Andere Ansätze unterscheiden zwischen funktionalen Anforderungen und nichtfunktionalen Anforderungen [Gra11]. Funktionale Anforderungen sind technische Anforderungen, die Funktionalitäten und somit das Verhalten des Produktes beschreiben. Nicht-funktionale Anforderungen beschreiben Anforderungen, die zwar keinen Einfluss auf die Funktionalitäten haben, dennoch aber für das Produkt berücksichtigt werden müssen. Dazu zählen Qualitätsanforderungen und Anforderungen aus Randbedingungen, wie Gesetzen oder organisatorischen Vorgaben (Kosten, Durchlaufzeiten, etc.). CROSTACK ET AL [Cro11] haben weitere Ansätze aus der Literatur, in denen Anforderungen kategorisiert werden, zusammengefasst. Ein Auszug der untersuchten Ansätze ist in Tabelle 2.3 dargestellt.

Tabelle 2.3 Kategoriensysteme nach [Cro11]

Ansatz	Kriterien				
	Wunsch	Forderung			
VDI 2247					
Onion-Layer Model [Hoh06]	Kernprodukt	Erweitertes Produkt	Formales Produkt		
Kano [Aka04]	Basis	Leistung	Begeisterung		
Pahl/Beitz [Pah07]	Geometrie	Kinematik	Kräfte	Ergonomie	Substanz
	Signale	Sicherheit	Energie	Fertigung	Steuerung
	Montage Kosten	Transport Deadlines	Nutzung	Wartung	Recycling
Hubka [Hub90]	Funktion	Funktionsbezogen	Operativ	Ergonomisch	Distribution
	Lieferung und Planung	Recht	Fertigung	Konstruktion	Kosten
...

Es ist zu erkennen, dass die Ansätze sehr unterschiedliche Kategorien nutzen. Während in der VDI-Richtlinie 2247 die Anforderungen nur in zwei Kategorien (Wünsche und Forderungen) unterteilt werden [VDI94], wird im Ansatz von PAHL UND BEITZ eine detailliertere Unterteilung in 17 Kategorien vorgenommen, deren Schwerpunkt auf technischen und funktionalen Anforderungen liegt [Pah07]. Ebenso unterscheiden sich die Arten der Kategorien. Während VDI 2247 nach Prioritäten unterscheidet, beschäftigt sich z.B. das Onion-Layer-Modell mit dem Bezug der Anforderung zum Produkt (Kernprodukt oder erweitertes Produkt). Gemeinsam ist allen Ansätzen, dass die die Anforderungen nur sehr allgemein kategorisiert werden und für die Anwendung im Einzelnen angepasst und detailliert werden müssen.

2.3.4 Variantenmanagement

Je besser das Variantenmanagement, das heißt die Fähigkeit des Unternehmens Varianten zu beherrschen, desto größer ist der Wettbewerbsvorteil gegenüber Konkurrenten [Sch05].

Erfolgreiche Unternehmen zeichnen sich daher durch den ganzheitlichen Einsatz eines Variantenmanagements aus, das die Vielfalt in allen Unternehmensbereichen und -prozessen plant und mithilfe von entsprechenden Instrumenten, Prinzipien und Methoden reduziert und beherrscht [Con95].

Eine Produktvariante wird gem. DIN 199 als „Gegenstände ähnlicher Form oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“ [DIN00] verstanden. Der VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE sieht in einer Variante die Abart einer Grundausführung, wobei eine Variante in dieser Definition einen Gegenstand darstellt, der auch ein Produkt sein kann [VDI79]. SCHUH und HEINA definieren ähnlich, wobei eine Variante eine Abweichung der Grundversion in mindestens einer Merkmalsausprägung [Hei99] oder eine geringfügige Abweichung von einem Grundtyp vorweisen muss [Sch89a].

FRANKE et al. definieren den Begriff Variante aus Sicht der Produktentwicklung als "... eine Variante eines technischen Systems ist ein anderes technisches System gleichen Zwecks, das sich in mindestens einer Beziehung oder einem Element unterscheidet. Ein Element unterscheidet sich von einem anderen Element in mindestens einer Eigenschaft"[Fra02].

Prozessvarianten resultieren nach FRANKE aus der unterschiedlichen Beanspruchung von Unternehmensressourcen durch die Produktvarianten, so dass Auftragsabwicklungsklassen gebildet werden können. Dabei wird zwischen den folgenden Typen unterschieden [Fra02]:

- Die Standardvarianten zeichnen sich durch lediglich kleine Änderungen gegenüber dem Standardprodukt aus. Somit sind keine großen Auswirkungen auf den Prozess zu erwarten, und sie werden häufig in größeren Stückzahlen angefertigt.
- Einfache Varianten hingegen werden in mittelhäufigen Stückzahlen angefertigt und weisen deutlich größere Modifikationen in der Dokumentation, Konstruktion und Fertigung auf als die Standardvariante.
- Die größten Änderungsmaßnahmen erfordern die Sondervarianten, welche kundenspezifisch angefertigt werden und somit vollständig andere Parameter im Unternehmensprozess beanspruchen.

Über die Variantenvielfalt bestehen unternehmensintern in der Regel unterschiedliche Ansichten. So wird in den kundennahen Bereichen eher eine hohe Variantenvielfalt präferiert, während in den produktionsnahen Bereichen eine weitgehende Standardisierung der Produkte gefordert wird. Das Variantenmanagement kann in die drei Dimensionen „Art der Vielfalt“, „Zeitlicher Horizont des Managements“ und „Phase im Produktlebenszyklus“ unterteilt werden [Hei99].

Die Art der Vielfalt wird in Produktvielfalt und Prozessvielfalt unterschieden. Unter zeitlichem Horizont des Managements wird die Unterscheidung in strategisches und operatives Variantenmanagement verstanden. Ziel des strategischen Variantenmanagements ist die Reduzierung und Beherrschung der Vielfalt sowohl auf Produkt- als auch auf Prozessebene. Dies geschieht durch Wahl der entsprechenden Variantenmanagementstrategie [Hei99]:

- Variantenplanung inklusive der Variantenvermeidung, das heißt es entstehen nur notwendige und rentable Varianten,

- Variantenbeherrschung, das heißt die optimale Abwicklung der bestehenden Variantenvielfalt im Unternehmen und
- Variantenreduzierung, das heißt die Eliminierung bestehender Varianten.

Das operative Variantenmanagement versucht, die vorgegebene beziehungsweise abgestimmte Vielfalt möglichst effizient und reibungslos über die gesamte Prozesskette hinweg abzuwickeln [Fra02] (Bild 2.14).

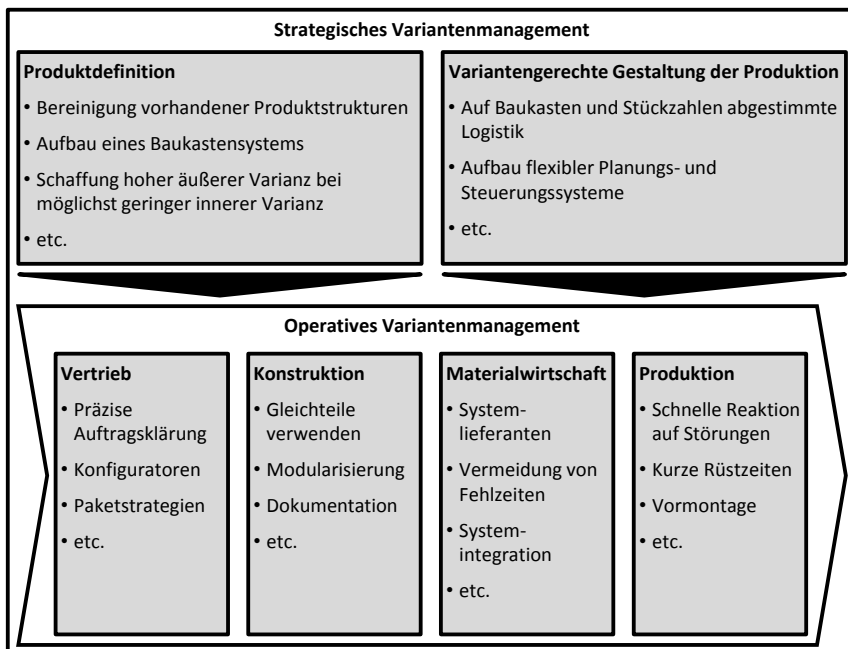


Bild 2.14 Zeitlicher Horizont des Variantenmanagements nach [Fra02]

Zur Beherrschung der Prozessvielfalt existieren verschiedene Strategien, wie die Postponement-Strategie und das Konzept der Prozess-Kommunalität.

Postponement bezeichnet in der Logistik und der Produktion eine Strategie, in der Vorgänge jeglicher Art innerhalb der Wertschöpfungskette aufgeschoben werden [Pag98]. Die Postponement-Strategie geht dabei von der Herstellung eines generischen Produkts aus, welches die Basis für alle Varianten bildet. Die Herstellung dieses Produktes ist prognosegetrieben. Das generische Produkt wird erst möglichst zeitnah zum Kundenkauf differenziert [Fei96]. Dabei lässt sich die Variantenbildung je nach Produkt im Extremfall bis zum Endkunden hin aufschieben [Boo07].

Prozess-Kommunalität bezeichnet die Strategie, gleiche Prozesse für unterschiedliche Produkte nutzen zu können. Prozess-Kommunalität kann in verschiedenen Bereichen eines Unternehmens genutzt werden. Hierzu zählen unter anderem Entwicklung, Montage, Produkti-

on und Verkauf [Del06]. Z.B. in der Automobilproduktion findet sich häufig Prozess-Kommunalität, da alle Varianten eines Fahrzeugtyps den gleichen Montageprozess und dieselbe Montagestraße durchlaufen.

In Ergänzung zu den oben genannten Strategien kann zusätzlich eine Verschiebung der Prozesse nach vorne erfolgen, indem z.B. in der Lieferkette die Entwicklung von Produktkomponenten und deren Varianten auf den Lieferanten übertragen werden (Outsourcing). Diese zusätzliche Strategie zur Reduzierung und Beherrschung der Prozessvielfalt ist im Bild 2.15 neben den vor genannten Strategien dargestellt.

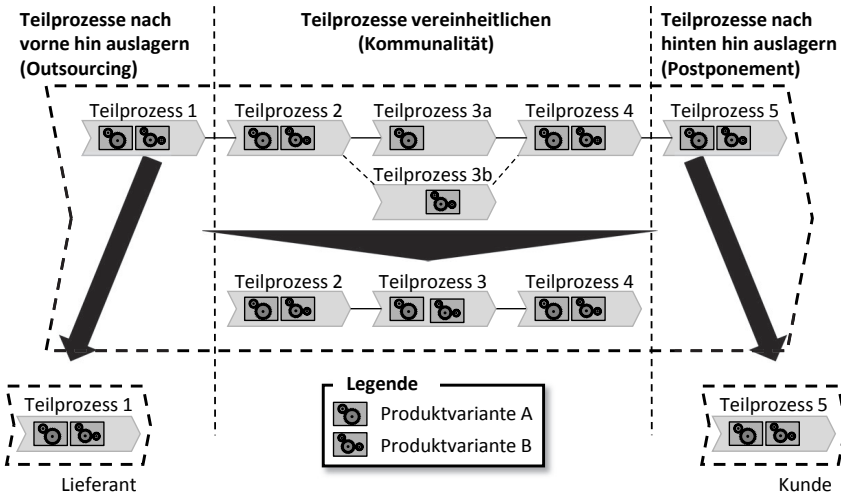


Bild 2.15 Strategien zur Beherrschung der Prozessvielfalt [Bro10]

Hierbei wird hauptsächlich der Produktionsprozess untersucht [Tre10], [Pag98]. Da Variantenprobleme jedoch nicht nur in den Produktionsprozessen, sondern auch in den vor- und nachgelagerten Teilprozessen und innerhalb der gesamten Auftragsabwicklung entstehen, ist zur Reduzierung der piK eine Betrachtung der gesamten Value Chain nötig.

Allgemein können in der Literatur eine Vielzahl von Methoden, Werkzeugen und strategischen Ansätzen des Variantenmanagements gefunden werden. Die meisten Methoden und Ansätze besitzen eine allgemeine Gültigkeit, das heißt sie sind nicht speziell für Produkt- und Prozessvarianten entwickelt worden. Tabelle 2.4 zeigt eine Übersicht der gängigsten Methoden. Die Methoden sind anhand der Kriterien Analyse, Synthese, Bewertung sowie Transfer kategorisiert.

Tabelle 2.4 Übersicht über Methoden und Vorgehensweisen des Variantenmanagements [Fra01],[Fir03]

Analyse	Synthese	Bewertung	Transfer
Anforderungsliste Funktionsanalyse	Baureihen/ kästen	Bau- Materialkostenver- fahren	Paketangebote ermöglichen

Conjoint-Analyse	Typengruppen	Ähnlichkeits- beziehungen	Frühe hochwertige Ver- kaufsinformationen
Erzeugnisstruktur	Standardisierung/ Normung	Relativkosten	Variantenmindernde Preispolitik
Baugruppennetz	Bauweisen	Kostenfunktionen	Frühere systemunter- stützte Konfiguration mit Kunden
Kostenstruktur	Plattformen	Suchkalkulation	Prozessorientierte Abläufe und Strukturen
Gozinto-/ Vorranggraph	Packagebildung	Merkmalsbezogene Plankalkulation	Auftragsneutrale Vormontagegruppen
Variantenbaum	Parametrisierung	Variantenkosten- rechnung	Optimieren der Ferti- gungstiefe
Stücklistenvergleich/ -analyse	Modularisierung	Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung	Varianten transparente Stücklistensysteme
Montagegerechte Erzeugnisgliederung	Schnittstellen- optimierung	Variantenorientierte Prozesskostenrechnung	Flexibilität durch späte Variantentstehung
Fertigungsorientierte Erzeugnisgliederung	Klassifizierung	Kostenschätzung	Reduzierung der Zuliefe- rerzahl
Fertigungsaufbau- übersicht	Gestaltungsregeln
Erzeugnispyramide	Gleich-/ Wiederhol- teilmatrix		
ABC-Analyse	...		
...			

Auf der nun geschaffenen Basis wird im Folgenden eine Problemanalyse aus Sicht der industriellen Praxis und der Wissenschaft beschrieben.

3 Problemanalyse

In diesem Kapitel werden die Abhängigkeiten zwischen den Anforderungen aus der Value Chain und der Produktentwicklung ermittelt und die Notwendigkeit einer Methode zur Reduzierung der piK anhand folgender Untersuchungsbereiche abgeleitet:

- Ermittlung und Darstellung der aktuellen industriellen Situation und Erläuterung an einem Beispiel aus der industriellen Praxis (siehe Kapitel 3.1.1)
- Darstellung und Analyse der Ergebnisse einer Expertenbefragung (siehe Kapitel 3.1.2)
- Darstellung des Stands der Wissenschaft und Beschreibung der Ursachen und Auswirkungen der Produktvielfalt (siehe Kapitel 3.1.3).

Im Anschluss werden unterschiedliche Anforderungen an eine Methode zur Reduzierung der piK abgeleitet. Diese werden dann im Folgenden als Grundlage für die Bewertung des Stands der Technik herangezogen (siehe Kapitel 3.2).

3.1 Problembeschreibung

In den folgenden Kapiteln wird die Relevanz eines ganzheitlichen Komplexitätsmanagements aus den verschiedenen Sichten der Praxis und der Wissenschaft analysiert.

3.1.1 Aus Sicht der industriellen Situation anhand eines Beispiels

Wie die tägliche industrielle Praxis zeigt, können bereits kleine Änderungen der Kundenwünsche den Auftragsabwicklungsprozess eines Unternehmens stark beeinflussen.

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit einem mittelständischen Unternehmen wurde eine solche Beeinflussung untersucht. Dieses Unternehmen entwickelt und produziert Anlagen zur Behandlung von Kunststoff-, Metall- und Papieroberflächen (Koronastationen). Diese Oberflächen besitzen eine Oberflächenspannung, die z.B. ein Bedrucken nicht zulässt, da die Farben das Material nicht ausreichend benetzen können. Zur Vorbehandlung wird das Material daher durch ein elektronisches Plasmafeld, die Korona, geführt und dort chemisch ange-regt. Die Trägerwalze und das Elektrodensystem bilden die beiden Hauptbaugruppen von Koronaanlagen und werden in einem Maschinenrahmen, bestehend aus zwei Seitenschilden und mehreren Quertraversen aufgehängt. Außerhalb dieser Anordnung befinden sich Generatoren und Transformatoren zur Versorgung der Korona sowie Gebläse zur Absaugung des beim Bearbeitungsprozess entstehenden Ozons und zur gleichzeitigen Kühlung der Elektroden durch die Spülluft. Das Unternehmen übernimmt hierbei ausschließlich die Ent-

wicklung, die Endmontage und den Vertrieb der Koronastationen. Alle Einzelteile werden als jeweilige komplette Fertigungsleistungen extern bezogen.

Die Seitenteile der Koronastation werden dabei aus Edelstahl und die Traversen aus Aluminium gefertigt. Diese sind im Standard nicht lackiert.

Wenn der Kunde diese Teile lackiert benötigt, führt diese Erhöhung der Produktvarianten zu einer deutlichen Erhöhung der piK innerhalb der Auftragsabwicklungsprozesse. Zunächst muss als neuer Unterprozess eine Lackierung eingerichtet werden, welche im Standardprozess nicht vorgesehen ist. Zusätzlich kann der Kundenwunsch dazu führen, dass andere beziehungsweise neue Materialien eingesetzt werden müssen, da der Farbeindruck auf unterschiedlichen Materialien, wie Aluminium oder Edelstahl, verschieden sein kann. Dieser Austausch der Materialien kann dann weitere Auswirkungen, z.B. auf den Prozess der Materialwirtschaft, haben, da neue Zulieferer gefunden und neue Verträge ausgehandelt werden müssen. Darüber hinaus kann dies zu Varianten im Produktionsprozess führen, wenn die neuen Materialien eine unterschiedliche Handhabung erfordern. Bild 3.1 zeigt ein vereinfachtes Diagramm dieser Prozessweiterung.

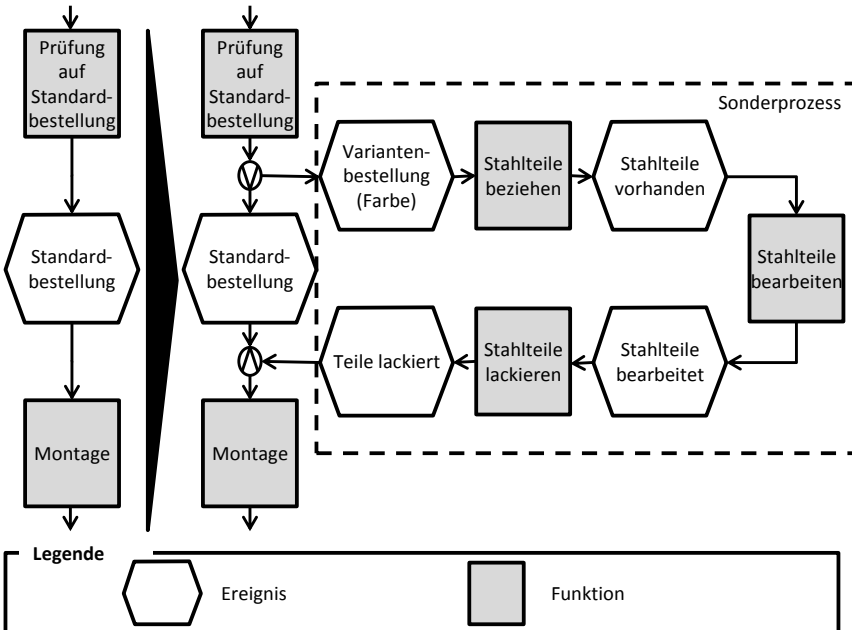


Bild 3.1 Erhöhter Aufwand durch Kundenwunsch

In diesem Beispiel entstehen durch die definition einer neuen kundenrelevanten Eigenschaft, der Farbe, weitere Produktvarianten. Dadurch wird neben der Anzahl der Auftragsabwicklungsprozesse (neuer Unterprozess Lackierung) auch die Größe und der Aufbau der Supply Chain (neue Zulieferer, evtl. Outsourcen der Lackierung) verändert. Da der Aufwand, den eine Produktvariante hervorruft, im Prozess entsteht, wird die Wertigkeit dieser Pro-

duktvariante maßgeblich vom Auftragsabwicklungsprozess und gegebenenfalls durch die Supply Chain beeinflusst. Eine neue Produktvariante, welche den gleichen Prozess durchläuft wie die anderen Produkte, hat einen geringeren Einfluss auf das Unternehmen als eine Produktvariante, welche einen neuen Prozess generiert. Da sich folglich die piK und damit der Aufwand innerhalb der Unternehmen gegebenenfalls drastisch erhöht, gilt es die piK zu reduzieren.

Nach der Definition von FRANKE (Kapitel 2.3.4) handelt es sich bei diesem Beispiel zwar um eine einfache Variante und nicht um eine Sondervariante, da lackierte Koronastationen in mittelhäufigen Stückzahlen gefertigt werden. Jedoch initiiert diese einfache Variante einen hohen Aufwand und einen Sonderprozess, welcher vollständig andere Parameter im Unternehmensprozess beansprucht.

3.1.2 Aus Sicht der industriellen Praxis anhand einer Expertenbefragung

Zum besseren Verständnis der Sicht der industriellen Praxis und zur Bestätigung oder Widerlegung der anhand der Koronastation identifizierten Erkenntnisse wird eine Expertenbefragung durchgeführt. Diese beantwortet die folgenden zwei Fragen:

- Was verstehen die einzelnen befragten Unternehmen unter Komplexität und was sind ihre Ursachen und Auswirkungen?
- Wie erfolgt in den Unternehmen die Erfassung von Prozessen unter Berücksichtigung der Komplexität?

Die weiteren Fragen und Untersuchungsschwerpunkte der Befragung betreffen die Definition und Erfassung von Prozessen in den Unternehmen und sind für diese Arbeit nicht von weiterem Interesse.

Zur weiteren Strukturierung und Detaillierung der beiden genannten Hauptfragen wurde ein Gesprächsleitfaden mit unterschiedlichen Teilfragen erstellt. Dieser Leitfaden diente der Unterstützung der strukturierten Interviews mit Unternehmensexperten zu den unterschiedlichen Vorgehensweisen bei Prozessaufnahme und Prozesskomplexität und ist im Anhang B beigelegt.

Befragt wurden fünf Unternehmen, mit denen im Rahmen dieser Arbeit Projekte zum Komplexitätsmanagement durchgeführt wurden. Durch die geringe Anzahl an teilnehmenden Unternehmen kann diese Umfrage nicht als vollständige empirische Studie verstanden werden. Sie gibt jedoch einen Einblick in die unterschiedlichen Vorgehensweisen zur Beherrschung von Variantenvielfalt und piK in unterschiedlichen Branchen. Tabelle 3.1 zeigt die Profile der befragten Unternehmen. Die Interviewpartner sind hierbei Experten der Produktentwicklung und der Produktion.

Tabelle 3.1 Profile der befragten Unternehmen

	Beschäftigte am Standort	Art der Fertigung	Branche
Unternehmen A	ca. 5000	Massen-/ Serienfertigung	Haushaltsgeräte
Unternehmen B	ca. 1000	Serien-/ Kleinserienfertigung	Maschinenbau
Unternehmen C	ca. 700	Auftrags-/ Einzelfertigung	Verkehrstechnik
Unternehmen D	ca. 2000	Serien-/ Kleinserienfertigung	Verkehrstechnik
Unternehmen E	ca. 2000	Massen-/ Serienfertigung	Sicherheitstechnik

Die Befragung ist in drei Teile untergliedert. Im ersten Teil wird die These postuliert, dass eine Erhöhung der Produktvielfalt zu einer höheren Komplexität im Unternehmen führt. Diese These wird mit den Experten diskutiert. Im zweiten Teil werden die Experten nach ihrem Verständnis von Komplexität befragt und die Organisationseinheiten identifiziert, welche am meisten durch diese Komplexität beeinflusst werden und im letzten Teil werden die Schnittstellen der Produkt- und der Prozessebene diskutiert.

Nach den Interviews mit fünf Unternehmen sowie dem Klären weiterer Fragen, die sich bei der Plausibilisierung und Auswertung ergaben, wurden die Befragungen mit folgenden Ergebnissen analysiert.

Der These, dass eine erhöhte Variantenvielfalt zu einer Erhöhung der Komplexität durch steigende Koordinationsaufwände innerhalb der Geschäftsprozesse, wie in der Beschaffung, Konstruktion, Fertigung und Distribution führt, stimmten alle Experten grundsätzlich zu. Experten aus Unternehmen A und C haben der These allerdings nur eingeschränkt zugestimmt, da nach eigenen Angaben die Organisation in einigen Bereichen so gut aufgestellt ist, dass dort die Vielfalt weniger Komplexität verursacht, als in diesbezüglich weniger gut organisierten Unternehmensbereichen. Außerdem verursachen unterschiedliche Produktfamilien verschiedene Komplexitätsgrade.

Nach der Diskussion der oben genannten These wurden die Experten nach ihrem Verständnis von Komplexität und den Auswirkungen von Produktvielfalt befragt. Im Folgenden sind die unterschiedlichen Antworten der Unternehmensexperten zusammengefasst.

- Experten des Unternehmens A unterscheiden die Begriffe Komplexität und Vielfalt nicht, es werden jedoch zwei Wirkungsrichtungen unterschieden. Zum einen bezieht sich Komplexität auf die Vielfalt der Produkte und zum anderen auf die Auswirkungen der Vielfalt auf die Prozesse. Die Experten verzeichnen eine ansteigende Komplexität insbesondere in den Prozessen der Produktion und der Konstruktion. In Eingangsl Logistik, Beschaffung, Vertrieb und Kundendienst ist lediglich ein moderater Anstieg zu verzeichnen.
- Experten des Unternehmens B beschreiben Komplexität mit Begriffen wie "schwer beherrschbar" und "undurchschaubar". Indirekt hängt danach Komplexität immer mit Kosten zusammen. Durch den Einsatz von Gleichteilen wird versucht, die Komplexität zu beherrschen. Ansteigende Komplexität wird hierbei in erster Linie in der Planung

von Produktion und Konstruktion erkannt. In Eingangslogistik, Beschaffung, beim Kundendienst sowie bei Marketing und Vertrieb ist auch eine ansteigende Komplexität festzustellen, jedoch in geringerem Maße.

- Experten des Unternehmens C verstehen unter Komplexität in erster Linie mehr Schnittstellen zwischen z.B. Abteilungen, Unternehmen oder Lieferanten. Die Zahl der unterschiedlichen Schnittstellen im Unternehmen hat Einfluss auf die Komplexität, da Änderungen in der Organisation die Komplexität stärker erhöhen als die Anforderungen des Kunden an das Produkt. Unterschiedliche Definitionen und Verständnisse von Begriffen innerhalb des Unternehmens und der Supply Chain erhöhen die Komplexität zusätzlich. Unternehmensexperten sehen auch in der Kommunikation einen wesentlichen Grund für den Anstieg der Komplexität.
- Experten des Unternehmens D verstehen unter Komplexität "Toolvielfalt" und "Prozessvielfalt" und erkennen einen hohen Anstieg von Komplexität in der Eingangslogistik, Beschaffung, Produktion, Konstruktion, Distribution und im Kundendienst.
- Experten des Unternehmens E bezeichnen den zusätzlichen Aufwand, welcher durch die hohe Produktvielfalt entsteht als Komplexität. Die Experten erkennen einen sehr großen Komplexitätszuwachs in der Distribution durch die Globalisierung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass alle befragten Unternehmen einen Anstieg der Komplexität wahrnehmen. Hierbei sind die Definitionen des Wortes Komplexität und die Auswirkungen unterschiedlich. Als besonders durch Komplexität betroffen werden von allen befragten Unternehmen die Bereiche Konstruktion, Produktion und Distribution benannt.

Im dritten Teil der Befragung wird mit den Unternehmen diskutiert, ob bei der Entwicklung von Produktvarianten das Hauptaugenmerk auf dem Produkt selbst, oder auf der dadurch hervorgerufenen piK innerhalb der Unternehmensprozesse liegt. Alle Unternehmen bestätigten, dass das Hauptaugenmerk auf dem Produkt liegt, stellen jedoch fest, dass die piK verstärkt untersucht werden sollte. Es wird durch interdisziplinäre Teams in der Planungsphase versucht, den Fokus mehr auf den Prozess zu lenken. Allerdings fehlt hierbei häufig noch eine systematische Unterstützung der Teams.

3.1.3 Aus Sicht des Stands der Wissenschaft

Nach dem Stand der industriellen Situation wird im Folgenden die Produktvielfalt hinsichtlich ihrer Ursachen und Wirkungen aus Sicht der Wissenschaft beschrieben.

Die Vielfalt der Produkte und der daraus resultierende erhöhte Aufwand innerhalb der Prozesse bringt einem Unternehmen einen erheblichen Nutzen, sofern sie richtig gehandhabt wird [Rat93]. Sie bewirkt eine Erhöhung der Kundenorientierung und daraus resultierend eine Nutzensteigerung für den Kunden und eine Umsatzerhöhung für das Unternehmen [Sch05]. Allerdings ist der Nutzen- beziehungsweise Umsatzersatzverlauf mit steigender Anzahl der Produktvarianten in der Regel degressiv [Klu94]. Wenn die variantenorientierte Anpassung der Produkte und Prozesse vernachlässigt wird, kann die Folge daher eine sich selbst verstärkende Spirale aus Diversifikation des Angebotes und Absatzproblemen sein [Rat93].

3.1.3.1 Ursachen der Produktvielfalt

Generell lassen sich die Ursachen für eine hohe Produktvielfalt in externe und interne Ursachen unterteilen. Die externen Ursachen sind marktseitige, gesetzliche oder kulturelle Bedingungen und sind daher nur selten zu vermeiden, solange das entsprechende Marktsegment bedient werden soll [Jes97]. Dagegen ist unternehmensintern bedingte Variantenvielfalt auf ihre Notwendigkeit hin zu prüfen. In vielen Fällen ist ein historisch gewachsenes Produktprogramm, das zu selten oder nicht ausreichend bereinigt wurde, Ursache für eine hohe interne Variantenvielfalt. Wenn die Informations- und Kommunikationssysteme im Unternehmen nicht optimal genutzt werden oder in nicht ausreichendem Maße vorhanden sind, kann es auch zur unnötigen Neubildung von Varianten kommen [Fra02]. Die Ursachen für die Variantenentstehung sind von FRANKE, EVERSHEIM und JESCHKE bereits vielfach diskutiert worden [Eve93], [Fra02], [Jes97]. Tabelle 3.2 fasst die wesentlichen Ergebnisse zusammen.

Tabelle 3.2 Ursachen für die Variantenentstehung nach [Fra02]

Externe	Technologieentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Schnellere Produktzyklen • Neue Technologien • Weltweite Informationsmöglichkeiten des Kunden
	Gesellschaftlicher und politischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> • Zunehmende Individualisierung • Pluralisierung der Werte und Normen • Änderung demografischer Strukturen • Verschiebung Kaufkraftaufkommen • Weltweite politische Veränderungen
	Markt	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Wettbewerb durch Globalisierung • Sättigung traditioneller Märkte • Diversifikation bekannter und neuartiger Bedarfe • Neue wachsende Märkte ausnutzen • Ausgleich von Marktschwankungen • Produktrelaunch
Interne	Kostensituation	<ul style="list-style-type: none"> • Übermächtiger Marktführer • Kostendruck zwingt in Nischen • Auslastungsprobleme
	Methodische Defizite	<ul style="list-style-type: none"> • Variantenvielfalt wird vernachlässigt und ist nicht transparent • Kostenverrechnung nicht verursachungsgerecht • Zeitliche Differenz zwischen Kostenverursachung und Kostenentstehung • Werkzeuge für ein markt- und kostengerechtes Programmkonzept fehlen
	Organisatorische Defizite	<ul style="list-style-type: none"> • Koordinierung unterschiedlicher Bereichssichten findet nicht statt • Zu viele Stellen in der Wertschöpfungskette • Ungeeignete Entscheidungsstrukturen zur Variantenproblematik

SCHUH sieht die Gründe für einen Anstieg der Produktvielfalt an der engen Orientierung der Unternehmen am Markt und insbesondere am Kunden. Dies betrifft nicht nur die kundennahen Unternehmensbereiche, sondern auch alle Prozesse innerhalb der Value Chain [Sch05].

3.1.3.2 Auswirkungen der Produktvielfalt

Bei einer Erhöhung der extern bedingten Produktvielfalt besteht die Gefahr, dass auch die innere Vielfalt unter anderem auf der Prozessebene ansteigt und damit zusätzliche Komplexität verursacht. Nach BECKER et al. führt die Zunahme der Vielfalt zu steigenden Koordinationsaufwendungen innerhalb eines Unternehmens. In der Fertigung müssen beispielsweise mehr Varianten mit jeweils geringeren Losgrößen produziert werden und im Einkauf treten höhere Einkaufspreise auf [Bec09]. Tabelle 3.3 zeigt die Kosten-, Zeit- und Qualitätsauswirkungen der Vielfalt in den unterschiedlichen Unternehmensbereichen.

Tabelle 3.3 Auswirkungen der Vielfalt [Kai95], [Rat93], [Fra02]

Konstruktion/ Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwand für Konstruktion der neuen Teile • Erstellen und Verwalten zusätzlicher technischer Unterlagen • Erhöhter Änderungsaufwand durch Varianten • Pflege zusätzlicher Teile/ Stammdaten
Einkauf/ Logistik	<ul style="list-style-type: none"> • Erschwerte Materialbedarfsermittlung • Höhere Einstandspreise durch kleinere Stückzahlen • Erhöhte Anzahl an Bestellvorgängen • Höhere Lagerbestände zur Aufrechterhaltung der Lieferbereitschaft • Zusätzliche Lieferantensuche und -auswahl
Fertigung/ Montage	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Rüstkosten und Anlaufverluste aufgrund kleinerer Losgrößen • Aufwendigere Fertigungssteuerung, kompliziertere Austaktung des Montagebandes • Auslastungsschwankungen • Geringere Produktivität • Zusätzliche Pläne, Werkzeuge und Vorrichtungen
Rechnungswesen	<ul style="list-style-type: none"> • Anspruchsvollere Kalkulation • Erhöhter Aufwand für Wertanalysen, Einkaufsrichtwerte und Rechnungsprüfung
Vertrieb/ Marketing	<ul style="list-style-type: none"> • Mehraufwand für Vertriebsschulung • Größere Fehlerhäufigkeit bei Auftragsabwicklung • Vergrößerte Anzahl von Verkaufsdokumenten • Aufwendigere Preissetzung
Kundendienst/ Service	<ul style="list-style-type: none"> • Anspruchsvollere Ausbildung des Kundendienstes • Zusätzliche Kundendienstunterlagen • Vergrößerung des Reklamationsrisikos • Erhöhte Ersatzteilbevorratung

Untersuchungen von WILDEMANN bei 29 Unternehmen zeigen zudem für einen Zeitraum von 10 Jahren die Folgen der Auswirkungen der Produktvielfalt auf die Komplexität [Wil91]:

- Zunahme der Artikelzahl um 70 – 130%
- Erhöhung der Anzahl von Produktvarianten um 100 – 420%
- Verkürzung der Produktlebenszyklen um 60 – 80%
- Verminderung der Lieferzeiten um 30 – 90%

3.2 Anforderungen an eine Methode zur Reduzierung der produktvarianten-induzierten Komplexität

Nachdem die Notwendigkeit der Reduzierung der piK aus Sicht der Praxis und der Wissenschaft festgestellt wurde, werden in diesem Kapitel die sich daraus ergebenden Anforderungen an eine Methode zur Reduzierung der piK beschrieben.

Der Entwicklung einer solchen Methode werden die in Kapitel 2.2.2 entwickelten Perspektiven: konstruktive Eigenschaften, Erscheinungsformen, Bezugsobjekte und Wirkung zur Beschreibung der Komplexität wie folgt zu Grunde gelegt.

Die konstruktiven Eigenschaften werden genutzt, um die Anzahl der Elemente im Wertschöpfungsnetzwerk und deren Beziehungen untereinander sowie ihre Veränderlichkeit über die Zeit zu beschreiben [Bro11d].

Die Erscheinungsform wird in objektive und subjektive Erscheinungsform unterteilt. Mit der objektiven Erscheinungsform wird die Komplexität durch

- eine wertschöpfungsgerechte Konstruktion (Design for Supply Chain) und
- die Gestaltung der Wertschöpfungskette (Design of Supply Chain)

reduziert und beherrscht.

Die subjektive Erscheinungsform von Komplexität wird dabei durch die Erhöhung der Transparenz und durch die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter reduziert [Bro11d].

Unter Berücksichtigung der Bezugsobjekte wird der Detaillierungsgrad der Prozesse so gestaltet, dass die Komplexität erkannt und das Gesamtbild beibehalten wird. Bei der Festlegung der Detailtiefe ist zu berücksichtigen, dass der Aufwand und die Kosten der Prozessaufnahme im Verhältnis zum dadurch gewonnenen Nutzen stehen [Bro11d].

Bei der Entwicklung ist zu berücksichtigen, dass die Wirkung der Komplexität neben negativen auch positive Effekte hat. Daher ist die Methode so zu entwickeln, dass durch die Reduzierung der Komplexität die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt nicht eingeschränkt wird.

Die Expertenbefragung aus Kapitel 3.1.2 zeigt, dass sich Unternehmen immer mehr den Herausforderungen der piK stellen müssen. Hierbei muss nach Ansicht der Experten eine integrierte Herangehensweise gewählt werden. Die Entwicklung des Produktes und die Gestaltung der zugehörigen Value Chain gemäß einer Wertschöpfungsstrategie soll danach von einem interdisziplinären Team durchgeführt werden. Einem solchen Team sollten Vertreter von Produktentwicklung, Produktion und Distribution angehören.

Um eine Methode zur Reduzierung der piK zu entwickeln, werden in einem ersten Schritt die Anforderungen definiert. Hierzu werden im Folgenden die einzelnen Charakterisierungskriterien aufgestellt und zu einem Charakterisierungsschema (Bild 3.2) zusammengefasst. Mithilfe dieses Schemas werden dann die bereits existierenden Methoden zur Komplexitätsreduzierung (Kapitel 4) bewertet.

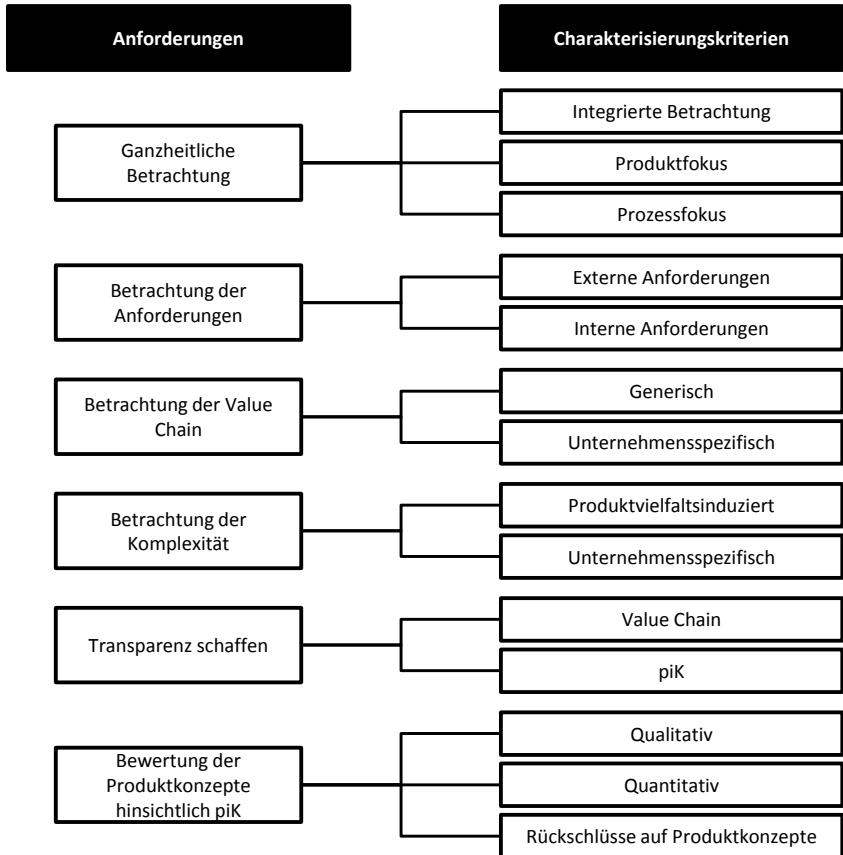


Bild 3.2 Anforderungen an eine Methode zur Reduzierung der piK

Ganzheitliche Betrachtung

Unter ganzheitlicher Betrachtung wird eine integrierte Produkt- und Prozessgestaltung verstanden, die beide Bereiche gleichermaßen berücksichtigt. Methoden und Ansätze, die entweder das Produkt oder den Prozess in den Vordergrund stellen, sind in diesem Sinne nicht ganzheitlich.

Betrachtung der internen Anforderungen

Im Rahmen des Anforderungsmanagements werden hauptsächlich die externen Anforderungen aufgenommen [Cro11]. Diese ergeben sich aus den Kundenwünschen und den Marktanforderungen. Interne Anforderungen, wie z.B. die Anforderungen der Value Chain, des Service oder der Montage, werden nicht explizit betrachtet. Um jedoch die piK zu reduzieren, müssen auch die internen Anforderungen bereits in der Produktentwicklung berücksichtigt werden.

Betrachtung der Value Chain

Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, konzentriert sich der Betrachtungsrahmen auf die Value Chain. Hierbei kann entweder ein generisches Netzwerk (ähnlich der Wertkette nach PORTER) oder ein unternehmensspezifisches Netzwerk betrachtet werden. Da sich die piK auch aus dem Aufbau der Value Chain ergibt, ist eine unternehmensspezifische Betrachtung der Value Chain nötig. Die Anforderungen aus dieser Betrachtung sind dann den Produktentwicklungsprozess zu integrieren.

Betrachtung der vielfaltsinduzierten und unternehmensspezifischen Komplexität

Die zu entwickelnde Methode muss so gestaltet werden, dass die unternehmensspezifische, produktvarianteninduzierte Komplexität innerhalb der Value Chain reduziert wird.

Transparenz schaffen

Eine verständliche, transparente Darstellung der Value Chain sowie der piK ist nötig, um im Rahmen eines interdisziplinären Teams eine gemeinsame Diskussionsbasis zu schaffen und die Kommunikation zwischen verschiedenen Fachbereichen zu fördern. Hierdurch wird ein übergreifendes Verständnis sichergestellt.

Bewertung unterschiedlicher Produktkonzepte hinsichtlich der initiierten Komplexität

Im Rahmen einer integrierten Produkt- und Prozessgestaltung werden unterschiedliche Konzepte entwickelt und parallel weiterverfolgt. Anschließend erfolgt eine Bewertung der Konzepte hinsichtlich ihrer Komplexität. Hierbei muss beachtet werden, dass Komplexität in unterschiedlichen Unternehmen unterschiedlich definiert wird. Daher muss die Bewertung individuell an das Unternehmen angepasst werden können. Da bei einigen Bewertungsansätzen allerdings ausschließlich eine Bewertung auf Basis der jeweiligen Definition und des entsprechenden Verständnisses von Komplexität möglich ist, wird bei der Charakterisierung der Bewertungsansätze zwischen unternehmensspezifisch (an das Unternehmen angepasst) und generisch (nicht an das Unternehmen angepasst) unterschieden.

Im Rahmen der zu entwickelnden Methode darf durch die Reduzierung der Komplexität die Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt nicht eingeschränkt werden.

4 Stand der Wissenschaft

In diesem Kapitel wird der derzeitige Stand der Wissenschaft im Komplexitätsmanagement untersucht, zusammengefasst, analysiert und unter Berücksichtigung der zuvor identifizierten Anforderungen an eine zu entwickelnde Methode (Kapitel 3.2) bewertet.

Hierzu wird zunächst der am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) entwickelte Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien (Integrierter PKT-Ansatz) vorgestellt. Dieser stellt durch die Reduzierung der internen Produktvielfalt einen Ansatz des Variantenmanagements dar und ist der Bezugsrahmen dieser Arbeit.

Des Weiteren werden sowohl andere Methoden zur Reduzierung von Komplexität (Kapitel 4.2) als auch verschiedene Ansätze zur Bewertung von Komplexität (Kapitel 4.3) untersucht. Es wird dabei auf die Methoden und Ansätze näher eingegangen, welche insbesondere die piK behandeln und sich mit den für diese Arbeit wichtigen Handlungsfeldern Transparenz schaffen, Supply Chain Management, Anforderungsmanagement und Variantenmanagement beschäftigen.

Die Beschreibung der Ansätze berücksichtigt folgende Fragestellungen, welche die Anforderungen an eine Methode zur Reduzierung der piK darstellen:

- Welche Definition von Komplexität liegt dem Ansatz zugrunde?
- Wird ein produkt- und prozesseitiges Komplexitätsmanagement angestrebt?
- Werden sowohl externe als auch interne Anforderungen berücksichtigt?
- Wird durch den Ansatz die Transparenz erhöht?
- Inwieweit findet eine Bewertung der Komplexität statt?

4.1 Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien

Um individualisierte Produkte zu weltweit marktfähigen Kosten und damit Preisen zu entwickeln, wurde am Institut PKT der Integrierte PKT-Ansatz entwickelt. Dieser hat das Ziel, die benötigte externe Produktvielfalt mit einer geringen internen Vielfalt bereitzustellen.

Der Integrierte PKT-Ansatz (Bild 4.1) konzentrierte sich zu Beginn dieser Arbeit auf die Produktebene und besteht aus den Modulbausteinen

- Variantengerechte Produktgestaltung und
- Produktlebensphasen-Modularisierung.

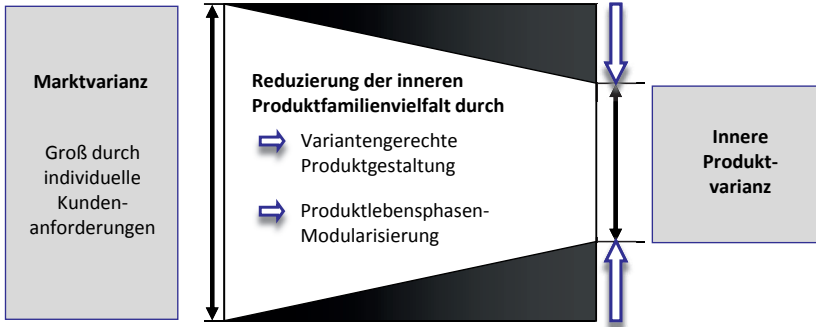


Bild 4.1 Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien [Kip08]

Die Modulbausteine werden, wie im Bild 4.2 dargestellt, in sequenzieller Abfolge angewendet. Variantengerechte Produktgestaltung hat das Ziel, variantengerechte Komponenten so zu entwickeln und zu konstruieren, dass die interne Produktvielfalt auf Komponentenebene reduziert wird. Die Produktlebensphasen-Modularisierung greift diesen Komponentensatz auf und erzeugt eine Modularisierung, die zusätzlich die unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen Lebensphasen des Produktes berücksichtigt. Die reduzierte interne Produktvielfalt der Produktfamilie ermöglicht eine bessere modulare Produktstruktur [Kip10], [Ble10], [Ble11].

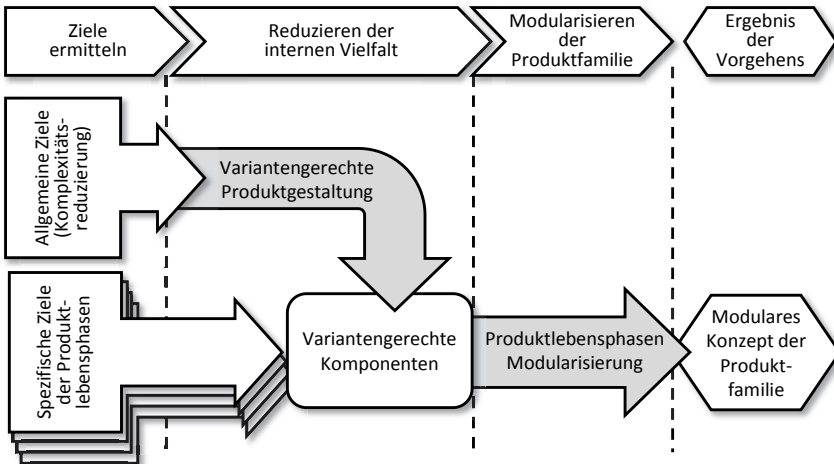


Bild 4.2 Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien [Kip10]

Der Integrierte PKT-Ansatz bietet mehrere, speziell entwickelte Visualisierungswerkzeuge für unterschiedliche Zwecke von Kommunikation, Dokumentation und Entscheidungsfindung.

Diese Werkzeuge werden in den unterschiedlichen Modulbausteinen eingesetzt und visualisieren die Informationen, welche für die Beantwortung einer konkreten Frage benötigt werden. Im Folgenden werden die beiden Visualisierungswerkzeuge „Vielfaltsbaum“ und „Module Interface Graph“ näher erläutert, da diese auch einen direkten Bezug zu der Methode haben, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde.

Der **Vielfaltsbaum** visualisiert die externe Produktvielfalt und den Auswahlprozess des Kunden. Es werden die verschiedenen kundenrelevanten Eigenschaften abgebildet. Der Baum fächert sich entsprechend den Ausprägungen der Eigenschaften auf. Somit stellt jeder Zweig des Baums eine externe Produktvariante dar. Gegenüber einer tabellarischen Abbildung bietet die Baumstruktur den visuellen Vorteil der intuitiven Erfassbarkeit [Kip12].

Bild 4.3 zeigt den Vielfaltsbaumes eines Roboterstaubsaugers. Der Kunde kann entscheiden, welche Flächenleistung der Roboterstaubsauger benötigt, ob er für Glattboden geeignet, und ob Dirt-Detect vorhanden sein soll. Insofern ergeben sich beispielhaft acht Produktvarianten. Das vorliegende Beispiel wurde bewusst einfach gewählt. Über die hier betrachteten Varianten hinaus gibt es für den Staubsauger noch weitere kundenrelevante Eigenschaften, so dass die tatsächliche Produktvielfalt deutlich höher ist.

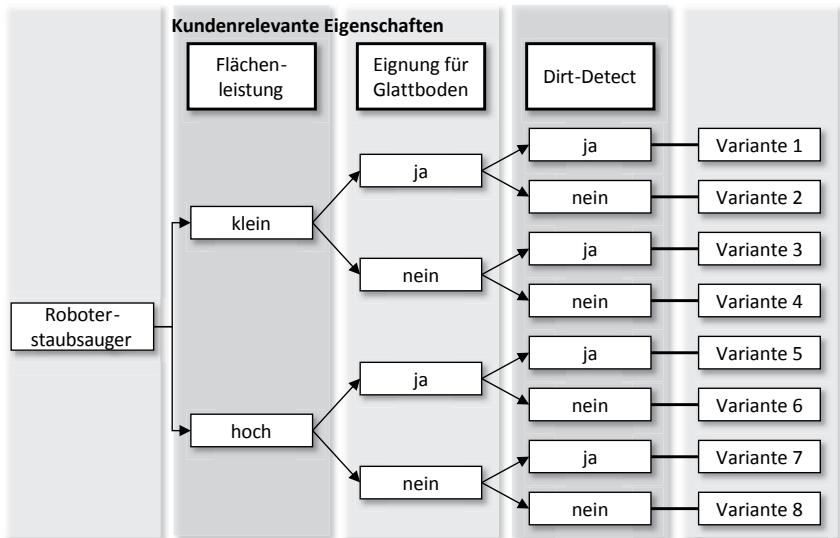


Bild 4.3 Ausschnitt aus dem Vielfaltsbaum eines Roboterstaubsaugers

Der **Module Interface Graph** (MIG) wird verwendet, um die räumliche Anordnung der Komponenten zueinander und einen Überblick über die verschiedenen Ströme (Information, Material, elektrische Leistung) darzustellen. Des Weiteren wird visualisiert, ob es sich bei den betrachteten Komponenten um standardisierte, variante, optionale und/oder in Anzahl variante Komponenten handelt. Außerdem wird eine grobe Darstellung des Produktes beibehalten und nicht ein im Detail fertig konstruiertes Produkt suggeriert. Bild 4.4 zeigt die MIG Dar-

Tabelle 4.1 Übersicht und Einordnung der Literatur

Fokus auf Logistiksysteme	Fokus auf die Supply Chain	Fokus auf innerbetriebliche Prozesse
<p>Logistische Netzwerke von BRETZKE [Bre08]</p> <p>Logistical network design with robustness and complexity considerations nach MEEPETCHDEE [Mee07]</p> <p>Integration des Komplexitätsmanagements in den strategischen Führungsprozess der Logistik nach MEYER [Mey06]</p> <p>Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik nach WESTPHAL [Wes00]</p>	<p>Can You Reduce Your Supply Chain Complexity? - Simplify your supply chain to cut costs and improve overall performance. nach HOOLE [Hoo04]</p> <p>Product variety and manufacturing complexity in assembly systems and supply chains nach Hu [Hu08]</p> <p>Komplexitäts- und Risikomanagement als Methodenbausteine des Supply Chain Managements nach KERSTEN [Ker07]</p> <p>Die Frage der optimalen Komplexität in Supply-Chains und Supply-Netzwerken nach KLAUS [Kla05]</p> <p>Design for Supply Chain Management nach LEE [Lee94]</p>	<p>Produktportfoliooptimierung in Transportnetzwerken nach HUCH [Huc05]</p> <p>Ganzheitliches Komplexitätsmanagement nach KIRCHHOF [Kir03]</p> <p>Produktkomplexität managen nach SCHUH [Sch05]</p> <p>Komplexitätsmanagement nach WILDEMANN [Wil00]</p>

Da im Rahmen dieser Arbeit der Fokus nicht auf der Logistik, sondern auf der Reduzierung von piK in der Value Chain liegt, werden im Folgenden die Ansätze mit Fokus auf die Supply Chain und mit Fokus auf innerbetriebliche Prozesse näher vorgestellt. Hierbei werden die Ansätze berücksichtigt, welche die wertschöpfenden Tätigkeiten der Supply Chain und der innerbetrieblichen Prozesse im Fokus haben.

4.2.1 Reduce Supply Chain Complexity nach Hoole

Basierend auf einer Untersuchung von mehr als 500 Unternehmen durch die Beratungsfirma PricewaterhouseCoopers stellt HOOLE einen Ansatz vor, die Supply Chain zu vereinfachen. Das Ziel ist die Reduzierung der Kosten und die Verbesserung der Effizienz der Supply Chain [Hoo04]. HOOLE unterteilt die Supply Chain in vier Prozesselemente gemäß Supply Chain Operations Reference Model (SCOR): Planung (plan), Beschaffung (source), Herstellung (make) und Lieferung (deliver). Das SCOR-Modell der US amerikanischen Non-Profit Organisation Supply Chain Council verfolgt das Ziel eine Standardmethode zu entwickeln, die alle Gesichtspunkte einer Supply Chain analysieren und beschreiben kann [Pol07]. Die vier Prozesselemente können wie folgt beschrieben werden [Pol07]:

- Plan (Planung) – Nachfrage und Angebot sollen in Einklang gebracht werden.
- Source (Beschaffung) – Vorprodukte und Dienstleistungen werden zur Verfügung gestellt.
- Make (Produktion) – End- beziehungsweise Zwischenprodukte werden produziert, die an Kunden ausgeliefert werden können.
- Deliver (Lieferung) – Produkte oder Dienstleistungen werden an Kunden geliefert.
- Return (Rückgabe) – Annahme der Rücksendung fehlerhafter Produkte (Dieser Prozess wurde von HOOLE nicht berücksichtigt und wird insofern nicht weiter untersucht.)

Durch die Untersuchung der Supply Chains der unterschiedlichen Unternehmen hat HOOLE fünf Haupteinflussgrößen auf die Effizienz der Supply Chain identifiziert [Hoo04]:

- Configuration (Konfiguration) – Wo stehen die Anlagen der Supply Chain; welche Materialflüsse bestehen?
- Management Practices (Managementtätigkeiten) – Wie wird die Supply Chain gehandhabt und betreut?
- Relationships (Beziehungen) – Wie geht das Unternehmen mit externen Partnern und Zulieferern um?
- Organization (Organisation) – Wer ist verantwortlich; wie wird die Effizienz der Supply Chain gemessen beziehungsweise überprüft?
- Information Systems (Informationssysteme) – Wie werden die nötigen Informationen zur richtigen Zeit bereitgestellt; auf welcher Informationsgrundlage werden Entscheidungen getroffen?

Diese vier Prozesselemente und die fünf Haupteinflussgrößen stellt HOOLE in einer Matrix gegenüber und ordnet deren Feldern einzelne Methoden zur Komplexitätsreduzierung zu (Bild 4.5).

		Prozesselemente der Supply Chain			
		Plan	Source	Make	Deliver
Hauptinflussgrößen auf die Supply Chain Effizienz	Configuration	Produkt-konfiguration	Bereinigung der Teile	Bereinigung der Fabriken	Reduzierung der Distributionsstufen
	Management Practices	Postponement	Design for Sourcing	Lean Manufacturing	Reduzierung von Preisschwankungen
	Relationships	Markt-segmentierung	Zusammenarbeit mit Zulieferern	Outsourcing	Zusammenarbeit mit Kunden
	Organization	Verkaufsplanung	Outsourcing der Materialwirtschaft	Lieferanten-gesteuerter Bestand	Call Center
	Information Systems	Lieferanten-gesteuerter Bestand	eProcurement	Wiederholende Herstell-technologien	eCommerce

Bild 4.5 Methoden zur Komplexitätsreduzierung nach [Hoo04]

4.2.2 Product Variety and Manufacturing Complexity in Assembly Systems and Supply Chains nach Hu

Da eine hohe Komplexität in Montagesystemen und in Supply Chains nach Hu zu menschlichem Fehlverhalten und somit zu einer Verminderung der Effizienz führt, entwickelte Hu eine einheitliche Messgröße für Komplexität und leitet daraus Maßnahmen zur Komplexitätsreduzierung ab. Komplexität wird dabei als Entropiefunktion der Produktvielfalt definiert [Hu08]. Komplexität ist die durchschnittliche Unsicherheit in einem Prozessschritt (Montageschritt), eine bestimmte Produktvariante bearbeiten zu müssen. Bild 4.6 zeigt das Beispiel, dass Zulieferer 1 die Komponente A in drei verschiedenen Varianten (A_1 , A_2 und A_3) und Zulieferer 2 die Komponente B in zwei unterschiedlichen Varianten (B_1 und B_2) anliefert. Das Unternehmen kann somit sechs Varianten montieren. Komplexität ist nun die Unsicherheit in einem bestimmten Montageschritt, z.B. Montage der Variante A_2B_2 . Durch sequentielle Montage in gegebenenfalls unterschiedlichen Supply Chain Stationen erhöhen sich nach hinten in der Wertschöpfungskette die Unsicherheit und die Komplexität. Hu entwickelte eine Kennzahl, welche drei Faktoren die Komplexität beschreiben, berechnet und addiert [Hu08]:

- Anzahl der Elemente innerhalb der Supply Chain und ihre Verbindungen zueinander
- Mögliche Anzahl an Produktvarianten in jedem Element
- Unsicherheit in jedem der Elemente

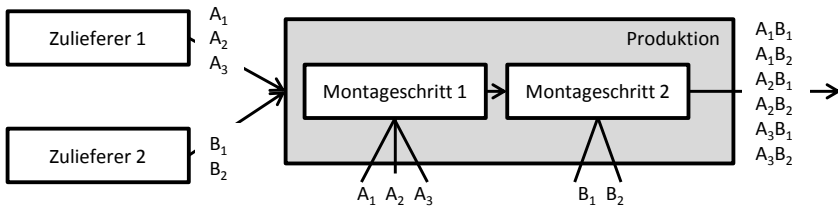


Bild 4.6 Beispiel der Unsicherheit in einer sequentiellen Montage nach [Hu08]

Aus dieser Kennzahl leitet Hu die zwei Maßnahmen Montagereihenfolge festlegen und Supply Chain konfigurieren ab, um die Komplexität zu reduzieren [Hu08].

Montagereihenfolge festlegen

Da die Komplexität durch die Anzahl der Produktvarianten in jedem Prozessschritt beeinflusst wird, ist im oben genannten Beispiel eine Montagereihenfolge zu bevorzugen, welche zuerst die Komponente B und anschließend die Komponente A montiert. Dadurch wird im ersten Montageschritt die Komplexität reduziert, da zwei anstatt drei Produktvarianten gehandhabt werden müssen. Im zweiten Montageschritt sinkt die Komplexität ebenfalls, da die Wahrscheinlichkeit, eine bestimmte Produktvariante zu erhalten, steigt [Hu08].

Supply Chain konfigurieren

Mit der Konfiguration der Supply Chain wird angestrebt, modulare Supply Chain Strukturen zu entwickeln. Modulare Strukturen bedeuten, dass nicht alle Zulieferteile direkt zum Hersteller geliefert werden, sondern dass eine Vormontage bereits bei Zulieferern stattfindet. Dadurch reduziert sich die Anzahl der direkten Zulieferer und somit die Komplexität. Hierfür schlägt Hu die folgenden drei Schritte vor [Hu08]:

- Bilde alle möglichen Supply Chain Konfigurationen ab.
- Berechne die Komplexität für jede einzelne Konfiguration.
- Vergleiche die Ergebnisse und erhalte die optimale Supply Chain Struktur.

4.2.3 Komplexitäts- und Risikomanagement als Methodenbausteine des Supply Chain Managements nach Kersten

KERSTEN ET AL definieren Komplexität als Anzahl und Verschiedenheit von Elementen und Verbindungen und beschreiben Variantenvielfalt als wichtigen Treiber der Supply Chain Komplexität. Da z.B. ein Anstieg der Komplexität auch einen Risikotreiber darstellt, ist eine enge Koordination der Bereiche Komplexitätsmanagement und Risikomanagement nötig, um ungewollte Beeinflussungen zu vermeiden. Aus der Kombination von Komplexitäts- und Risikomanagement mit dem Supply Chain Management entstehen zwei neue Methodenbausteine [Ker07]:

- Supply Chain Complexity Management
- Supply Chain Risk Management

Die Maßnahmen zum Management der Komplexität in der Supply Chain können hierbei, wie in Tabelle 4.2 dargestellt, nach den Gestaltungsobjekten Produkt, Struktur und Prozess unterschieden werden [Ker07].

Tabelle 4.2 Maßnahmen zum Management von Komplexität nach [Ker07]

Gestaltungs-objekt	Maßnahme	Verfolgtes Ziel
Produkt	Standardisierung	Reduzierung der Einzelteile
	Produktprogrammberreinigung	Streichung wirtschaftlich unrentabler Produktvarianten
	Portfoliobereinigung	Streichung wirtschaftlich unrentabler Produktvarianten
	Modularer Produktaufbau	Reduzierung und Vermeidung der Komplexität durch die Abbildung zukünftiger Veränderungsbedarfe
Struktur	Lieferantenportfoliomanagement	Reduzierung der Anzahl der direkten Lieferanten
	Modularer Organisationsaufbau	Übertragung von Komplexität auf Dritte
	Segmentierung der Märkte	Übertragung von Komplexität auf Dritte
	Integration von Logistikdienstleistern	Übertragung von Komplexität auf Dritte
Prozess	Auswahl geeigneter Materialbereitstellungsmodelle	Reduzierung der Komplexität der Steuerungsprozesse
	Flexible Fertigungssysteme	Reduzierung der Koordinationskomplexität
	Integration von Lieferanten	Reduzierung der Koordinationskomplexität

4.2.4 Die Frage der optimalen Komplexität in Supply-Chains nach Klaus

Nach KLAUS ist in letzter Zeit die Supply Chain in den Fokus des Managements gerückt, so dass mittlerweile Einflussfaktoren, wie

- die Verteilung von Aufgaben zwischen den Akteuren der Supply Chain,
- die Struktur von Verknüpfungen und Beziehungen zwischen den Akteuren und deren Qualität und
- die Koordination zwischen den Akteuren

auch vom Management verstärkt untersucht werden [Kla05].

KLAUS stellt in diesem Zusammenhang die Fragen „Ob und wie weit alternative Komplexitätsverteilungen zwischen den Akteuren Einfluss auf den Erfolg der gegebenen Supply Chain im Wettbewerb haben?“ und „Welche Handlungs- und Gestaltungsoptionen sich daraus ableiten lassen?“ [Kla05].

Komplexität wird durch die folgenden Faktoren beschrieben [Kla05]:

- Anzahl der Supply Chain Akteure
- Vernetzungsgrad der Supply Chain
- Unsicherheit der Verhaltensregeln im System
- Zahl der Variantenvielfalt der Produkte

Hieraus leitet KLAUS seine These der Balancierung von Supply Chain Management-Komplexität ab. Diese besagt, dass eine Verlagerung von Komplexität auf einen Supply Chain Partner sinnvoll ist, wenn dieser noch über freie Planungs- und Steuerungskapazitäten verfügen. Je größer die zu beherrschende Gesamtkomplexität ist, umso stärker sieht KLAUS die Notwendigkeit, die Komplexität in der Supply Chain zu balancieren. Als praktische Konsequenz ergeben sich hieraus folgende Empfehlungen [Kla05]:

- Bei einer großen Vielzahl von Kundengruppen beziehungsweise einer hohen Sortimentsbreite ist eine kleinere und leichter beherrschbare Supply Chain anzustreben. Dies kann durch Segmentierungsmaßnahmen erfolgen.
- Eine balancierte Verteilung der Komplexität auf mehrere Partner ist durchzuführen, wenn die Gesamtkomplexität der Supply Chain nicht weiter zu reduzieren ist.
- Kontinuierliche Vereinfachungsmaßnahmen in den Bereichen Produkt-, Prozess- und Strukturkomplexität sind zur Vermeidung eines schleichenden Zuwachses von Komplexität durchzuführen.

4.2.5 Design for Supply Chain Management nach Lee

Nach LEE bestehen bis zu 26% der Gesamtkosten einer Firma aus Logistikkosten [Lee97]. Daher beschreibt LEE verschiedene Konzepte des Design for Supply Chain Management, welche auf dem Prinzip des Postponements basieren [Lee93]. Hierbei soll durch die Entwicklung von Produkten, welche den Anforderungen der Auftragsabwicklung entsprechen, eine höhere Flexibilität und Effizienz in der Logistik und in der Auftragsabwicklung erzielt werden. Beispielhaft zeigt LEE dies an Deskjet Druckern der Firma Hewlett-Packard (HP).

Im Rahmen des Design for Supply Chain Management unterscheiden LEE UND BILLINGTON fünf Hauptschritte in der Produktion und Distribution von technologischen Produkten [Lee94]:

1. Manufacturing
Das Kernprodukt wird hergestellt, welches entweder ein generisches Produkt oder aber eine geringe Anzahl von Produkten beziehungsweise Produktteilen darstellt (z.B. der Druckermotor und das Gehäuse).
2. Integration
Das Kernprodukt wird mit der Hauptunterbaugruppe kombiniert (z.B. der Leiterplatte des Druckers).
3. Customizing
Die vom Kunden geforderte Individualisierung der Produkte wird durchgeführt (z.B. unterschiedliche Software bei Computern).

4. Localization

Die Produkte werden für verschiedene Märkte konfiguriert (z.B. unterschiedliche Netzteile).

5. Packaging

Das Produkt wird nach Kundenwunsch verpackt. Somit enthält jedes Paket eine andere Anzahl von Elementen (z.B. ein Paket mit einer oder mehreren Farbkartuschen).

Daraus ergibt sich nach LEE ein so genannter Variety Proliferation Tree (Variantenausbreitungsbaum). Bild 4.7 zeigt beispielhaft einen solchen Variantenausbreitungsbaum.

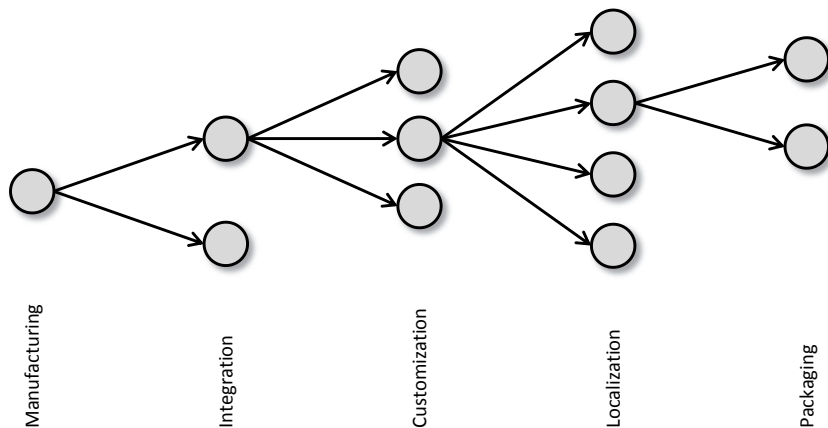


Bild 4.7 Variantenausbreitungsbaum nach [Lee93]

Um die Komplexität zu vereinfachen, schlagen LEE UND BILLINGTON die Strategie des Design for Postponements vor. Hierdurch wird der Variantenentstehungspunkt verschoben [Lee94]. Dazu können in den fünf unterschiedlichen Hauptschritten verschiedene Prinzipien herangezogen werden (Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3 Prinzipien des Design for Supply Chain Managements nach [Lee94]

Hauptschritt	Prinzipien des Design for Supply Chain Management
Manufacturing	Standardisierung / Kommunalität
Integration	Modularisierung
Customization	Modularisierung / montagegerechte Konstruktion
Localization	Universelle / externe Energiezufuhr
Packaging	Bulkverpackungsgerechte Konstruktion

FEITZINGER UND LEE zeigen in [Fei96] am Beispiel der HP Deskjet Drucker, wie der Hauptschritt der Localization von der Fabrik zum Distributionszentrum beziehungsweise zum Hub verschoben wurde.

Ursprünglich wurden alle internationalen Varianten des Druckers in Singapur einschließlich der Stromversorgung hergestellt und verpackt. Anschließend wurden diese in unterschiedliche Hubs weltweit verteilt. Nach der Umsetzung der Prinzipien der Localization wurde in Singapur ein generischer Drucker ohne Stromversorgung hergestellt und an die Hubs versendet. Die Stromversorgung (das Netzteil) und auch die Handbücher werden den generischen Produkten nun im Hub beigefügt, verpackt und an den Kunden verkauft [Fei96].

Um diese Verschiebung in der Localization zu realisieren, musste HP sowohl die Distributionsstruktur als auch die Produktstruktur des Druckers ändern. Die Hubs mussten zum einen befähigt werden, dem Drucker Komponenten beizulegen und alles zu verpacken und zum anderen direkt mit den entsprechenden Netzteilen und Handbüchern beliefert werden. Die Produktstruktur musste geändert werden, da das Netzteil zuvor in das Druckergehäuse integriert war [Fei96].

4.2.6 Produktportfoliooptimierung in Transportnetzwerken nach Huch

HUCH unterteilt Komplexität in Elemente-Komplexität, Relationen-Komplexität und dynamische Komplexität [Huc05].

Elemente-Komplexität beschreibt hierbei die Anzahl und Heterogenität der Elemente. Das Ziel des Komplexitätsmanagements ist es die Elemente-Komplexität durch ein geeignetes Variantenmanagement, wie z.B. die Standardisierung, zu reduzieren ohne eine Umsatzreduktion hervorzurufen [Huc05].

Relationen-Komplexität beschreibt die Art und Anzahl der Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems. Diese kann durch Packaging und Modularisierung reduziert werden. Beim Packaging werden einzelnen Systemelementen nur noch Beziehungen zu bestimmten anderen Elementen erlaubt und damit die Relationen-Komplexität reduziert. Die Auslagerung der Produktion kompletter Module (Modularisierung) zu Zulieferern reduziert sowohl die Elemente- als auch die Relationen-Komplexität [Huc05].

Die dynamische Komplexität beschreibt die zeitliche Veränderung eines Systems. Diese wird durch organisatorische Instrumente, wie z.B. dem Abschluss von Langzeitverträgen, reduziert [Huc05].

4.2.7 Ganzheitliches Komplexitätsmanagement nach Kirchhof

KIRCHHOF definiert Komplexität als Anzahl und Art aller Elemente eines Systems und ihrer Verbindungen zueinander.

Das von ihm entwickelte ganzheitliche Komplexitätsmanagement besteht aus drei Hauptbestandteilen [Kir03]:

- Lenkungsmodell zur Strukturierung und Lenkung des Unternehmens
- Konfigurationsmodelle zur Darstellung der Komplexitätsstrukturen
- Planungskonzept zur Analyse, Planung und Gestaltung von Komplexität

Das Lenkungsmodell besteht aus verschiedenen Regelkreisen der Systemlenkung, der Informationsaufnahme und -verarbeitung und des Verhaltens von Akteuren.

Mit den Konfigurationsmodellen wird die Modellierung der Marktkomplexität und der Komplexitätstreiber ermöglicht.

Unter Planungskonzept versteht KIRCHHOF zwei Handlungsfelder zum Umgang mit Komplexität. Zum einen eine Komplexitätserhöhung als Reaktion auf eine komplexe Systemumgebung, z.B. durch die Erweiterung von Märkten, Prozessen, Kooperationen und Technologien. Zum anderen eine Komplexitätsreduzierung, um eine Stärkung bestehender Ordnungsstrukturen und eine Verringerung der Freiheitsgrade im System zu erlangen.

4.2.8 Produktkomplexität managen nach Schuh

Der Ansatz von SCHUH [Sch05] verfolgt die Grundgedanken:

- Komplexität sollte ganzheitlich verstanden werden. Hierzu müssen alle Beziehungen zwischen der Strategie des Unternehmens, der Produktstruktur und den Maßnahmen des Komplexitätsmanagements erkennbar sein.
- Die Produktkomplexität steht als Ursache der Unternehmenskomplexität im Vordergrund.
- Komplexitätsmanagement sollte mithilfe eines erprobten Werkzeugkastens angegangen werden. Hierbei ist eine Unterstützung durch Berater wichtiger als der wissenschaftliche Diskurs oder eine theoretische Herleitung.

SCHUH versteht Komplexität in diesem Zusammenhang in Anlehnung an ULRICH UND PROBST [Ulr95] als „...Systemeigenschaft, deren Grad von der Anzahl der Systemelemente, von der Vielzahl der Beziehungen zwischen diesen Elementen sowie der Anzahl möglicher Systemzustände abhängt.“ [Sch05].

Um diese Komplexität managen zu können, identifiziert SCHUH in Anlehnung an REISS [Rei93] und SCHULTE [Sch95] die folgenden, wesentlichen Komplexitätstreiber:

- Unternehmensgröße (Beschaffungszahl, Sortimentsbreite, Fertigungstiefe, Standorte)
- Diversifikation in den Geschäftsbereichen
- Anzahl interner (Organisationseinheiten) und externer (Zulieferer, Absatzkanäle) Schnittstellen
- Schnittstellendichte
- Sortimentsbreite
- Dynamik, Diskontinuitäten
- Unsicherheit, Intransparenz

Die Berücksichtigung dieser Komplexitätstreiber ist nötig, um die verschiedenen Aspekte und Perspektiven der Komplexität zu erfassen und ein ganzheitliches Komplexitätsmanagement durchzuführen. Das Komplexitätsmanagement selbst teilt SCHUH dann in vier Phasen auf [Sch05]:

1. Produktvielfalt entwickeln
Hierbei greift SCHUH auf die Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) von CAESAR [Cae91] zurück. Diese besteht aus den vier Arbeitsschritten marktorientierte Ermittlung und Gestaltung der Produktvarianten, Ableiten von Gestaltungsalternativen, Bewertung der alternativen Lösungen und schlanker Vertrieb der komplexen Produkte.
2. Produktvielfalt bewerten
Hierzu schlägt SCHUH das Zielkostenmanagement und die ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung vor. Dieses Vorgehen berücksichtigt den variantenabhängigen Wertverzehr aller Unternehmensressourcen.
3. Kommunikation und Vertrieb variantenreicher Produkte
Zur Beherrschung der Datenkomplexität nutzt SCHUH hierbei Product Lifecycle Management Systeme (PLM Systeme) zur Unterstützung des Struktur- und Konfigurationsmanagements. Hierdurch werden alle Projektdaten und Dokumentationen organisiert und verwaltet.
4. Produktvielfalt produzieren
Zur Produktion der Vielfalt ist eine Verschiebung des Variantenentstehungspunktes in Richtung des Endes der Wertschöpfungskette anzustreben.

Zur Unterstützung des Komplexitätsmanagements hat SCHUH den „Complexity Manager“ entwickelt, welcher aus drei modularen Bausteinen besteht, den Modulen F, V und C [Sch05].

Das Modul F unterstützt die Frage, welche Produktvarianten angeboten werden sollen. Hierfür wird eine systematische und vollständige Darstellung des Produktprogrammes aus externer Sicht mithilfe eines Merkmalsbaumes aufgestellt [Sch05].

Das Modul V nutzt die Darstellung des Variantenbaumes zur Klärung der Frage, wie diese Produktvarianten technisch realisiert werden sollen. Der Variantenbaum stellt eine systematische Darstellung des Produktprogramms aus interner, technischer Sicht dar. Hierbei werden anhand von importierten Stücklisten die Bauteile beziehungsweise Baugruppen in Anlehnung an die Montagereihenfolge sortiert. Dieser Variantenbaum dient sowohl bei der Entwicklung und Bewertung der Produktvielfalt als auch bei der Produktion der Produktvielfalt als visuelle Unterstützung zur Optimierung der Produkt- und Montageprozessgestaltung. Anzustreben ist ein möglichst schlanker Variantenbaum (Bild 4.8) [Sch05].

Das Modul C unterstützt die Bewertung der Produktvielfalt durch die Prognose der zu erwartenden Produktkosten [Sch05].

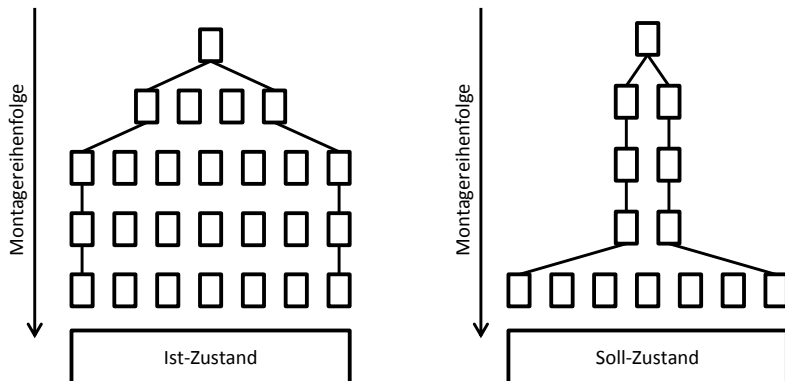


Bild 4.8 Variantenbaum zur Optimierung der Montageprozessgestaltung nach [Sch05]

4.2.9 Komplexitätsmanagement nach Wildemann

Nach WILDEMANN ist eine Handhabung der Komplexität sowohl bei der Produktgestaltung als auch der Prozessgestaltung anzustreben. Komplexität definiert sich hierbei durch die [Wil09]:

- Anzahl der einbezogenen Einheiten
- Anzahl der Aktionen zwischen den Einheiten
- Anzahl der Beziehungen zwischen den Einheiten
- Variabilität der Aktionen und Beziehungen

Die zur Umsetzung erarbeiteten Prinzipien der drei Komplexitätsmanagementstrategien finden in der gesamten Wertschöpfungskette vom Innovationsprozess über den Auftragsabwicklungsprozess bis hin zum Distributionsprozess statt. Die Maßnahmen können in die folgenden drei Phasen unterteilt werden [Wil09]:

- Produktgestaltung durch Variantenmanagement
- Aufbau modularer Organisationsstrukturen
- Segmentierung des Auftragsabwicklungsprozess

Anhand des Variantenmanagements werden die drei Komplexitätsmanagementstrategien verdeutlicht. WILDEMANN erarbeitet in verschiedenen Projektstudien die im Bild 4.9 dargestellten Möglichkeiten zur Umsetzung dieser Strategien [Wil09].

Zu diesen Möglichkeiten werden von WILDEMANN unterschiedliche, in der Literatur und in der Praxis bekannte und bereits verwendete Methoden vorgeschlagen. Das Variantenmanagement ist eine Aufgabe der Entwicklung und der Produktion. Die Unternehmen werden dadurch gezwungen, ihr bestehendes Produktionsprogramm auf ihre Wirtschaftlichkeit zu überprüfen und eine effizientere Produktion anzustreben [Wil09].

Durch die gleichzeitige Entwicklung des Produktes sowie des dazugehörigen Prozesses und die frühzeitige Berücksichtigung der Anforderungen aller Bereiche beim Einsatz von Simultaneous Engineering wird ein präventives Variantenmanagement durchgeführt [Wil09].

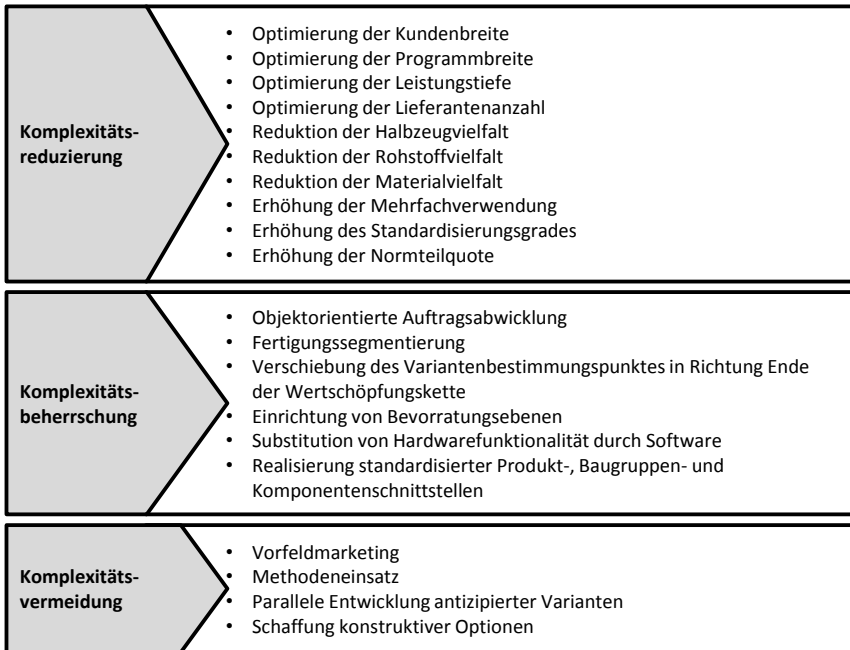


Bild 4.9 Strategien des Variantenmanagements [Wil09]

Das Ziel der modularen Organisationsstrukturen ist es, Verschwendung so weit wie möglich zu reduzieren. Hierfür muss die Frage nach dem Nutzen aller Aktivitäten im Mittelpunkt der wertanalytischen Überlegungen stehen. Dazu sollen prozessorientierte Organisationsstrukturen von der ersten Wertschöpfungsstufe bis zur Vertragserfüllung geschaffen werden. Diese erfordern kleine, eigenständig agierende und autonom handelnde Einheiten, die WILDEMANN als modulare Organisationsstrukturen bezeichnet [Wil09].

Zur Reorganisation der bestehenden Organisationsstruktur hin zu einer modularen Organisationsstruktur schlägt Wildemann sechs Leitlinien vor [Wil09]:

- Organisationsentwicklung von außen nach innen
- Prozessorientierte Organisationsgestaltung
- Wertschöpfungskonzentration und Orientierung an Kernkompetenzen
- Delegation von Kompetenzen und Verantwortung
- Fokussierung auf den Faktor Zeit
- Qualitätsorientierung in Geschäftsprozessen

Die Einführung einer modularen Organisation mit dem Ziel einer kundenorientierten Produktion und Auftragsabwicklung zeigt in einer empirischen Erhebung positive Auswirkungen auf die Variablen Zeit, Bestände, Produktivität und Qualität [Wil94].

Durch die Segmentierung des Auftragsabwicklungsprozess sollen schlanke, an den Geschäftsprozessen orientierte Strukturen der Auftragsabwicklung realisiert werden. Da die in der Vergangenheit angewandte Strategie der getrennten Optimierung von Vertrieb, Konstruktion, Produktion und Materialwirtschaft in den seltensten Fällen die gewünschten Ziele einer kundenorientierten Auftragsabwicklung erreichte, wurden 14 Unternehmen analysiert und die folgenden Schwachstellen identifiziert [Wil09]:

- Sequenzielle Abläufe
- Funktionale Verantwortungsbereiche
- Fehlendes Prozesscontrolling
- Intransparente Kostenumlagen

Zur Segmentierung der Auftragsabwicklung schlägt WILDEMANN acht Leitlinien vor [Wil09]:

- Konzentration auf die Wertschöpfung
- Durchgängige Prozessorganisation und -verantwortung
- Vorgangsorientierte Bearbeitung
- Dezentralisierung von Entscheidungen
- Teamorganisation und Selbststeuerung
- Flexibler Personaleinsatz
- Räumliche Integration der Aufgabenträger
- Integrierte Informationslogistik

4.3 Komplexitätsbewertung

Um die untersuchten Bewertungsmethoden strukturiert darzustellen, werden diese zunächst den folgenden Kategorien zugeordnet:

- Graphentheorie
- Entropie
- Prozessbetrachtung
- Kostenauswirkungen

Diese vier Kategorien bewerten Komplexität aus jeweils unterschiedlichen Perspektiven (Kapitel 2.2.2). Die Graphentheorie bewertet die Systemelemente und ihre Verknüpfungen und ist somit geeignet, um Komplexität aus der Perspektive der konstruktiven Eigenschaft zu bewerten.

Die Entropie bewertet die nötigen Informationen zur Systembeschreibung und somit die objektive Form der Komplexität. Dieser Blickwinkel erfasst jedoch nicht die subjektive Form der Komplexität.

Die Prozessbetrachtung führt eine detaillierte Prozessablaufanalyse durch und bewertet somit Komplexität aus der Perspektive der Bezugsobjekte.

Aus Sicht der Kostenauswirkungen werden die wirtschaftlichen Konsequenzen der Komplexität bewertet.

4.3.1 Komplexitätsbewertung mithilfe der Graphentheorie

Der dieser Bewertung zu Grunde liegende Graph setzt sich aus unterschiedlichen Objekten und den Beziehungen zwischen diesen Objekten zusammen.

Die Objekte, auch Knoten genannt, können sämtliche Elemente sein, die Gegenstand der jeweiligen Untersuchung sind. Für diese Arbeit werden darunter die an der Value Chain beteiligten Unternehmenseinheiten und die für die Herstellung des betrachteten Produkts durchzuführenden Prozessschritte verstanden. Der Gegenstand der Betrachtung ist somit vom Detaillierungsgrad abhängig. Die Beziehungen zwischen den Objekten werden als Verbindungen bezeichnet und sind immer richtungsabhängig. Je nach Blickwinkel verlaufen diese entweder stromaufwärts (vom Zulieferer zum Kunden) oder stromabwärts (vom Kunden zum Zulieferer). Neben den Elementen und deren Verbindungen findet keine weitere Unterscheidung statt, das heißt in Bezug auf die Value Chain wird jedes Objekt gleich betrachtet und als Black Box verstanden. Beispielsweise wird die Dauer eines Prozessschritts in der Graphentheorie nicht berücksichtigt, sondern muss, wenn erforderlich, über eine weitere Detaillierung der Objekte berücksichtigt werden [Cri06].

Mit folgenden Kennzahlen kann die Komplexität von Graphen und damit von Netzwerken bewertet werden; die einzelnen Kennzahlen werden über Formeln berechnet.

- **Objekteanzahl**

Nach KALUZA handelt es sich dabei um die Anzahl der auftretenden Objekte und insofern die der berücksichtigten Elemente in der Value Chain. Objekte können, wie oben dargestellt, neben Unternehmen oder Prozessen auch einzelne Abteilungen oder Personen sein, die am Auftragsabwicklungsprozess beteiligt sind. Zur Ermittlung des Ergebnisses müssen alle Objekte im Graphen gezählt werden. Die Value Chain mit der höheren Objekteanzahl wird als komplexer bewertet [Kal06].

- **Varietät**

Wie bereits in der Definition der Komplexität (Kapitel 2.2.1) zur Varietät erläutert, lässt sich nach KALUZA Varietät über die Relation der Anzahl gleicher Objekte zur Gesamtzahl auftretender Objekte im Netzwerk bewerten. Das Ergebnis ist ein prozentualer Wert für die Vielfalt der auftretenden Objekte. Tritt jeder Objekt-Typ nur einmal auf, erreicht die Varietät den Maximalwert 100%. Der Wert wird kleiner, je mehr Objekt-Typen mehrfach auftreten. Die Komplexität steigt mit steigender Varietät [Kal06].

- **Multi-Tier Verhältnis**

Diese Kennzahl berücksichtigt die Problematik, dass einzelne Objekte im Graph mehrfach auftreten. Dabei wird nach CRIPPA untersucht, welche Prozesse in mehr als nur einer Unternehmenseinheit auftreten [Cri06].

- **Durchschnittliche Pfadlänge**

Nach MEEPETCHDEE beschreibt diese Kennzahl, inwieweit die einzelnen Knoten eines Systems miteinander verbunden sind. Entscheidendes Kriterium ist dabei die Anzahl an Verbindungen, die zwischen zwei Elementen liegen. Bevor die durchschnittliche Pfadlänge ermittelt werden kann, muss zunächst eine Matrix erarbeitet werden, die die Verbindungslängen zwischen allen Elementen enthält [Mee07].

4.3.2 Komplexitätsbewertung über die Entropie

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 erläutert, wird die Komplexität eines Systems häufig über Entropie ausgedrückt. Die Anwendung der Entropie zur Bewertung eines Systems geht insbesondere auf Forschungen von SHANNON und GELL-MANN zurück, die Mitte des 20. Jahrhunderts begannen [Sha48], [Gel03]. GELL-MANN beschreibt die Theorie der effektiven Komplexität. Er betrachtet dabei die Regelmäßigkeiten, die innerhalb eines Systems auftreten. Ist die Zusammensetzung eines Systems vollkommen zufällig, treten keine Regelmäßigkeiten auf und es gibt keine vereinfachte Beschreibungsweise, was eine hohe Entropie und somit Komplexität zur Folge hat [Gel03].

Anhand der Entropie wird erfasst, inwieweit der Informationsbedarf gedeckt wird, der erforderlich ist, um das System zu beschreiben. Eine höhere Entropie bedeutet einen höheren Informationsbedarf und damit verbunden eine höhere Komplexität.

Erste Anwendungen von Entropie in Verbindung mit Value Chains sind auf das Jahr 1995 zurückzuführen. Entropie wurde dabei als Maß für die Arbeitsleistung in Fertigungssystemen bei industriellen Anwendungen eingesetzt [Fri95]. Es folgten Versuche, die Entropie auf die Wechselwirkungen von Value Chains anzuwenden [Siv02][Yib09]. Das wesentliche Ziel dabei war es, Unsicherheiten abzubilden. Diese können Störungen im Produktionssystem oder auch Unregelmäßigkeiten in den Kundenabrufen sein.

Eine höhere Entropie bedeutet einen höheren Informationsbedarf und damit verbunden eine höhere Komplexität. Zur Bestimmung der Entropie wird häufig die Basisformel

$$\text{Entropie} = -k \sum_i p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

mit: k = Konstante

i = Prozesszustand i

p_i = Wahrscheinlichkeit für Elemente Prozesszustand i

genutzt. Die unterschiedlichen Ansätze der Komplexitätsbewertung mittels Entropie beziehen sich auf diese Basisformel [Ash85].

Alle Ansätze ermitteln Entropie über die Wahrscheinlichkeiten des Eintretens einzelner Ereignisse. In Bezug auf die Supply Chain sind damit häufig dynamische Veränderungen gemeint [He08].

Die Kritik an der Anwendung von Entropiemethoden beruht auf der Fülle der benötigten Daten, dem hohen erforderlichen Anwender Know-how und dem fehlenden Praxiseinsatz zur Validierung der einzelnen Methoden [Fri01].

4.3.3 Komplexitätsbewertung über die Prozessbetrachtung

Der wesentliche Unterschied zwischen der Komplexitätsbewertung über die Prozessbetrachtung und der Graphentheorie beziehungsweise der Entropie liegt in der detaillierteren Betrachtung der Abläufe im Unternehmen. Im Gegensatz zur Darstellung des Prozessablaufes als Graph, der als Basis für die bisherigen Kategorien diente, werden die Objekte nicht nur als Black Boxes betrachtet, sondern mit zusätzlichen Informationen belegt. Eine Bewertung auf Basis der Prozessbetrachtung liefert weitreichende Ergebnisse und kann zu direkten Handlungsempfehlungen für die Komplexitätsoptimierung führen. Hierbei werden die Kennzahlen der Transparenz, der Dynamik und aus dem Auftragsabwicklungsprozess unterschieden [Rau98].

- **Transparenz**

Gemäß dem Verständnis der subjektiven Komplexität ist eine erhöhte Komplexität auf eine mangelnde Transparenz der im Unternehmen ablaufenden Prozesse zurückzuführen. Eine zahlenmäßige Erfassung der Transparenz ist aufwändig. KALUZA schlägt zwei Möglichkeiten zur Messung der Transparenz vor.

Eine Möglichkeit ist die Einführung einer Kennzahl, die auf der Kenntnis der ablaufenden Prozesse basiert. Es muss hierbei eine Perspektive und Detaillierung gefunden werden, die das gesamte Netzwerk gleichermaßen abbildet. Für eine Bewertung wird der Kenntnisstand über jeden Teilprozess unter Berücksichtigung des gewählten Detaillierungsgrades erfasst [Kal06]. Problematisch bei der Ermittlung dieser Kennzahl ist der Interpretationsspielraum und damit verbunden die Beurteilung der Prozesse auch im Hinblick darauf, wann ein Prozess gut bekannt ist.

Die zweite Möglichkeit beruht auf der Annahme, dass eine höhere Transparenz vorliegt, wenn die Prozesse von einem IT-System erfasst sind. Somit steht die elektronische Datenverarbeitung für einen besser strukturierten und organisierten Prozessablauf. Folglich ist eine möglichst hohe IT-Abdeckung anzustreben [Kal06].

- **Dynamik**

Nach KALUZA beschreibt die Kennzahl der Dynamik das Verhalten des Systems über die Zeit [Kal06]. Dazu können ausgewählte Parameter zu verschiedenen Zeitpunkten betrachtet und ausgewertet werden. Anschließend werden die Resultate in Relation gesetzt. Parameter sind in diesem Zusammenhang die oben beschriebenen Kennzahlen.

$$\text{Dynamik} = \frac{\text{ausgewählter Parameter } k \text{ zum Zeitpunkt } t_1}{\text{ausgewählter Parameter } k \text{ zum Zeitpunkt } t_0} * 100 \quad (2)$$

Je nach dem gewählten Referenzwert t_0 kann das Ergebnis auch 100% übersteigen. Daher erscheint es sinnvoll, jeweils den höheren Wert als Referenzwert festzulegen [Kal06], [Rau98].

- **Kennzahlen aus dem Auftragsabwicklungsprozess**

Diese Kennzahlen beschreiben nach RAUFEISEN die Komplexität des Auftragsabwicklungsprozesses. Einzelne Elemente davon, die auch für die Komplexitätsbewertung von Value Chains von Interesse sind, werden folgend erläutert. Grundsätzlich betrachtet RAUFEISEN Komplexität aus drei verschiedenen Perspektiven, der operativen, der schnittstellenbezogenen und der zeitorientierten [Rau98].

Die Perspektive der **operativen Komplexitätsmessung** untersucht die tatsächlich ablaufenden Prozesse. Dabei werden die Prozesse in wertschöpfende und nicht wertschöpfende unterteilt. Diese Differenzierung wird in einer Kennzahl zum Ausdruck gebracht.

Als Ergebnis der operativen Komplexitätsmessung beschreibt Raufeisen, dass sich die Anzahl der internen Beziehungen negativ auf die Komplexität auswirkt und möglichst gering gehalten werden sollte und dass die Anzahl der nicht wertschöpfenden Aktivitäten im Verhältnis zur Gesamtzahl der Prozesse die Komplexität erhöht [Rau98].

Mit der **schnittstellenbezogenen Komplexität** wird abgebildet, in welchem Maß sich die Komplexität durch die Aufteilung von Arbeitsinhalten auf mehrere Abteilungen oder Mitarbeiter erhöht. Dieser Zusammenhang beruht auf der Annahme, dass Schnittstellen zu einem Mehraufwand im Prozessablauf führen.

Aus Sicht der Komplexität ist eine möglichst geringe Anzahl von Schnittstellen anzustreben, da daraus ein geringerer Koordinationsaufwand und damit verbunden eine geringere Komplexität hervorgeht [Rau98].

Die **zeitbezogene Komplexität** erhöht die Transparenz und Vergleichbarkeit insofern, als der operativen Komplexitätsbetrachtung die Aktivitätsdauern zugeordnet werden. In diesem Zusammenhang können auch finanzielle Gesichtspunkte zur Komplexitätsbetrachtung hinzugefügt werden.

Grundlage der zeitbezogenen Komplexitätsmessung ist die Kenntnis der Durchlaufzeit, die für jede Aktivität beziehungsweise jeden Teilprozess erforderlich ist. Diese Zeiten können wiederum in wertschöpfende Bearbeitungszeiten und nicht wertschöpfende Zeiten (z.B. Liegezeiten, Transportzeiten, Suchzeiten) unterteilt werden. Um eine vergleichbare Komplexitätskenngröße zu erhalten, werden nicht nur die Zeitdauern addiert, sondern zusätzlich in das Verhältnis zu den bereits erwähnten Beziehungen gesetzt. Dadurch wird die aufgewandte Zeitlänge je Beziehung ermittelt [Rau98].

4.3.4 Komplexitätsbewertung über die Kostenbetrachtung

Wie bereits oben beschrieben, hat eine erhöhte Komplexität unterschiedliche Auswirkungen auf das Unternehmen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht wird eine erhöhte Komplexität häufig in Kauf genommen, da positive Effekte, wie Differenzierung von Mitbewerbern oder ein

für den Kunden individualisiertes Angebot, zu Umsatzerhöhungen führen können [Dal09]. Zur Handhabung der gesteigerten Komplexität sind jedoch zusätzliche Informations- und Managementkapazitäten erforderlich, die mit zusätzlichen Kosten für das Unternehmen verbunden sind. Es muss darauf geachtet werden, dass die Kosten der erweiterten Kapazitäten den Nutzen zusätzlicher Varianten nicht übersteigen [Jan05]. Die Komplexitätskosten werden in indirekte und direkte Komplexitätskosten unterteilt. Indirekte Komplexitätskosten sind keine Kosten an sich, sondern aus der Produktvielfalt resultierende Verluste, wie entgangene Deckungsbeiträge oder fehlende Einnahmen durch Kannibalisierungseffekte. Die direkten Komplexitätskosten fallen dagegen als tatsächliche Kosten an und lassen sich weiter in einmalige und dauerhafte Kosten unterteilen. Einmalige Kosten sind beispielsweise zusätzliche Zeichnungen oder neu zu beschaffende Werkzeuge. Dauerhafte Kosten sind etwa ein erhöhter Dokumentationsaufwand und erhöhte Lagerbestände [Mey06]. Ein grundlegendes Ziel der strategischen Ausrichtung muss es daher sein, diese Kosten quantitativ zu erfassen und zu reduzieren.

Die folgenden Methoden werden derzeit in Literatur und Praxis zur Bewertung der Komplexitätskosten vorgeschlagen und genutzt:

- Zuschlagskostenrechnung [Mau02]
- Deckungsbeitragsrechnung [Mau02]
- Prozesskostenrechnung [Coo88]
- Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung [Sch05]
- Activity Accounting [Jan05]

Bei der **Zuschlagskostenrechnung** werden die indirekten Kosten, die einem Produkt nicht unmittelbar zugerechnet werden können, als Gemeinkosten mit einem entsprechenden Prozentsatz den direkten Kosten des Produktes zugeschlagen. Die Basis stellen somit die für jedes Produkt ermittelbaren Materialeinzel- und Fertigungseinzelkosten dar. Über entsprechende Zuschlagssätze für Material und Fertigung ergeben sich die Herstellkosten. Diese wiederum stellen die Basis für die Berechnung der Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten dar, womit die Selbstkosten eines Produktes ermittelt werden können. Über die Addition eines entsprechenden Gewinnzuschlags ermittelt sich schließlich der Verkaufspreis für das Produkt [Mau02].

Die **Deckungsbeitragsrechnung** ist ein mehrstufiges Teilkostenrechnungsverfahren, bei dem die Gemeinkosten stufenweise den jeweiligen Verursachern zugerechnet werden. Dazu ist eine Unterscheidung in variable und fixe Kosten erforderlich. Unter variablen Kosten werden die Kosten verstanden, die proportional zu der Stückzahl ansteigen, wohingegen fixe Kosten unabhängig von der erbrachten Stückzahl anfallen. Es gibt mehrere Formen der Deckungsbeitragsrechnung. Generell werden Gruppen gebildet, für die von verschiedenen Produkten gemeinsame Kosten anfallen [Coo88]. Kosten, die bei dem Rechenvorgang nicht in den ersten Schritten als Einzelkosten einem Produkt zugeordnet werden können, werden in die nächste Stufe übernommen. Somit ergibt sich insbesondere für Exoten auf den unteren Stufen ein sehr attraktiver Deckungsbeitrag, was zu ei-

ner systematischen Fehlinterpretation bei der strategischen Ausrichtung führen kann [Mau02].

Bei der **Prozesskostenrechnung**, auch als **Activity Based Costing** bezeichnet, werden alle Tätigkeiten für ein Produkt den unterschiedlichen Kostenstellen zugeordnet. Für die Kostenstellen wird ein Leistungskatalog erstellt, der alle Leistungen der Kostenstelle erfasst und mit Kosten belegt. Somit können alle Tätigkeiten mit den entsprechenden Kosten versehen werden. Die Tätigkeiten werden anschließend entsprechend ihrem Durchlauf zu Hauptprozessen zusammengefasst [Coo88].

Die **ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung** ist eine Abwandlung der Prozesskostenrechnung. Der wesentliche Unterschied ist der Verzicht auf die Zusammenfassung von Teilprozessen zu Hauptprozessen, um die Transparenz zu erhalten und den Detaillierungsgrad zu erhöhen. Für jeden Teilprozess wird der Ressourcenverzehr gemessen. So lassen sich insbesondere Veränderungen der Kostentreiber schnell erkennen und einer konkreten Einheit zuordnen. Die Kostentreiber werden dabei nicht direkt als Kosten dargestellt, sondern über eine Verbrauchsfunktion. Demgegenüber steht eine lineare Kostenfunktion für den jeweiligen Teilprozess. Somit können über ein mathematisches Modell sowohl der Ressourcenverzehr als auch die Teilprozesskosten in Abhängigkeit von den Kostentreibern ermittelt werden. Bei der Anwendung der Methode müssen die Prozesse detailliert betrachtet werden, da die Teilprozesse so weit unterteilt werden müssen, bis sie nur noch von einem Kostentreiber abhängig sind [Sch05].

Grundlage des **Activity Accounting** ist eine verursachungsgerechte Kostenzuordnung zu einem Produkt durch Bewertung aller Aktivitäten, die während der Entstehung des Produktes ausgeübt werden. Es ist somit eine auf die Produktvarianten bezogene Form der Prozesskostenrechnung. Sämtliche relevanten Prozesse werden in Unterprozesse und schließlich in einzelne Aktivitäten unterteilt und die direkten und indirekten Kosten jeweiligen Aktivitäten zugeordnet. Somit findet eine detaillierte Zuordnung der Kosten für jedes Produkt statt, ohne generelle Zuschlagssätze oder pauschale Kostengruppierungen zu verwenden. Zur Messbarkeit der Komplexitätskosten müssen die Gemeinkosten im Zuge einer detaillierten Kostenanalyse nach komplexitätsabhängigen Faktoren geschlüsselt und verursachungsgerecht der entsprechenden Produktvariante zugerechnet werden [Jan05].

4.4 Forschungsbedarf

Der im Folgenden erläuterte Forschungsbedarf leitet sich aus den Unterschieden zwischen den Anforderungen an eine Methode zur Reduzierung der piK (Kapitel 3.2) einerseits und den Bewertungen von hierzu vorhandenen Ansätzen zur Beherrschung der Komplexität gem. Kapitel 4 Stand der Wissenschaft andererseits ab. Es werden, wie oben beschrieben, folgende Fragen näher untersucht:

- Welche Definition von Komplexität liegt zugrunde?
- Wird ein produkt- und prozesseitiges Komplexitätsmanagement angestrebt?
- Werden sowohl externe als auch interne Anforderungen berücksichtigt?

- Wird durch den Ansatz die Transparenz erhöht?
- Inwieweit findet eine Bewertung der Komplexität statt?

Da die vorhandenen Ansätze des Komplexitätsmanagement zum großen Teil keine Produktanforderungen berücksichtigen und unterschiedliche Bewertungsverfahren zur Kontrolle der Komplexitätsbeherrschung angewandt werden, wird der Forschungsbedarf unter verschiedenen Gesichtspunkten abgeleitet. Zum einen werden die vorhandenen Ansätze zum Komplexitätsmanagement bewertet. Zum anderen werden die generellen Ansätze der Komplexitätsbewertung und der Anforderungskategorisierung hinsichtlich ihrer Eignung zur Reduzierung der piK untersucht.

4.4.1 Aus Sicht des Komplexitätsmanagements

Die einzelnen Ansätze zum Komplexitätsmanagement werden vor dem Hintergrund der in Kapitel 3.2 beschriebenen Anforderungen an eine Methode zur Reduzierung der piK analysiert.

Verständnis von Komplexität

Tabelle 4.4 zeigt das unterschiedliche Verständnis der verschiedenen Ansätze zum Komplexitätsmanagement anhand der in Kapitel 2.2.1 beschriebenen sechs Komplexitätskategorien: Größe, Variabilität, Entropie, kombinatorische Vielfalt, Länge der Beschreibung und Wahrnehmung.

Vor allem bei Ansätzen mit dem Fokus auf innerbetriebliche Prozesse wird das Komplexitätsverständnis mittels Größe und Variabilität beschrieben. Allerdings gibt es auch hier einige Unterschiede. So wird Komplexität z.B. nach KLAUS ebenfalls durch die Unsicherheit der Verhaltensregeln im System, also der Entropie und nach SCHUH durch die zeitliche Veränderung von Größe und Variabilität beschrieben.

Die Unterschiede im Komplexitätsverständnis führen dazu, dass eine vergleichende Bewertung der Ansätze nicht überall möglich ist.

Tabelle 4.4 Unterschiedliches Verständnis von Komplexität der Komplexitätsmanagementansätze

		Größe	Variabilität	Entropie	kombinatorische Vielfalt	Länge der Beschreibung	Wahrnehmung	Sonstiges
Fokus auf die Supply Chain	Hoole	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Komplexität als Treiber für Kosten
	Hu	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Produktvielfalt als Komplexitätstreiber
	Kersten	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Produktvielfalt als Komplexitätstreiber
	Klaus	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Produktvielfalt als Komplexitätstreiber
	Lee	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Keine Komplexitätsdefinition
Fokus auf innerbetriebliche Prozesse	Huch	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Unterteilung in Elemente-, Relationen- und dynamische Komplexität
	Kirchhof	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	Schuh	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Produktkomplexität als Ursache für Unternehmenskomplexität
	Wildemann	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Unternehmensspezifische Komplexität wird zu generischen Komplexitätstreibern zusammengefasst

Legende		
<input checked="" type="radio"/> erfüllt	<input checked="" type="radio"/> Teilweise erfüllt	<input type="radio"/> nicht erfüllt

Ganzheitliche Betrachtung

Ein Auswahlkriterium der Komplexitätsmanagementansätze ist, ob eine ganzheitliche Betrachtung von Produkt und Prozess möglich ist. Daher hat keiner der untersuchten Ansätze einen isolierten Produkt- oder Prozessfokus. Dennoch ergeben sich Unterschiede in der Priorisierung (Tabelle 4.5).

Es ist zu erkennen, dass die Ansätze mit Fokus auf innerbetriebliche Prozesse einen höheren Produktfokus haben als die Ansätze mit Supply Chain-Fokus. Das liegt vor allem daran, dass der Produktionsprozess als wichtigster innerbetrieblicher Prozess verstanden wird und daher ein höherer Produktbezug nötig ist als z.B. bei Logistikprozessen. HUCH, KIRCHHOF und SCHUH beziehen sich hierbei nicht auf die Supply Chain; bei WILDEMANNS findet eine Betrachtung der Supply Chain zwar nicht explizit statt, wird jedoch im Rahmen der Organisationsstruktur und der Auftragsabwicklung impliziert.

Die zu entwickelnde Methode muss die Wertschöpfung über die gesamte Supply beziehungsweise Value Chain betrachten. Daher ist ein besonderer Produktfokus innerhalb der Supply Chain notwendig.

Tabelle 4.5 Ganzheitliche Betrachtung der Komplexitätsmanagementansätze

		integrierte Betrachtun	Produktfokus	Prozessfokus
Fokus auf die Supply Chain	Hoole	◐	◐	●
	Hu	○	KT	●
	Kersten	●	●	●
	Klaus	○	KT	●
	Lee	◐	◐	●
Fokus auf innerbetriebliche Prozesse	Huch	◐	●	◐
	Kirchhof	●	●	●
	Schuh	●	●	●
	Wildemann	●	●	●

Legende

erfüllt
 Teilweise erfüllt
 nicht erfüllt
 KT Komplexitätstreiber

Betrachtung der internen Anforderungen

Um die piK zu reduzieren, müssen sowohl die externen als auch die internen Anforderungen an die Produkte bereits bei der Produktentwicklung berücksichtigt werden. Die Ansätze zum Komplexitätsmanagement beschreiben keine explizite Betrachtung der internen Anforderungen.

LEE beschreibt zwar, dass die Anforderungen der Auftragsabwicklung berücksichtigt werden müssen, jedoch beschreibt er nicht, wie dies geschehen soll. Er beschreibt die Notwendigkeit des Design for Supply Chain Management und mit dem Beispiel des HP Druckers auch die Ergebnisse seines Ansatzes und des Postponements, allerdings beschreibt er kein direktes Vorgehen zur Produkt- oder Prozessgestaltung.

Im Modul F von SCHUH werden indirekt lediglich die externen Anforderungen betrachtet, allerdings wird keine Unterstützung zur Erfassung, Strukturierung, Priorisierung oder Verwaltung der externen oder der internen Anforderungen beschrieben.

Betrachtung der Value Chain

Tabelle 4.6 stellt die unterschiedlichen Betrachtungsweisen der Value Chain dar. Die Methoden mit dem Fokus auf den innerbetrieblichen Prozessen betrachten die Value Chain mit Ausnahme von KIRCHHOF und WILDEMANN nicht. KIRCHHOF betrachtet im Rahmen seiner Lenkungs- und Konfigurationsmodelle eine unternehmensspezifische Value Chain. WILDEMANN beschreibt zwar keine Value Chain. Die implizierte Betrachtung der Supply Chain durch die Organisationsstruktur und die Auftragsabwicklung bedeutet jedoch ebenfalls eine unternehmensspezifische Betrachtung.

Bei den Methoden mit Supply Chain-Fokus findet eine Betrachtung der unternehmensspezifischen Value Chain statt. HOOLE bildet hier die einzige Ausnahme, da er die Value Chain generisch über das SCOR-Modell abbildet.

Tabelle 4.6 Betrachtungsweisen der Value Chain der Komplexitätsmanagementmethoden

		generische Value Chain	unternehmensspezifische Value Chain
Fokus auf die Supply Chain	Hoole	●	○
	Hu	○	●
	Kersten	○	●
	Klaus	○	●
	Lee	◐	◐
Fokus auf innerbetriebliche Prozesse	Huch	○	○
	Kirchhof	○	●
	Schuh	○	○
	Wildemann	○	◐

Legende

● erfüllt ◐ Teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt

Betrachtung der vielfaltsinduzierten und unternehmensspezifischen Komplexität

Die Tabelle 4.4 zeigt, dass alle Ansätze zum Komplexitätsmanagement die Produktvielfalt als Treiber für die Unternehmenskomplexität verstehen und somit die piK im Fokus steht. Die

Betrachtung der unternehmensspezifischen Komplexität findet insofern statt, als dass die Komplexität für jedes Unternehmen aufgenommen wird. Allerdings wird hierbei nicht auf das unternehmensspezifische Verständnis von Komplexität eingegangen.

Transparenz schaffen

Kein Ansatz betrachtet die Schaffung von Transparenz durch Visualisierungswerkzeuge. Einige stellen jedoch interessante Visualisierungen vor. SCHUH nutzt z.B. den Variantenbaum zur Darstellung der Produktvielfalt entlang der Montagereihenfolge und LEE nutzt den Variantenausbreitungsbaum, um die externe Produktvielfalt entlang der Produktion und Distributionsprozesse darzustellen.

Eine umfassende Erhöhung der Transparenz der Value Chain, des Auftragsabwicklungsprozesses, der Produktvielfalt sowie der piK findet sich jedoch in keiner der Methoden.

Bewertung unterschiedlicher Produktkonzepte hinsichtlich der initiierten Komplexität

Die verschiedenen Ansätze bewerten die Komplexität unterschiedlich. Rückschlüsse von der bewerteten Komplexität auf unterschiedliche Produkt- und Value Chain-Konzepte sind allerdings nur in begrenztem Umfang möglich. HU beschreibt z.B., dass für alle Supply Chain Strukturen die Komplexität berechnet werden muss, um Rückschlüsse auf die optimale Supply Chain Struktur ziehen zu können. SCHUH erläutert, wie mit dem Modul C des Complexity Managers und der Prognose über Produktkosten Rückschlüsse auf verschiedene Produktkonzepte in der Produktentwicklung gezogen werden können.

4.4.2 Aus Sicht der Komplexitätsbewertung

Da die oben genannten Ansätze zum Komplexitätsmanagement keine oder nur geringe Möglichkeiten zur Komplexitätsbewertung aufweisen, werden in einem weiteren Schritt auch allgemeine Bewertungsansätze zur Komplexitätsbewertung analysiert. Diese werden sowohl hinsichtlich ihres Komplexitätsverständnisses untersucht als auch hinsichtlich der Möglichkeit unterschiedliche Produktkonzepte auf die von diesen initiierte Komplexität bewerten zu können.

Tabelle 4.7 ordnet die unterschiedlichen Bewertungsansätze den verschiedenen Komplexitätskategorien zu.

Die Tabelle zeigt, dass je nach Komplexitätsverständnis unterschiedliche Bewertungsansätze gewählt werden müssen. Für die zu entwickelnde Methode müssen daher verschiedene Bewertungsansätze kombiniert werden, um die unternehmensspezifische piK abbilden und bewerten zu können.

Jeder dieser vier Bewertungsansätze erzeugt unterschiedliche Kennzahlen, mit denen eine quantitative Bewertung möglich ist. Direkte Rückschlüsse auf verschiedene Produktkonzepte sind damit jedoch nicht möglich.

Tabelle 4.7 Unterschiedliches Verständnis von Komplexität der Komplexitätsbewertungsansätze

		Größe	Variabilität	Entropie	kombinatorische Vielfalt	Länge der Beschreibung	Wahrnehmung
Bewertungsansätze der piK	Graphentheorie	●	●	○	○	◐	○
	Entropie	○	○	●	○	○	○
	Prozessbetrachtung	●	●	○	○	○	●
	Kostenauswirkung	○	○	○	○	○	●

Legende

● erfüllt	◐ Teilweise erfüllt	○ nicht erfüllt
-----------	---------------------	-----------------

4.4.3 Zusammenfassung

Die Bewertung der Literatur und der beschriebenen Ansätze des Komplexitätsmanagements (Tabelle 4.8) haben ergeben, dass jeder Ansatz individuelle Stärken hat. Es gibt jedoch keinen Ansatz, der die in Kapitel 3.2 gestellten Anforderungen vollumfänglich erfüllt.

Auf der einen Seite gibt es Ansätze, welche das gleiche Komplexitätsverständnis haben, das auch der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt. Diese Ansätze beschreiben das gleiche Ziel, beschreiben jedoch nicht, wie dieses Ziel konkret erreicht werden kann.

Auf der anderen Seite gibt es Ansätze, die zwar konkret beschreiben, wie die Komplexität reduziert werden soll, sie weisen aber ein anderes Komplexitätsverständnis als diese Arbeit auf. In der Regel wird dort Komplexität mit Kompliziertheit von Produkten gleichgesetzt.

Aus diesen unterschiedlichen Ansätzen und Interpretationen ergeben sich die folgenden Ziele und Aufgaben für weitere Forschungsaktivitäten:

- Entwicklung einer systematischen Methode, welche die Unternehmen dabei unterstützt, die piK zu identifizieren und zu reduzieren.
- Komplexität und Wertschöpfungskette sollen nicht generisch oder empirisch ermittelt, sondern unternehmensspezifisch analysiert werden.
- Die Vorgehensweise zur Reduzierung der unternehmensspezifischen Komplexität innerhalb der unternehmensspezifischen Value Chain soll leicht nachvollziehbar und gut verständlich sein.

- Durch eine grafische Visualisierung sollen die Transparenz in der Auftragsabwicklung erhöht und damit die interdisziplinären Projektteams unterstützt werden.
- Die zu entwickelnde Methode muss eine ganzheitliche Betrachtung der Komplexität ermöglichen.
- Durch die Betrachtung der Prozesse des Wertschöpfungsnetzwerkes und der Auftragsabwicklung sollen Anforderungen an die Produktentstehung abgeleitet werden.
- Die Produktentstehung soll bereits von der Konzeptphase an unterstützt werden.

Tabelle 4.8 Bewertung der Methoden anhand der aufgestellten Anforderungen

		Anforderungen																				
		integrierte Betrachtung	Ganzheitliche Betrachtung	Produktfokus	Prozess	externe Anforderungen	Betrachtung der Anforderungen	interne Anforderungen	Betrachtung des Wertschöpfungsnetzwerkes	unternehmensspezifisch	vielfaltsinduziert	Betrachtung der Komplexität	unternehmensspezifisch	Value Chain	Schaffung von Transparenz	externe Komplexität	interne Komplexität	qualitativ	Bewertung der Komplexität	quantitativ	Rückschlüsse auf Produktkonzepte	
Fokus auf der Value Chain	Hoole	●	●	●	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Hu	○	KT	●	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Kersten	●	●	●	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Klaus	○	KT	●	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Lee	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Fokus auf innerbetrieblichen Prozessen	Huch	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Kirchhof	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Schuh	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Wildemann	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Legende			
● erfüllt	○ Teilweise erfüllt	○ nicht erfüllt	KT Komplexitätstreiber

5 Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität

Um die in dieser Arbeit dargestellten Forschungsaufgaben bearbeiten zu können, wurde die Methode Design for Value Chain (DfVC) zur Reduzierung der piK entwickelt. Diese wird im Folgenden anhand eines Beispiels näher erläutert.

Die in Kapitel 1 beschriebenen Ziele der Arbeit und der Methode können in strategische und operative Ziele unterschieden werden. Die strategischen Ziele der Methode sind die Identifikation der unternehmensspezifischen piK und ihrer Treiber sowie die Erweiterung oder Anpassung des generischen Komplexitätsmanagements, um die unternehmensspezifische piK zu reduzieren. Das operative Ziel der Methode ist die Unterstützung der Produktentstehung durch die Berücksichtigung der piK bei der Auswahl des Variantenentstehungspunktes und der Bewertung der Produktkonzepte. Die entwickelte Methode unterscheidet daher diese beiden Ziele und erreicht sie mittels folgender Methodenblöcke (Bild 5.1):

- I. **Identifikation strategischer Handlungsfelder** des Komplexitätsmanagements und Erhöhung der Transparenz durch die Erfassung und Analyse der vorhandenen piK anhand eines repräsentativen Beispiels.
- II. **Unterstützung der Produktentstehung** durch die Berücksichtigung der piK bei der Auswahl des Variantenentstehungspunktes sowie der Bewertung unterschiedlicher Konzepte der Auftragsabwicklung.

Beide Zielsetzungen sind Bestandteil der gleichen Methode und die beiden Methodenblöcke bauen aufeinander auf. So werden z.B. die Ergebnisse der Erfassung der piK sowohl bei der Identifikation strategischer Handlungsfelder als auch bei der Unterstützung der Produktentstehung verwendet. Beide Methodenblöcke können auch unabhängig voneinander angewandt werden. Allerdings muss der Methodenblock der Unterstützung der Produktentstehung dann entsprechend der benötigten Eingangsdaten erweitert werden. Im Folgenden werden die beiden Methodenblöcke getrennt vorgestellt und erläutert.

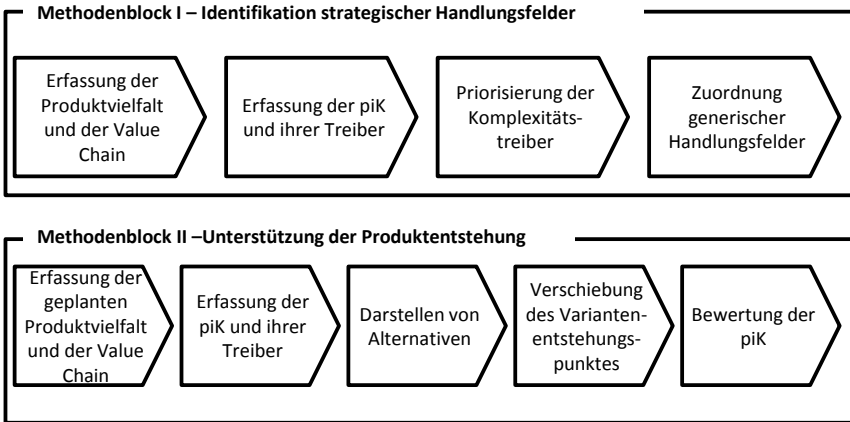


Bild 5.1 Unterschiedliche Methodenblöcke des DfVC

DfVC nutzt in beiden Methodenblöcken die vorhandenen Produkt- und Prozessstrukturen, um während einer Produktweiterentwicklung aus den Erfahrungen der derzeitigen Auftragsabwicklung zu lernen und die piK in Zukunft zu reduzieren. Der besondere Fokus liegt dabei auf dem Distributionsnetzwerk. Dieses bildet die Schnittstelle zwischen dem Unternehmen und dem Kunden innerhalb der Auftragsabwicklung ab und beeinflusst so direkt die Termintreue. Ferner hängen die Supply Chain Kosten direkt vom Distributionsnetzwerk ab. Die Reduzierung der piK kann also sowohl über das "Design for Supply Chain" (Supply Chain gerechte Produktgestaltung) als auch über das "Design of Supply Chain" (Gestalten der Supply Chain) geschehen.

In beiden Methodenblöcken kann DfVC in die drei Phasen Erfassung, Analyse und Ableiten von Handlungsempfehlungen aufgeteilt werden, welche wiederum in unterschiedliche Maßnahmen unterteilt werden können.

Der Methodenblock der **Identifikation strategischer Handlungsfelder** wird in die folgenden Maßnahmen unterteilt:

- **Erfassung der Produktvielfalt und der Value Chain (Kapitel 5.2.1)**

Zur Erfassung der Produktvielfalt wird die Produktebene beschrieben und die Vielfalt identifiziert, welche die Komplexität induzieren kann. Es ist dabei wichtig, nicht nur die externe vom Kunden wahrgenommene Produktvielfalt zu betrachten, sondern auch die Produktvielfalt zu untersuchen, die den Auftragsabwicklungsprozess beeinflusst, das heißt es wird sowohl die externe als auch die interne Produktvielfalt betrachtet.

Auf der Prozessebene wird ein erster Überblick über die Value Chain geschaffen.

- **Erfassung der piK und ihrer Komplexitätstreiber (Kapitel 5.2.2)**

Die Prozessebene und die Auswirkungen der Produktvielfalt werden beschrieben. Die Identifizierung der derzeitigen piK führt einerseits zu einer Reduzierung der subjektiven Komplexität und stellt andererseits Optimierungspotenziale für eine Weiterentwicklung des Produktes und/oder der Value Chain dar.

Die Erfassung und Identifizierung der Produktvielfalt, der piK und der Komplexitätstreiber ist in den folgenden Kapiteln getrennt beschrieben. In der praktischen Umsetzung bedingen sich Produktebene (Produktvielfalt) und Prozessebene (Komplexität der Auftragsabwicklung) iterativ gegenseitig.

- **Priorisierung der Komplexitätstreiber (Kapitel 5.2.3)**

Die Komplexitätstreiber werden hinsichtlich ihrer Relevanz für das Unternehmen gewichtet und priorisiert.

- **Zuordnung der Komplexitätstreiber zu Handlungsfeldern (Kapitel 5.2.4)**

Im Rahmen dieser Zuordnung werden die identifizierten Komplexitätstreiber den verschiedenen generischen Handlungsfeldern des Komplexitätsmanagements zugeordnet. Diese Zuordnung befähigt Unternehmen dazu, die richtigen Handlungsfelder, Strategien und Methoden des Komplexitätsmanagements zu nutzen, um ihre unternehmensspezifische Komplexität zu reduzieren.

Der Methodenblock der **Unterstützung der Produktentstehung** greift auf die gewonnenen Erkenntnisse aus der Identifikation strategischer Handlungsfelder zurück und wird wie folgt unterteilt:

- **Erfassung der geplanten Produktvielfalt und der Value Chain (Kapitel 5.3.1)**

Die Erfassung der geplanten Produktvielfalt dient der Erhöhung der Transparenz im Unternehmen, da neben der geplanten und vom Kunden wahrgenommenen Produktvielfalt auch erfasst und visualisiert wird, welche Vielfalt den Auftragsabwicklungsprozess beeinflusst.

Bei der Erfassung der Value Chain wird untersucht, wie das vorhandene Netzwerk aufgebaut ist, welche Value Chain Stationen vorhanden sind und ob die geplante Produktvielfalt über das bestehende Netzwerk vertrieben werden kann. Außerdem wird untersucht, welche wertschöpfenden Tätigkeiten innerhalb der Value Chain Stationen durchgeführt werden können. Dieses Wissen unterstützt später die Gestaltung der Auftragsabwicklungsprozesse, die Optimierung der Value Chain und die Festlegung des Variantenentstehungspunktes.

- **Erfassung der piK und ihrer Komplexitätstreiber (Kapitel 5.3.2)**

Die piK und ihre Treiber müssen an dieser Stelle nur dann erfasst werden, wenn der Methodenblock der Identifikation strategischer Handlungsfelder vorab nicht durchgeführt wurde. Ansonsten werden die dort bereits gewonnenen Ergebnisse übernommen.

- **Darstellen von Alternativen (Kapitel 5.3.3)**

Durch das Ableiten beziehungsweise Aufstellen eines Vielfaltstrichters werden die Entwicklung der Variantenvielfalt, die damit einhergehende Komplexität im Laufe des Auftragsabwicklungsprozesses und die sich daraus ergebenden Alternativen dargestellt.

- **Verschieben des Variantenentstehungspunktes (Kapitel 5.3.4)**

Die verschiedenen Produktkonzepte können durch unterschiedliche Value Chains produziert und vertrieben werden. Mithilfe des aufgestellten Vielfaltstrichters werden diese unterschiedliche Szenarien zur Zentralisierung oder Dezentralisierung von Wertschöpfungsinhalten untersucht. Es wird der Variantenentstehungspunkt eindeutig festgelegt und die Gestaltung der Prozesse unterstützt.

- **Bewertung der piK (Kapitel 5.3.5)**

In der Konzeptphase der Produktentstehung werden unterschiedliche Produktkonzepte hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Auftragsabwicklung bewertet. Die einzelnen Value Chains werden hinsichtlich ihrer piK bewertet.

In diesem Zusammenhang wird die interdisziplinäre Zusammenarbeit der verschiedenen Organisationseinheiten von der Produktentstehung und der Value Chain bis hin zur Auftragsabwicklung betrachtet.

Wichtig ist es hierbei, den richtigen Betrachtungsrahmen und den nötigen Detaillierungsgrad zu definieren. Auf der Produktebene bedeutet dies, dass die richtige Produktfamilie oder das richtige, repräsentative Produktfamilienbeispiel ausgewählt und untersucht wird. Unter einem repräsentativen Produktfamilienbeispiel wird eine bestehende Produktfamilie verstanden, die in ihrer Produktstruktur und ihren Distributionswegen charakteristisch für das Unternehmen ist. Durch die Analyse einer einzelnen Produktfamilie können Rückschlüsse auf die piK des Unternehmens gezogen werden. Im Zuge einer Weiterentwicklung einer Produktfamilie wird die Vorgänger-Produktfamilie als repräsentatives Beispiel gewählt. Bei einer Neuentwicklung einer Produktfamilie wird mithilfe eines interdisziplinären Workshops ein repräsentatives Beispiel ausgewählt. Die Auswahl findet fallspezifisch statt.

Der zu wählende Detaillierungsgrad der Prozessaufnahmen hängt von den Rahmenbedingungen und der generellen Zielsetzung ab. Er muss zur Ermittlung von Komplexitätstreibern in der Auftragsabwicklung so gewählt werden, dass einerseits die Komplexität erkannt werden kann, andererseits aber der Gesamtüberblick erhalten bleibt und der Erfassungsaufwand in Relation zum Nutzen steht.

Die Erfassung auf beiden Ebenen erfolgt durch Dokumenteneinsicht und Expertengespräche mit den Beteiligten der Auftragsabwicklung. Hierzu gehören sowohl Vertrieb und Produktentwicklung als auch Produktmanagement, Produktplanung, Produktion und Supply Chain Management. Die Expertengespräche werden einzeln und als semistrukturierte Interviews geführt. Hierbei werden keine präzise formulierten Fragen genutzt, sondern das Interview an einem Leitfaden orientiert. Der Leitfaden (Anhang C) stellt sicher, dass nichts vergessen wird, dass alle Expertengespräche ähnlich ablaufen und die nötigen Informationen vergleichbar gewonnen werden. Im Gegensatz zu vollstrukturierten Interviews kann bei semistrukturierter

ten Interviews das Expertenwissen besser erfasst werden, da dem Gesprächspartner die Möglichkeit gegeben wird, den Gesprächsverlauf mitzugestalten und seine Prioritäten klarer zu formulieren.

5.1 Einführung eines erläuternden Beispiels

Die Problembeschreibung aus Sicht der industriellen Praxis anhand einer Expertenbefragung (Kapitel 3.1.2), weitere Erfahrungen aus verschiedenen Industrieprojekten und Hinweise aus der Literatur wurden zu einem einfachen Beispiel zusammengeführt. Dieses Beispiel wird zur Erläuterung der Methode dienen.

Die Fertigungstiefe des fiktiven Unternehmens, das europaweit agiert und Taschenrechner produziert, ist sehr gering und alle Bauteile werden fremdbezogen. Dies sind im Wesentlichen die Kunststoffkomponenten für das Gehäuse, das aus einer Ober- und einer Unterschale besteht, und die Elektronik, zu der neben der Platine auch die Anzeigeeinheit (Display) gehört. In der Produktion wird die Oberschale aufgesetzt. Anschließend werden die elektronischen Komponenten in die Unterschale eingesetzt und der Taschenrechner ist nach dem Einsetzen der Batterie betriebsbereit. Nach einem erfolgreichen Funktionstest wird der Taschenrechner verpackt und europaweit vertrieben. Die Taschenrechner werden in drei verschiedenen Größen und in den Farben schwarz und weiß produziert. Die Farbgebung bezieht sich ausschließlich auf die Oberschale.

Zur Visualisierung der Value Chain wird auf das Werkzeug der strukturellen Supply Chain nach [Bec04] zurückgegriffen (Bild 5.2). Diese bietet einen schnellen Überblick über die vorhandenen Stationen der Value Chain und deren Anzahl sowie die vorhandenen Warenströme. Alle Kunststoffteile werden vom Zulieferer 1, alle elektronischen Komponenten vom Zulieferer 2 angeliefert. Die Taschenrechner werden europaweit über zwei Hubs vertrieben. Die Kunden in Westeuropa werden vom Hub 1 in Frankreich und die Kunden aus Osteuropa vom Hub 2 in Polen beliefert. Im Folgenden werden unterschiedliche Beispiele für piK (Szenarien) beschrieben und in Bild 5.3 in einem strukturierten Baumdiagramm dargestellt.

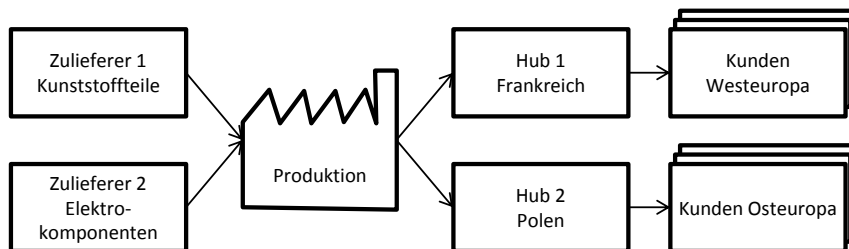


Bild 5.2 Value Chain des fiktiven Unternehmens nach [Bro11e]

Szenario 1 beinhaltet die Auslieferung funktionstüchtiger Taschenrechner. Da die Taschenrechner nicht auftragsbezogen produziert werden, sondern MTS Produkte sind, kann es vorkommen, dass ein Rechner vor seiner Auslieferung mehrere Wochen oder Monate gelagert wird. Um technische Mängel bedingt durch eine zu lange Lagerung ausschließen zu können,

werden alle Taschenrechner, die eine gewisse Lagerdauer überschreiten, unmittelbar vor deren Auslieferung einer erneuten Funktionsprüfung unterzogen.

Im **Szenario 2** werden aufgrund eines zunehmenden Umweltbewusstseins und steigender Batteriepreise in Westeuropa nur noch Taschenrechner mit Solarbetrieb gekauft. Bei der Erfassung der Kundenanforderungen im Rahmen der Produktentstehung wurde dieser Kundenwunsch nicht berücksichtigt und das Unternehmen produziert standardmäßig Taschenrechner nur mit Batterie. Taschenrechner, die mit Solarzellen betrieben werden, sind bisher nicht vorgesehen. Das Unternehmen ist daher gezwungen, seine Taschenrechner entsprechend an den Markt anzupassen, um weiterhin konkurrenzfähig zu bleiben und um seine Marktanteile auf dem westeuropäischen Markt nicht zu verlieren. Da nur der westeuropäische Markt davon betroffen ist, fällt die Entscheidung, die Solarmodule im Hub in Frankreich nachzurüsten.

Das **Szenario 3** ergibt sich aus Umfragen des Unternehmens, die gezeigt haben, dass sich farbige Taschenrechner insbesondere bei jungen Leuten wesentlich besser verkaufen lassen. Um die aktuellen Prozesse nicht verändern zu müssen und auch die Kosten für die Plastikkomponenten nicht zu erhöhen, wird die Farbgebung erst nach der Montage durch das Aufbringen eines farbigen Aufklebers berücksichtigt.

Um Kosten zu sparen, versendet das Unternehmen im **Szenario 4** seine Taschenrechner als Päckchen, daher darf die Verpackung eine definierte Größe nicht überschreiten. Allerdings ist die Päckchengröße für Osteuropa eine andere als für Westeuropa. Bei den beiden kleineren Taschenrechnergrößen ist dies kein Problem, da hier eine Verpackungsform gewählt werden kann, die in beiden Distributionswegen (Ost- und Westeuropa) als Päckchen gilt. Die großen Taschenrechner passen jedoch nicht in die Einheitsverpackung, sondern es müssen zwei unterschiedliche Produktverpackungen genutzt werden.

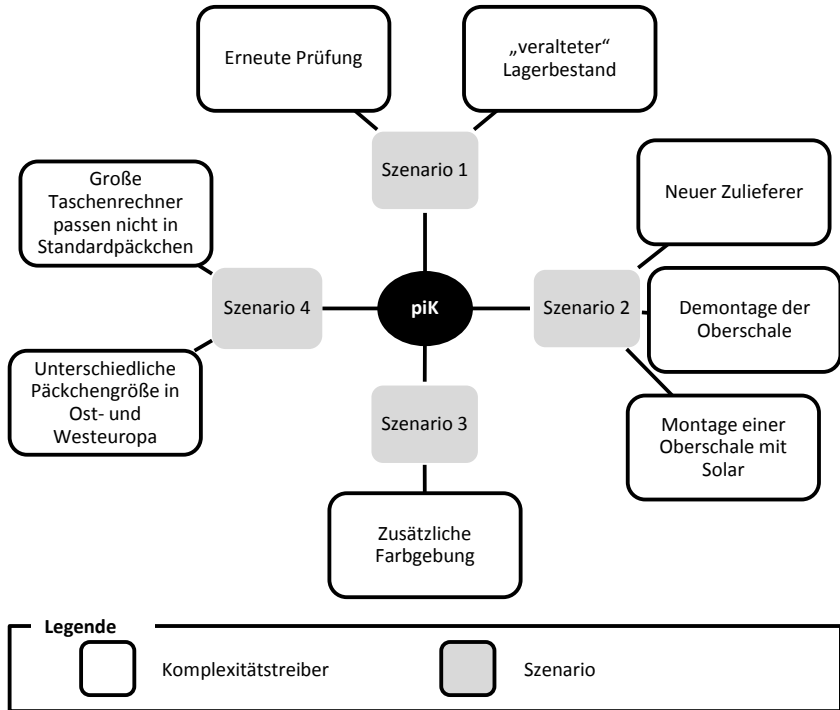


Bild 5.3 Mögliche Szenarien des Unternehmens

5.2 DfVC zur Identifikation strategischer Handlungsfelder

Durch die Erfassung und Analyse der unternehmensspezifischen piK in der Auftragsabwicklung wird die Transparenz und somit die Wahrnehmung der Komplexität erhöht. Anschließend werden die Komplexitätstreiber priorisiert und generischen Handlungsfeldern aus der Literatur zugeordnet. DfVC identifiziert dadurch strategische Handlungsfelder des Komplexitätsmanagements und unterstützt die strategische Ausrichtung des Unternehmens [Bro11b]. Zur Durchführung des oben erläuterten Methodenblocks sind im Rahmen dieser Arbeit verschiedene Hilfs- und Visualisierungswerkzeuge entwickelt worden (Bild 5.4). Die einzelnen Maßnahmen und ihre Werkzeuge werden in den folgenden Kapiteln detailliert erläutert.

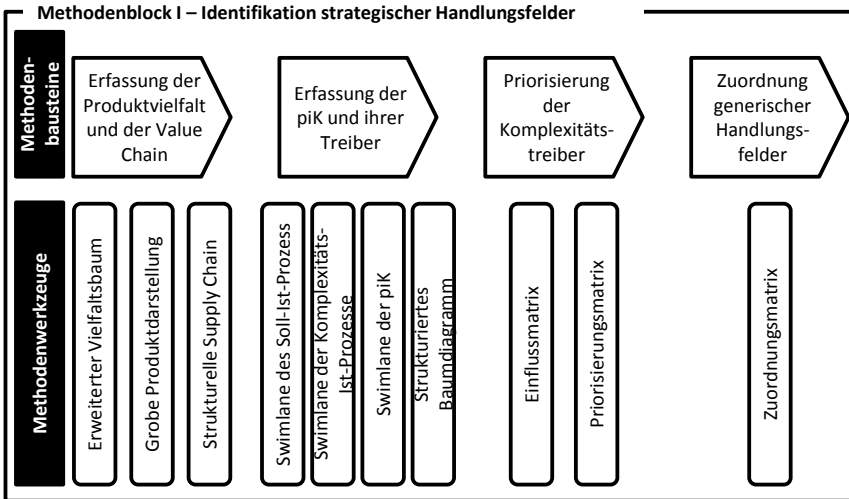


Bild 5.4 DfVC zur Identifikation strategischer Handlungsfelder

5.2.1 Erfassung der Produktvielfalt und der Value Chain

Zur Erfassung und Visualisierung der Produktvielfalt wird, wie in Bild 5.5 dargestellt, auf drei entwickelte Methodenwerkzeuge zurückgegriffen. Es sind die Methodenwerkzeuge mit ihren jeweiligen Ein- und Ausgängen dargestellt.

Das Werkzeug des erweiterten Vielfaltsbaumes greift den Vielfaltsbaum des Integrierten PKT-Ansatzes auf (Kapitel 4.1) und ergänzt diesen um die Sicht des Auftragsabwicklungsprozess.

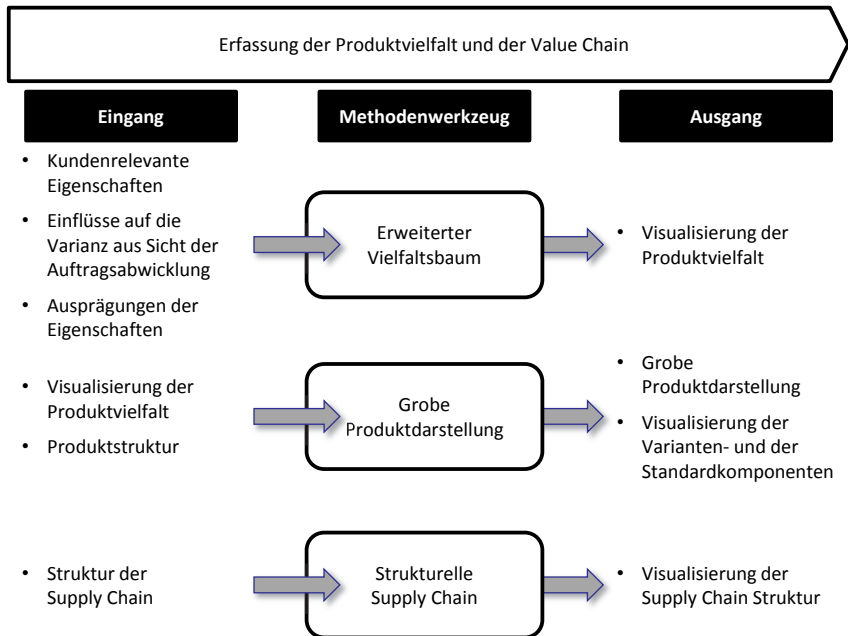


Bild 5.5 Methodenbaustein zur Erfassung der Produktvielfalt und der Value Chain

Bild 5.6 zeigt den Vielfaltsb Baum der Taschenrechner Produktfamilie. Dieser stellt die externe Produktvielfalt dar, indem die kundenrelevanten Eigenschaften und ihre Ausprägungen abgebildet werden. Die sechs grau hinterlegten Produktvarianten stellen die in der Produktentwicklung geplanten Varianten dar. Auf diese Vielfalt ist der Auftragsabwicklungsprozess abgestimmt. Die Produktvarianten mit der gestrichelten Umrandung stellen die Varianten dar, welche wegen der unterschiedlichen Szenarien hinzukommen.

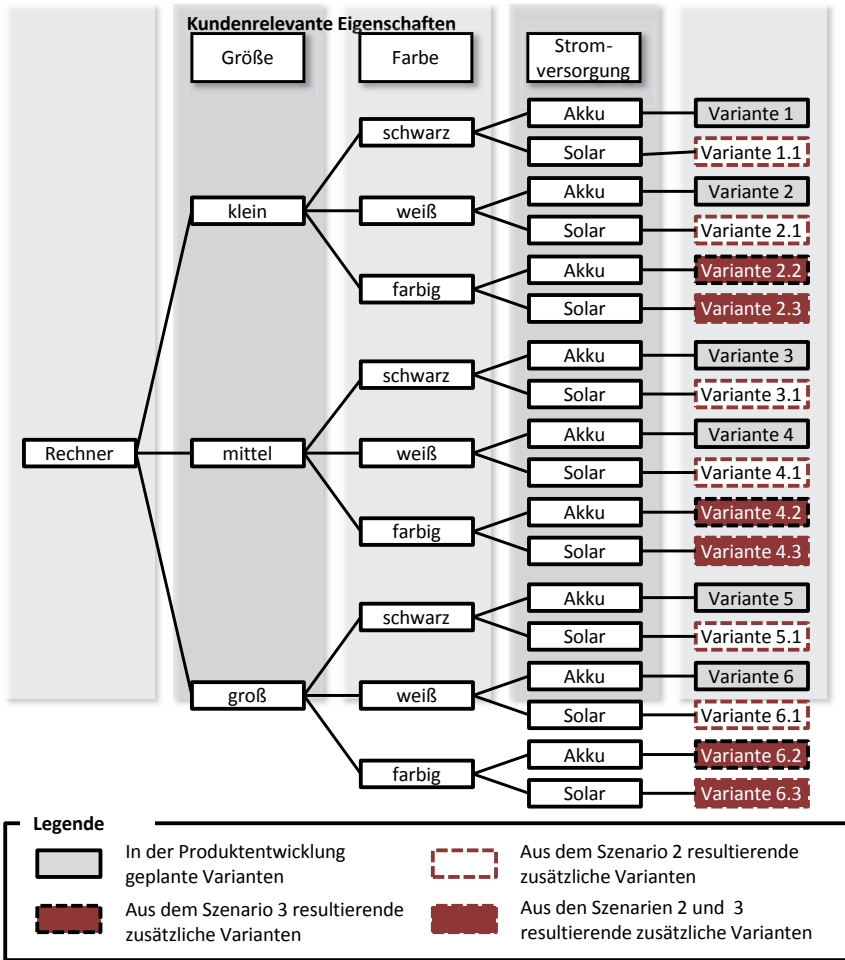


Bild 5.6 Vielfaltsbaum der Taschenrechner Produktfamilie

Der erweiterte Vielfaltsbaum kombiniert die geplanten kundenrelevanten Eigenschaften mit den Einflüssen auf die Vielfalt aus Sicht der Auftragsabwicklung, welche häufig ebenfalls durch Kundenanforderungen induziert wird. Der erweiterte Vielfaltsbaum stellt somit die Produktvielfalt dar, die den Auftragsabwicklungsprozess durchläuft.

Die Variante 1.1 ist beispielsweise durch das Szenario 2 und der Kundenanforderung an einen solarbetriebenen Taschenrechner hinzugekommen. Die Variante 2.2 ist durch das Szenario 3 (der Kunde wünscht farbige Taschenrechner) und die Variante 2.3 durch die Kombination der beiden Szenarien 2 und 3 hinzugekommen.

Die Szenarien 1 (erneute Funktionsprüfung) und 4 (Versand als Päckchen) führen im Bild 5.6 nicht zu einer Erhöhung der Vielfalt, da der Vielfaltsbaum die erhöhte Vielfalt in der Auf-

Unter Produkt wird in diesem Zusammenhang der Gesamtumfang aller Teile verstanden, die einem Kunden angeboten werden können, um einen Wunsch oder ein Bedürfnis zu befriedigen [Kot08].

Das Produkt beinhaltet, im Rahmen der Auftragsabwicklung, neben der Verpackung noch weitere periphere Einzelteile, wie z.B. die interne und externe Dokumentation zur lückenlosen Rückverfolgbarkeit der verkaufsfähigen Produkte und deren Einzelteile. Bild 5.8 zeigt die grobe Produktdarstellung der Taschenrechner Produktfamilie.

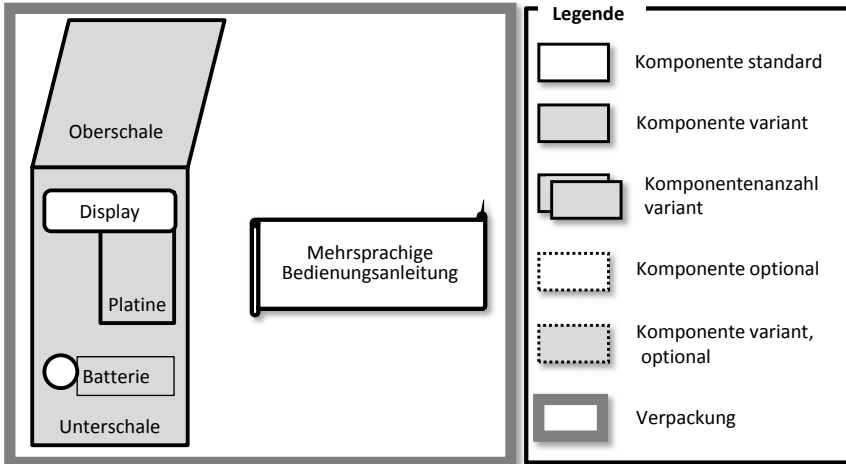


Bild 5.8 Grobe Produktdarstellung der Taschenrechner-Produktfamilie

Um außerdem einen globalen Überblick über die Struktur der Value Chain zu erhalten, wird diese zunächst in einer groben Detaillierungsstufe aufgenommen und mittels der Darstellung als strukturelle Supply Chain visualisiert.

Durch die Aufnahme der Produktvielfalt mithilfe des erweiterten Vielfaltsbaumes und der groben Produktdarstellung wird ein Verständnis über die im Auftragsabwicklungsprozess zu handhabende Vielfalt und die Produktstruktur der Produktfamilie geschaffen. Die strukturelle Supply Chain bietet einen schnellen Überblick über die existierende Value Chain.

5.2.2 Erfassung der produktvarianteninduzierten Komplexität und ihrer Treiber

Zur Erfassung der piK und ihrer Komplexitätstreiber wird auf verschiedene im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Werkzeuge zurückgegriffen (Bild 5.9). Die Prozesse können sowohl durch die Einsicht in bestehende Dokumente und durch Interviews mit Experten als auch durch die konkrete Aufnahme der Prozesse vor Ort erfasst werden.

Dabei müssen unterschiedlichen Detaillierungsgrade betrachtet werden. Bei der Aufnahme der strukturellen Supply Chain wird zunächst eine grobe Detaillierungsstufe gewählt, um einen globalen Überblick über die Value Chain zu erhalten. In diesem Detaillierungsgrad können jedoch keine von Komplexität betroffenen Prozesse der Wertschöpfungskette identifiziert und abgebildet werden. Daher werden die Prozessschritte der Auftragsabwicklung

anschließend auf einer höheren Detaillierungsstufe visualisiert. Hierzu finden, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, die Swimlane-Diagramme Verwendung.

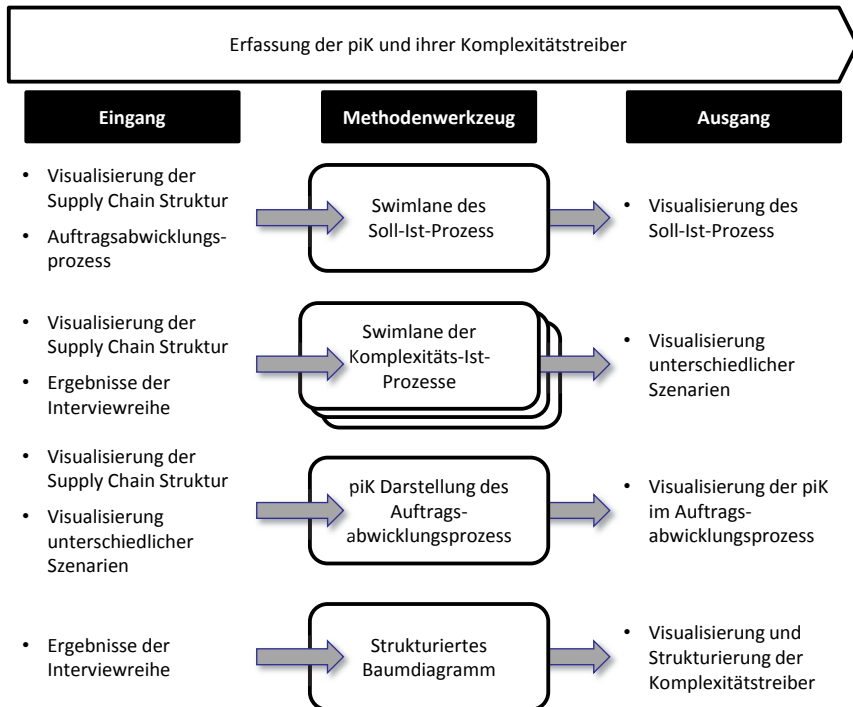


Bild 5.9 Methodenbaustein zur Erfassung der piK und ihrer Komplexitätstreiber

Basis für die Erarbeitung dieser Darstellung sind folgende Arbeitsschritte: Sichtung der bestehenden Dokumente und Interviews mit Experten der jeweiligen Stationen der globalen Wertschöpfung und Warenverteilung.

Die Befragungen finden im Rahmen von semistrukturierten Interviews statt, die in verschiedene Bereiche aufgeteilt sind (Bild 5.10).

Für die Interviews mit den Experten wurde vorab ein Leitfaden (Anhang C) entwickelt, der die nach erster Analyse wesentlichen Komplexitätstreiber beschreibt und die Interviews strukturiert. Es werden Experten der, an der Auftragsabwicklung beteiligten, Stationen beziehungsweise Unternehmensbereiche getrennt voneinander befragt:

- Produktion
- Portfoliomanagement
- Produktentwicklung
- Hub
- Vertrieb

Des Weiteren wird die IT befragt, da hier ein guter Überblick darüber vorhanden ist, welche Prozesse in der Vergangenheit geändert wurden und an welcher Stelle des im System beschriebenen Prozesses Komplexität auftritt.

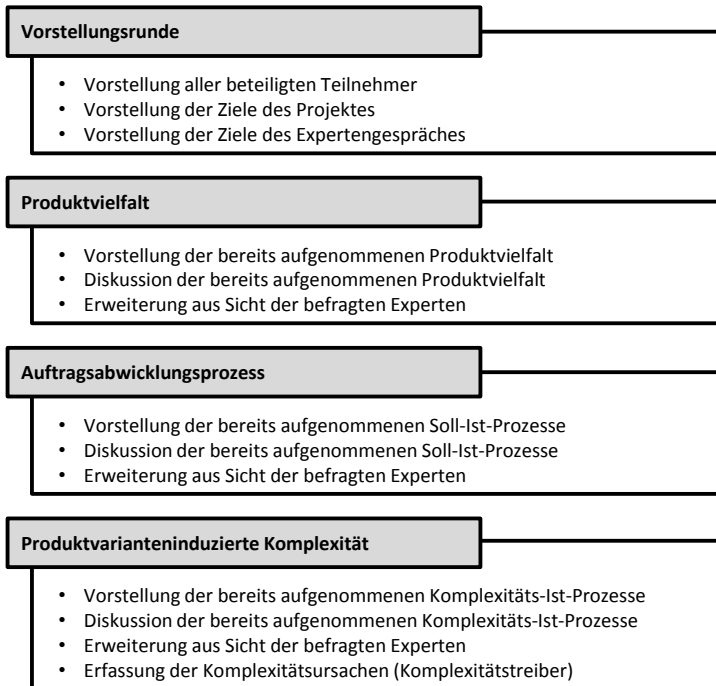


Bild 5.10 Ablauf der Experteninterviews

Im Rahmen dieser Interviews werden jeweils sowohl die Prozesse der Auftragsabwicklung als auch die piK und deren Treiber identifiziert.

In der Literatur wird für eine Prozessanalyse eine Ist-Analyse und ein Abgleich mit dem Soll-Prozess vorgeschlagen (Bec08b). Für DfVC ist eine detailliertere Betrachtung nötig, da die piK der aktuellen Produktfamilie identifiziert und dargestellt werden muss. Daher werden die Begriffe „Soll-Ist-Prozess“ und „Komplexitäts-Ist-Prozess“ eingeführt. Diese begriffliche Unterscheidung ist notwendig, da DfVC nicht eine Optimierung hin zu Soll-Prozessen, sondern eine Analyse der unterschiedlichen Ist-Prozesse hin zur Identifikation und Reduzierung der piK verfolgt.

Der **Soll-Ist-Prozess** beschreibt den Soll-Zustand des Ist-Prozesses, also den Auftragsabwicklungsprozess, wie er geplant, in Arbeitsanweisungen hinterlegt und in EDV-Systemen implementiert ist.

Der **Komplexitäts-Ist-Prozess** beschreibt den derzeit tatsächlich durchgeführten Auftragsabwicklungsprozess inklusive aller Umwege zur Vermeidung eines bekannten Fehlverhaltens. Das eigentliche Problem wird dabei nicht behoben, sondern mit zusätzlichem Aufwand (piK) werden die Symptome des beziehungsweise der Probleme umgangen. Ungeplante lokale Wertschöpfung wird somit nicht im Soll-Ist, sondern im Komplexitäts-Ist-Prozess aufgenommen.

Zur Aufnahme und Visualisierung der Prozesse werden, wie im Bild 5.11 dargestellt, zunächst die einzelnen Schwimmbahnen für das Swimlane Diagramm aus der strukturellen Supply Chain Darstellung abgeleitet und damit der Soll-Ist-Prozess abgebildet. Der Soll-Ist-Prozess wird hierbei nach den verschiedenen Supply Chain Strategien MTS, CTO, MTO und ETO (Kapitel 2.3.2) unterschieden.

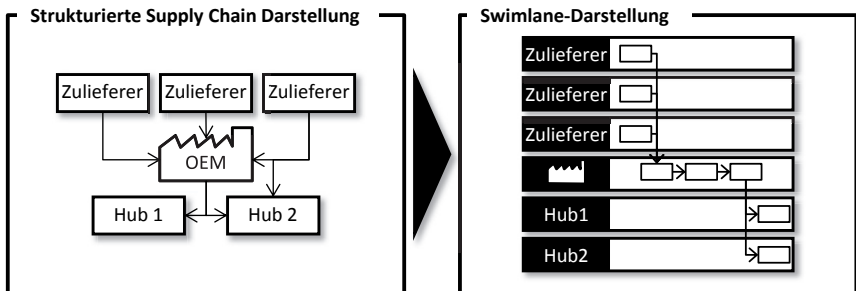


Bild 5.11 Detaillierungsstufen der Prozessbetrachtung

MTS und ETO spielen hierbei eine untergeordnete Rolle, da beim MTS eine Massenfertigung vorausgesetzt und beim ETO ein kundenindividuelles Produkt entwickelt wird. Allerdings wird beim ETO häufig auf verschiedene MTS, CTO und MTO Produkte oder Module zurückgegriffen.

Darauf aufbauend wird für jedes identifizierte Szenario der Komplexitäts-Ist-Prozess aufgenommen und mithilfe von weiteren Swimlane-Diagrammen visualisiert. Anschließend werden diese unterschiedlichen Komplexitäts-Ist-Prozesse zu einer Gesamtdarstellung zusammengeführt, welche die piK in der Auftragsabwicklung visualisiert (Bild 5.12). Ein Szenario beschreibt hierbei den Komplexitätstreiber mit allen Auswirkungen auf den Auftragsabwicklungsprozess und somit seine piK.

Für jedes Szenario werden die zusätzlichen Teilprozesse markiert und mit einer viereckigen oder runden Markierung gekennzeichnet (Bild 5.12). Eine viereckige Markierung kennzeichnet dabei zusätzliche, nicht geplante Wertschöpfung beziehungsweise zusätzliche, nicht geplante Prozesse. Eine kreisförmige Markierung kennzeichnet eine sich wiederholende Wertschöpfung.

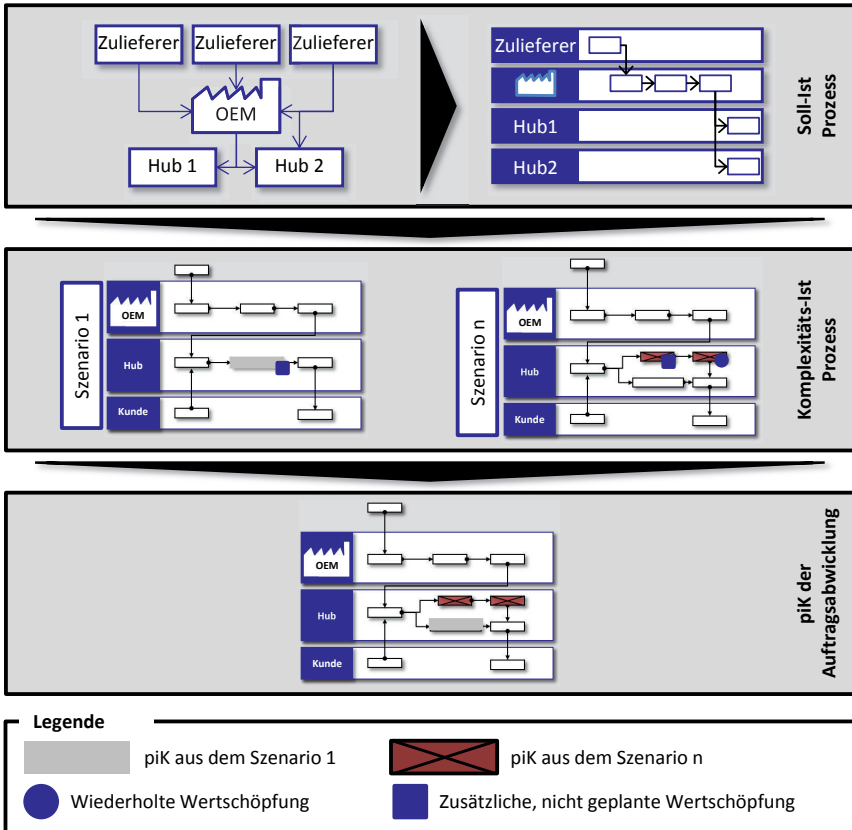


Bild 5.12 Erfassung und Analyse der Komplexität in der Auftragsabwicklung

Ein erläuterndes Beispiel ist die auf besonderen Kundenwunsch hin erforderliche Kennzeichnung einer Platine mit einem Zulassungsaufkleber. Diese nachträglich aufgetretene Anforderung erfordert eine neue Produktvariante, die nicht mit dem bestehenden Soll-Ist-Prozess abgewickelt werden kann. Folgende Schritte sind daher zusätzlich durchzuführen (Bild 5.13):

- Externes Drucken des Aufklebers (die Hardware hierfür ist am Montageplatz nicht vorhanden)
- Öffnen des Gehäuses, da der vom Kunden geforderte Aufkleber nicht in die automatische Produktion integriert werden kann
- Anbringen des Aufklebers
- Schließen des Gehäuses

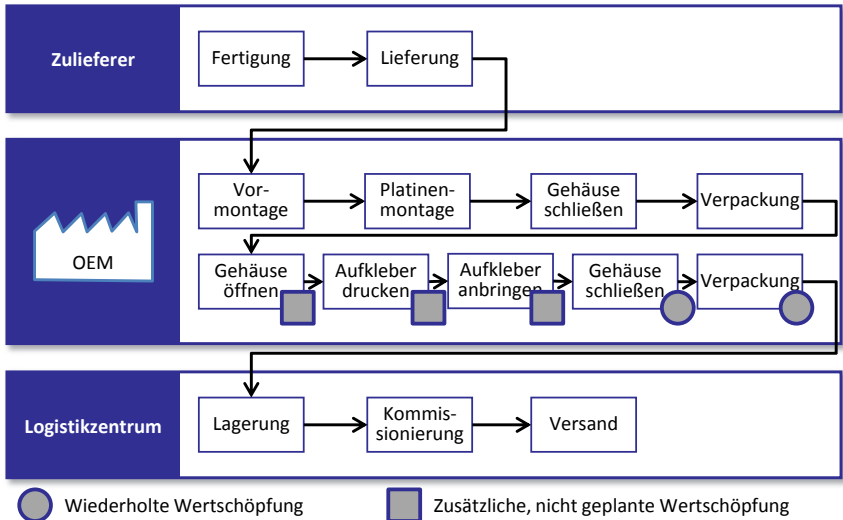


Bild 5.13 Swimlane eines Komplexitäts-Ist-Prozess

Die unterschiedlichen Szenarien werden anschließend zu einer Darstellung zusammengefasst, um eine transparente Darstellung der piK bereit zu stellen. Es werden die Szenarien und die Darstellungen der resultierenden piK (Kreis, Viereck) miteinander verbunden, damit die Ursache der piK jederzeit nachvollzogen werden kann und die Visualisierung der piK in sich nicht zu kompliziert wird. Dies wird durch eine Zahl realisiert. Diese ordnet die verschiedenen Kreise und Vierecke den einzelnen Szenarien zu, indem beispielsweise in der unteren rechten Ecke der Markierungen die Nummer des zugehörigen Szenarios steht.

Im Beispiel der Taschenrechner ist die Value Chain in Kapitel 5.1 bereits als strukturelle Supply Chain Darstellung beschrieben und besteht aus den folgenden Stationen, aus denen sich die Schwimmbahnen für ein Swimlane-Diagramm ableiten lassen.

- Zulieferer 1 – Kunststoffteile
- Zulieferer 2 – Elektrokomponenten
- Produktion des Unternehmens
- Hub 1 – Frankreich
- Hub 2 – Polen

Der Soll-Ist-Prozess des Beispiels ist im Bild 5.14 dargestellt. Da die Taschenrechner ausschließlich MTS Produkte sind, ist in diesem Beispiel eine Soll-Ist-Darstellung ausreichend.

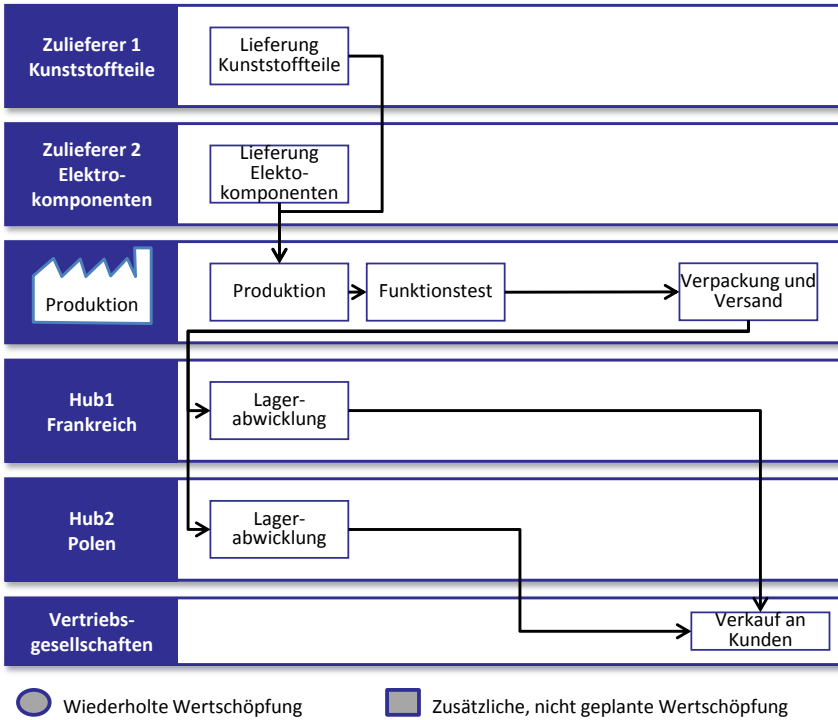


Bild 5.14 Swimlane des Soll-Ist-Prozess am Beispiel der Taschenrechner

Zur Identifizierung und Visualisierung der piK im Auftragsabwicklungsprozess wird, aufbauend auf der aufgenommenen Produktvielfalt und dem Soll-Ist-Prozess der Auftragsabwicklung, der Komplexitäts-Ist-Prozess identifiziert und visualisiert. Hierzu wird zu jedem Szenario der Komplexitäts-Ist-Prozess aufgenommen. Im Bild 5.15 ist dies beispielhaft am Szenario 2 dargestellt. Hierbei wünschen sich die Kunden den Taschenrechner mit Solarbetrieb. Der Zulieferer 2 muss zusätzlich zu den Elektrokomponenten auch noch Solarmodule liefern. Diese werden an das Hub 1 in Frankreich geliefert und dort nach der Demontage der Taschenrechner-Oberschale montiert.

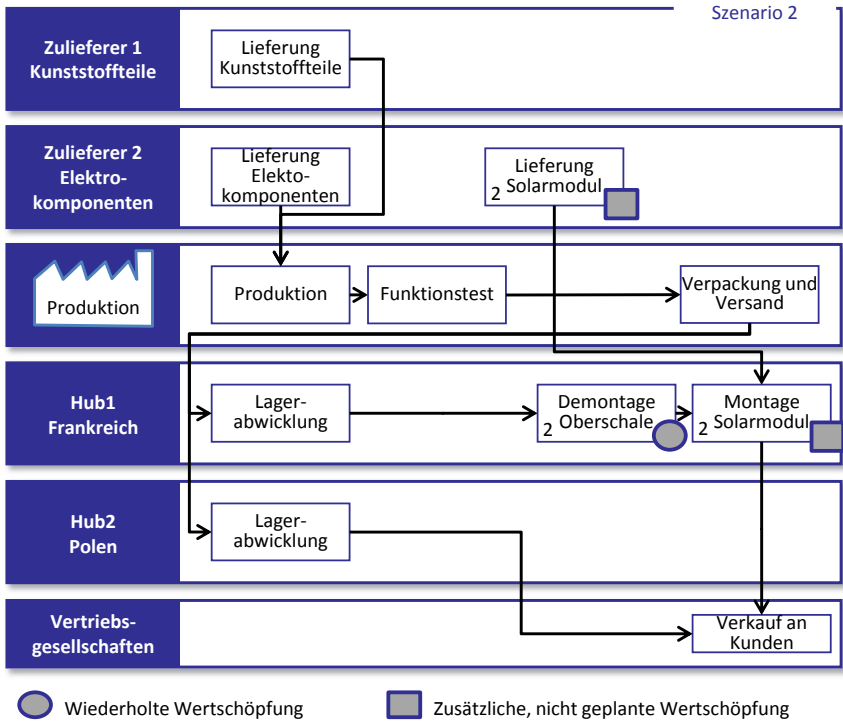


Bild 5.15 Swimlane eines Komplexitäts-Ist-Prozess am Beispiel des Szenarios 2

Analog zum Szenario 2 werden die Komplexitäts-Ist Prozesse aller identifizierten Szenarien aufgenommen und dargestellt. Durch das Zusammenführen der einzelnen Szenarien wird die piK des Auftragsabwicklungsprozess dargestellt (Bild 5.16).

In der Gesamtdarstellung steht in allen Kreisen und Rechtecken, welche z.B. von dem Szenario 2 verursacht werden, unten rechts die Ziffer "2". Dadurch kann die piK ihrer Ursache, nämlich dem Szenario 2, und somit ihren Komplexitätstreibern zugeordnet werden. Die zusätzliche, nicht geplante Wertschöpfung des aufbringens eines Aufklebers in der Produktion (Bild 5.16) ist dadurch z.B. dem Szenario 3 zuzuordnen.

Die Darstellung der piK der Auftragsabwicklung stellt eine Visualisierung der gesamten piK dar. Um die einzelnen sich wiederholenden oder zusätzlichen Wertschöpfungsschritte genauer analysieren zu können sind die Darstellungen der einzelnen Szenarien nötig.

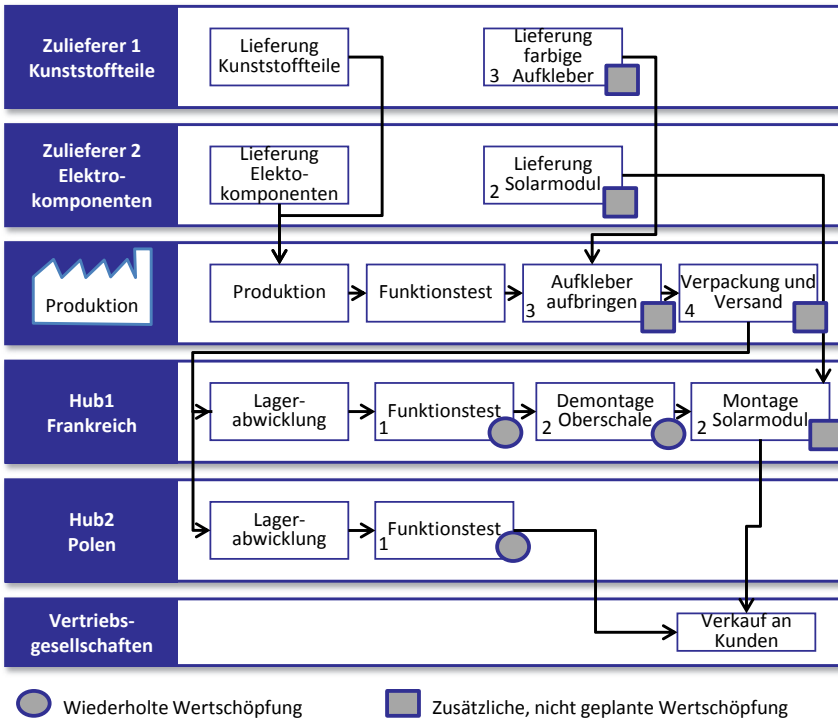


Bild 5.16 Swimlane der piK der Auftragsabwicklung am Beispiel

Zur Erlangung eines besseren Verständnisses über die piK und um nicht nur die Komplexitätsauswirkungen, sondern vor allem auch die Komplexitätsursachen zu verstehen, müssen die Ursachen der piK sowie die Schwachstellen innerhalb der Value Chain identifiziert werden. Hierzu werden die Komplexitätstreiber zunächst identifiziert und anschließend hinsichtlich ihrer Auswirkungen strukturiert.

Zur Identifikation von piK und deren Treibern bieten sich neben der Dokumenteneinsicht- und -analyse sowie der Prozessbeobachtung besonders Experteninterviews mit erfahrenen Mitarbeitern der jeweiligen Stationen der Value Chain an. Die Mitarbeiter verfügen meist über detailliertes, praktisches Erfahrungswissen der auftretenden piK in den Prozessen. Bei den Interviews ist es notwendig, unterschiedliche Hierarchiestufen im Unternehmen anzusprechen, um deren verschiedene Gesichtspunkte und Fokussierungen zu berücksichtigen.

Da neben den Komplexitätstreibern, die eine Veränderung im Prozess hervorrufen, auch weitere, generellere im Unternehmen auftretende Komplexitätstreiber ermittelt werden, ist eine Strukturierung hinsichtlich ihrer Auswirkungen durchzuführen. Beispiel hierfür sind beschränkte Fähigkeiten von EDV-Systemen oder auch sich dynamisch ändernde Anforderungen des Kunden, welche die Komplexität des Auftragsabwicklungsprozesses erhöhen.

Am Beispiel der Taschenrechner können die folgenden Komplexitätstreiber für die unterschiedlichen Szenarien identifiziert werden:

- Szenario 1

Komplexitätstreiber für die erneute Prüfung der Taschenrechner ist die Alterung der Produkte durch lange Lagerungen. Aus Sicht der Auftragsabwicklung entstehen dadurch unterschiedliche Produktvarianten; jene die erst eine kurze Zeit im Lager liegen und jene die aufgrund der langen Lagerzeit eine erneute Prüfung benötigen.

- Szenario 2

Komplexitätstreiber im Szenario 2 ist die Erhöhung der Produktvielfalt durch die ungeplante Anforderung der Kunden nach solarbetriebenen Taschenrechnern. Die Produktvielfalt ist dadurch von sechs geplanten Varianten auf 12 Varianten angestiegen (siehe Bild 5.6 auf Seite 82).

- Szenario 3

Komplexitätstreiber im Szenario 3 ist die Erhöhung der Produktvielfalt durch die ungeplante Anforderung der Kunden nach farbigen Taschenrechnern. Die Produktvielfalt steigt nach dem Szenario 2, durch das Szenario 3, nochmals auf 18 Varianten (siehe Bild 5.6 auf Seite 82).

- Szenario 4

Komplexitätstreiber ist das unterschiedliche Päckchenmaß in Ost- und Westeuropa und die interne Anforderung nach einem kostengünstigen Versand als Päckchen. Da die größte Taschenrechnergröße nicht in die Standardverpackung passt, muss die Auftragsabwicklung weitere Produktvarianten handhaben.

Bild 5.17 stellt die Komplexitätstreiber in einer strukturierten Baumdarstellung entsprechend ihrer Auswirkungen dar.

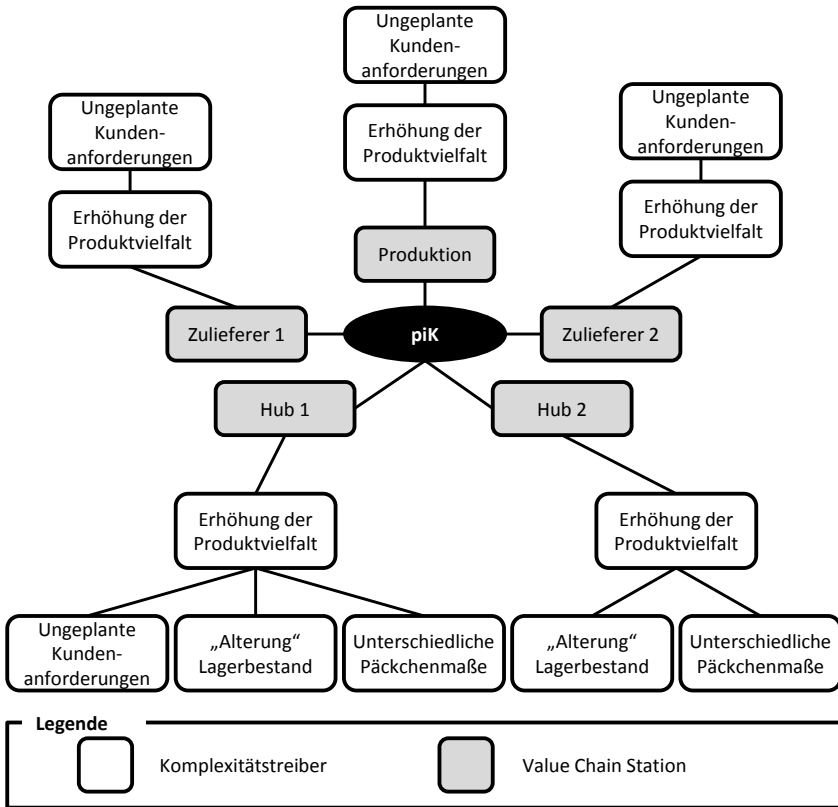


Bild 5.17 Strukturiertes Baumdiagramm der Komplexitätstreiber am Beispiel

5.2.3 Priorisierung der Komplexitätstreiber

Die oben dargestellte Strukturierung der Komplexitätstreiber impliziert bereits eine grobe Priorisierung hinsichtlich ihrer Auswirkungen. Ein Komplexitätstreiber, welcher ausschließlich Auswirkungen auf das Hub 2 hat, wird von Mitarbeitern des Hub 1 nicht hoch priorisiert. Zusätzlich ist daher eine Betrachtung der Wechselwirkungen unter den Komplexitätstreibern durchzuführen. Hierzu wurde ein dreistufiges Vorgehen entwickelt.

- Erfassung der Einflüsse der Komplexitätstreiber
- Visualisierung der Einflüsse
- Priorisieren der Einflüsse

Zur Visualisierung und Priorisierung wird auf die im Bild 5.18 dargestellten Werkzeuge zurückgegriffen.

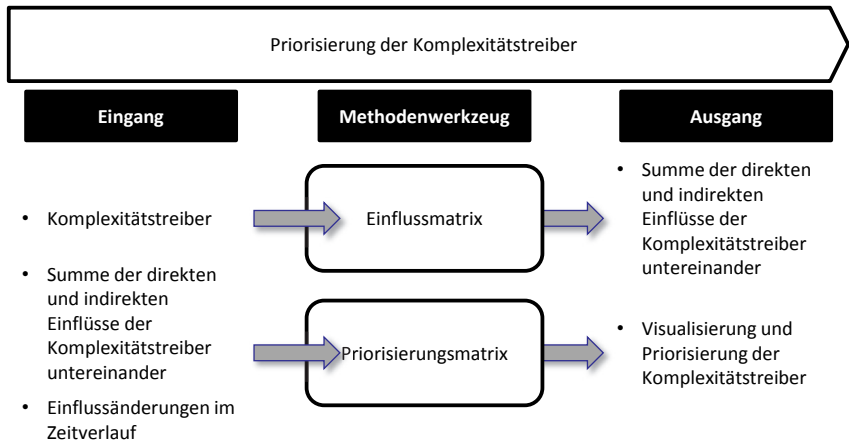


Bild 5.18 Methodenbaustein zur Priorisierung der Komplexitätstreiber

Zur Betrachtung der Wechselwirkungen unter den Komplexitätstreibern werden die Komplexitätstreiber mithilfe der Einflussmatrix gegenübergestellt und ihr gegenseitiger Einfluss aufgenommen. Bild 5.19 zeigt die Einflussmatrix am Beispiel der Taschenrechner. Es wird angezeigt, ob die jeweilige Zeile einen Einfluss auf die Spalte hat oder nicht. Der Komplexitätstreiber 2 (ungeplante Anforderungen) hat z.B. einen Einfluss auf den Komplexitätstreiber 3 (Kundenwunsch nach solarbetriebenen Taschenrechner). Der Komplexitätstreiber 3 hat jedoch keinen Einfluss auf den Komplexitätstreiber 2, daher ist die Einflussmatrix keine symmetrische Matrix.

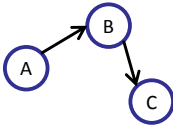
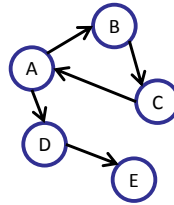
		Komplexitätstreiber				
		1	2	3	4	5
Komplexitätstreiber	1					
	2	x		x	x	
	3	x			x	
	4			x		
	5					

- KT 1 = Erneute Prüfung der Funktion der Taschenrechner
- KT 2 = Ungeplante Anforderungen
- KT 3 = Kundenwunsch nach solarbetriebenen Taschenrechnern
- KT 4 = Kundenwunsch nach farbigen Taschenrechnern
- KT 5 = Unterschiedliche Päckchenmaße in Ost- und Westeuropa

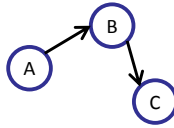
Bild 5.19 Einflussmatrix am Beispiel der Taschenrechner

Anschließend werden die Komplexitätstreiber und ihre Einflüsse mithilfe der Priorisierungsmatrix nach NEUMANN gewichtet [Neu07]. Auf der horizontalen X-Achse wird die Summe der direkten und indirekten Einflüsse der Faktoren aufgetragen. Je weiter ein Faktor im rechten Bereich liegt, desto stärker ist sein Einfluss. Auf der Y-Achse wird die Einflussänderung je Zeiteinheit aufgetragen (Bild 5.20 unten).

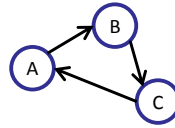
		Komplexitätstreiber				
		A	B	C	D	E
Komplexitätstreiber	A		x		x	
	B			x		
	C	x				
	D					x
	E					



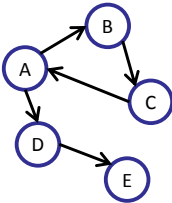
Direkter Einfluss von A auf B



indirekter Einfluss von A auf C



Schleife



	Direkte	indirekte	Schleifen
A	2	2	1
B	1	1	1
C	1	2	1
D	1	0	0
E	0	0	0

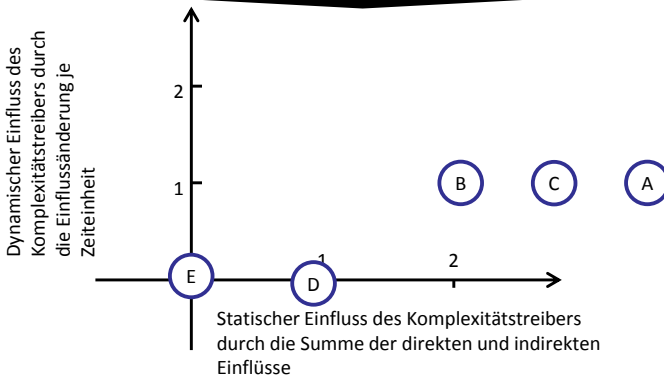


Bild 5.20 Priorisierung mithilfe der Priorisierungsmatrix

Um die Priorisierungsmatrix zu nutzen, müssen zunächst die Anzahl der direkten und indirekten Einflüsse der Komplexitätstreiber sowie die Anzahl der Schleifen, an denen ein Komplexitätstreiber beteiligt ist, ermittelt werden. Hierzu wird zunächst das Ergebnis der Einflussmatrix graphisch mithilfe des Ursache-Wirkungsdiagrammes visualisiert (Bild 5.20 oben) und anschließend die Anzahl der Einflüsse und Schleifen ermittelt (Bild 5.20 mitte).

Die dynamische Einflussänderungen je Zeiteinheit entstehen durch sogenannte Schleifen. Diese können durch die Beziehung zwischen den Komplexitätstreibern entstehen und deren Einflüsse mit der Zeit verstärken oder auch ausgleichen. Ein Beispiel einer sich verstärkenden Schleife ist im Bild 5.21 abgebildet.

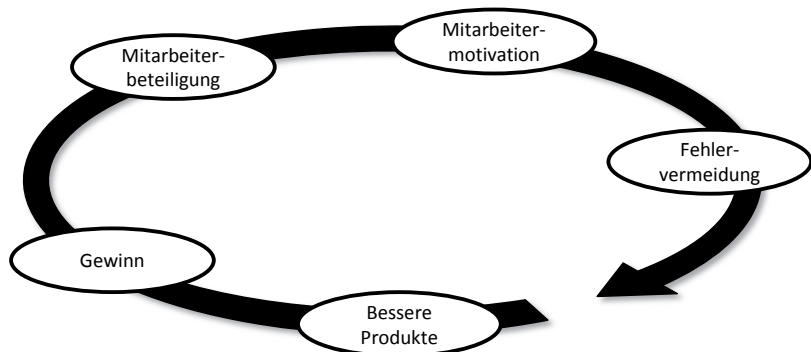
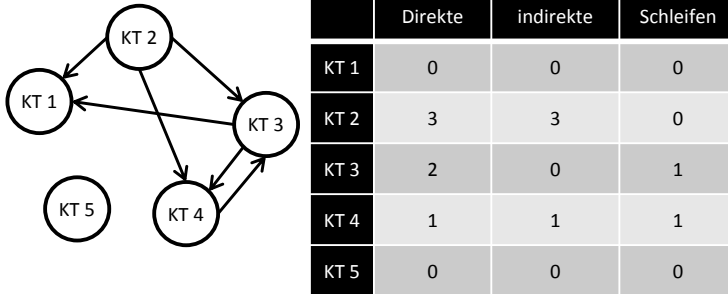


Bild 5.21 Beispiel einer sich verstärkenden Schleife

Die Priorisierung betrachtet sowohl die Strukturierung der Komplexitätstreiber und die Ergebnisse der Einflussmatrix als auch weitere unternehmensstrategische Gesichtspunkte. Die Ergebnisse müssen durch eine erneute Betrachtung der Komplexitätstreiber unter strategischen Gesichtspunkten überprüft und ergänzt werden. Hierzu wird ein Workshop mit den strategischen Leitern des Unternehmens durchgeführt. Im Rahmen dieses Workshops werden Strukturierung der Komplexitätstreiber und die Ergebnisse der Priorisierungsmatrix vorgestellt und diskutiert. Darüber hinaus werden bei Bedarf noch weitere Gesichtspunkte besprochen, die bei einer Priorisierung berücksichtigt werden müssen (z.B. Kostenbetrachtung).

Bild 5.22 stellt das Ursache-Wirkungsdiagramm zur Priorisierung der Komplexitätstreiber und die Anzahl der direkten und indirekten Einflüsse sowie der Schleifen am Beispiel Taschenrechner dar.



KT 1 – Erneute Prüfung der Funktion der Taschenrechner
 KT 2 – Ungeplante Anforderungen
 KT 3 – Kundenwunsch nach solarbetriebenen Taschenrechnern
 KT 4 – Kundenwunsch nach farbigen Taschenrechnern
 KT 5 – Unterschiedliche Päckchenmaße in Ost- und Westeuropa

Bild 5.22 Anzahl der Einflüsse sowie der Schleifen am Beispiel

Mit den so ermittelten Daten wird anschließend die Priorisierungsmatrix aufgestellt (Bild 5.23). Aus dieser kann für das Beispiel die folgende Priorisierung der Komplexitätstreiber abgeleitet werden:

1. Ungeplante Anforderungen
2. Kundenwunsch nach farbigen Taschenrechnern
2. Kundenwunsch nach solarbetriebenen Taschenrechnern
4. Erneute Prüfung der Funktion der Taschenrechner
4. Unterschiedliche Päckchenmaße in Ost- und Westeuropa

Die Komplexitätstreiber „Kundenwunsch nach farbigen Taschenrechnern“ und „Kundenwunsch nach solarbetriebenen Taschenrechnern“ sind nach der Priorisierungsmatrix sowohl statisch als auch dynamisch gleich priorisiert. Um diese Gewichtung durchzuführen und um die vorgeschlagene Priorisierung zu bestätigen oder zu widerlegen, wird eine abschließende Priorisierung durch Experten durchgeführt.

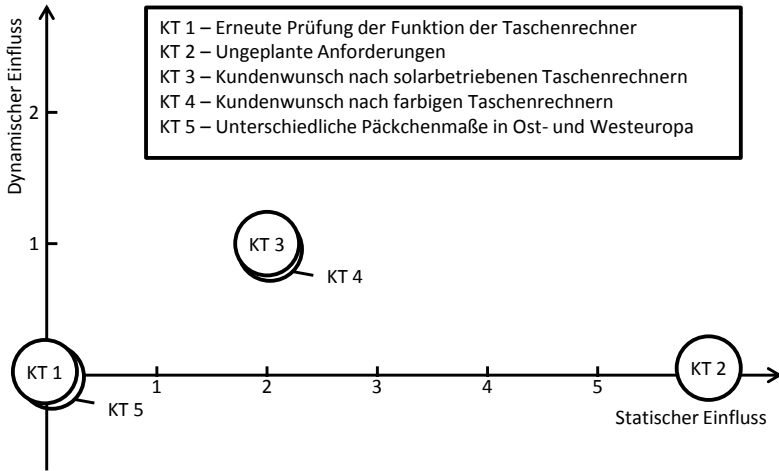


Bild 5.23 Priorisierungsmatrix am Beispiel

5.2.4 Zuordnung der Komplexitätstreiber zu Handlungsfeldern

Nach der Erfassung der piK und der Priorisierung der unternehmensspezifischen Komplexitätstreiber werden die Treiber verschiedenen generischen Handlungsfeldern des Komplexitätsmanagements zugeordnet. Dazu wird das Werkzeug der Zuordnungsmatrix verwendet (Bild 5.24).

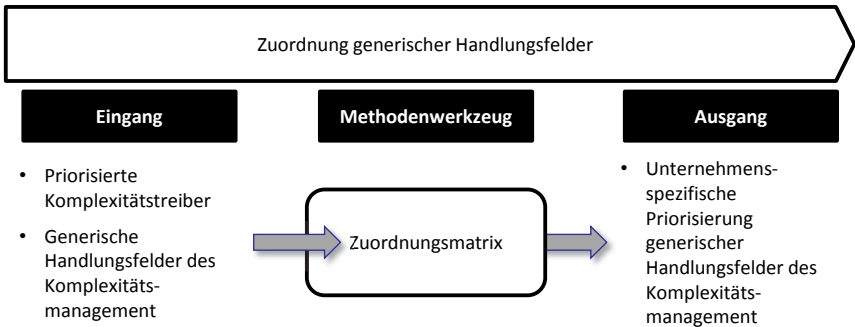


Bild 5.24 Methodenbaustein zur Zuordnung generischer Handlungsfelder

Für die Entwicklung von DfVC wurden im Rahmen einer Literaturrecherche die generischen Handlungsfelder identifiziert, die in Tabelle 5.1 dargestellt sind.

Tabelle 5.1 Unterschiedliche Handlungsfelder zur Komplexitätsreduzierung

Design for Supply Chain [Lee93], [Bro11e]	Optimierung der Produktstruktur für eine effiziente Auftragsabwicklung
Design of Supply Chain [Bec08a]	Optimierung der Gestaltung von Logistiknetzwerken und -prozessen
Anforderungsmanagement [Ver04]	Aufnahme, Priorisierung und Dokumentation aller erforderlichen Anforderungen
Variantenmanagement [Fra01], [Hei99], [Sch89b], [Ble10], [Bro11e]	Reduzierung, Vermeidung und Beherrschung der internen Komplexität
Supply Chain Management [Wil11]	Koordinierung der Zusammenarbeit aller an der Auftragsabwicklung beteiligten Organisationseinheiten
Produktprogrammplanung [Jon10]	Marktorientierte und variantengerechte Strukturierung der Gesamtheit der zukünftig angebotenen Produkte
Auswahl der Sourcing Strategie [App11]	Auswahl der zuzukaufenden Produkte, Module, Baugruppen, Komponenten oder Dienstleistungen
Wissensmanagement [Pro10]	Systematische Identifikation, Erwerb, Bewahrung, Verteilung, Nutzung und Entwicklung von Wissen
Ideenmanagement [Kru02]	Gezielte Aufnahme, Auswertung und Nutzung von Verbesserungsvorschlägen der Mitarbeiter
Klären der Unternehmensziele und –strategien [Mac10]	Definieren und Kommunizieren der Unternehmensziele, um das globale Denken und Handeln von lokalen Organisationseinheiten zu fördern
Gezielte Produkteinführung [Wan98]	Optimierung der Gestaltung des Serienanlaufes, sowie des Launchprozesses
Auswahl der Wettbewerbsstrategie [Por08]	Produktspezifische Auswahl der geeigneten Wettbewerbsstrategie (z.B. Kostenführerschaft)
Auswahl der Absatzpreis- und Marketingstrategie [Hei99]	Produktspezifische Auswahl und Klärung der Vermarktungsstrategie, der Absatzmärkte und -preise
Anpassen des Rechnungswesen an Unternehmensziele [Möl11]	Festlegung von internen Verrechnungspreisen zur Unterstützung einer ganzheitlichen Optimierung
Personalentwicklung (Anreizsysteme) [Hau09]	Sensibilisierung der Mitarbeiter für die Unternehmensziele (Anreizsysteme, Mitarbeiterschulung)
Prozessoptimierung [Bec08a]	Gestaltung der unternehmensinternen Prozesse zur effizienten Auftragsabwicklung

In die Zeilen der Zuordnungsmatrix werden die priorisierten unternehmensspezifischen Komplexitätstreiber eingetragen und den Handlungsfeldern (Spalten) gegenüber gestellt. Die

Beziehungen der Handlungsfelder untereinander werden in einer Dachmatrix dargestellt (Bild 5.25).

Für jeden einzelnen Komplexitätstreiber wird untersucht, in wieweit die Handlungsfelder zur Reduzierung der durch den Treiber erzeugten Komplexität beitragen.

Zur Ermittlung der Wechselwirkungen in der Dachmatrix wurde zur Entwicklung der Methode im Einzelnen untersucht,

- ob die Handlungsfelder unabhängig voneinander zum Komplexitätsmanagement beitragen können (leeres Feld in der Dachmatrix),
- ob die Handlungsfelder durch Eingaben aus der Bearbeitung des anderen Handlungsfeldes unterstützt werden (weißer Kreis in der Dachmatrix) und/oder
- ob die Handlungsfelder im Rahmen eines ganzheitlichen Komplexitätsmanagements nur gemeinsam bearbeitet werden können (schwarzer Kreis in der Dachmatrix).

Die Dachmatrix zeigt z.B., dass die beiden Handlungsfelder Design for Supply Chain und Rechnungswesen unabhängig voneinander zum Komplexitätsmanagement beitragen können. Die Handlungsfelder Design for Supply Chain und Design of Supply Chain sind hingegen direkt voneinander abhängig und können im Rahmen eines ganzheitlichen Komplexitätsmanagements nur gemeinsam bearbeitet werden.

Nach der Priorisierung der Komplexitätstreiber (Kapitel 5.2.3) werden die für das jeweilige Unternehmen relevanten Handlungsfelder identifiziert und ein unternehmensspezifisches ganzheitliches Maßnahmenpaket des Komplexitätsmanagements abgeleitet.

Bild 5.25 zeigt die Zuordnungsmatrix am Beispiel. Die Komplexitätstreiber werden gemäß ihrer Priorisierung gewichtet, und die Handlungsfelder werden gemäß ihrer Zuordnung aufsummiert. In dem Beispiel der Taschenrechner-Produktfamilie wird die Gewichtung der Priorisierungsmatrix eins zu eins übernommen, da keine Gewichtung nach strategischen Gesichtspunkten vorliegt.

Nach der Zuordnung der generischen Handlungsfelder zu den unternehmensspezifischen Komplexitätstreibern wird die gewichtete Summe gebildet. Jede Zuordnung wird hierbei gleich gewichtet und mit dem Wert 1 belegt.

Es kann festgestellt werden, dass die strategische Ausrichtung des Komplexitätsmanagements des Unternehmens ihren Fokus verstärkt auf die Handlungsfelder Anforderungsmanagement und Variantenmanagement legen sollte.

Im Anschluss unterstützt die Dachmatrix die Entscheidung, welche weiteren Handlungsfelder ebenfalls bearbeitet werden müssen. Hierzu werden die Abhängigkeiten der identifizierten mit den restlichen Handlungsfeldern untersucht (rote Hervorhebung in der Dachmatrix im Bild 5.25). So haben z.B. das Wissensmanagement und die Personalentwicklung jeweils zwei direkte Abhängigkeiten zu den identifizierten Handlungsfeldern Anforderungsmanagement und Variantenmanagement.

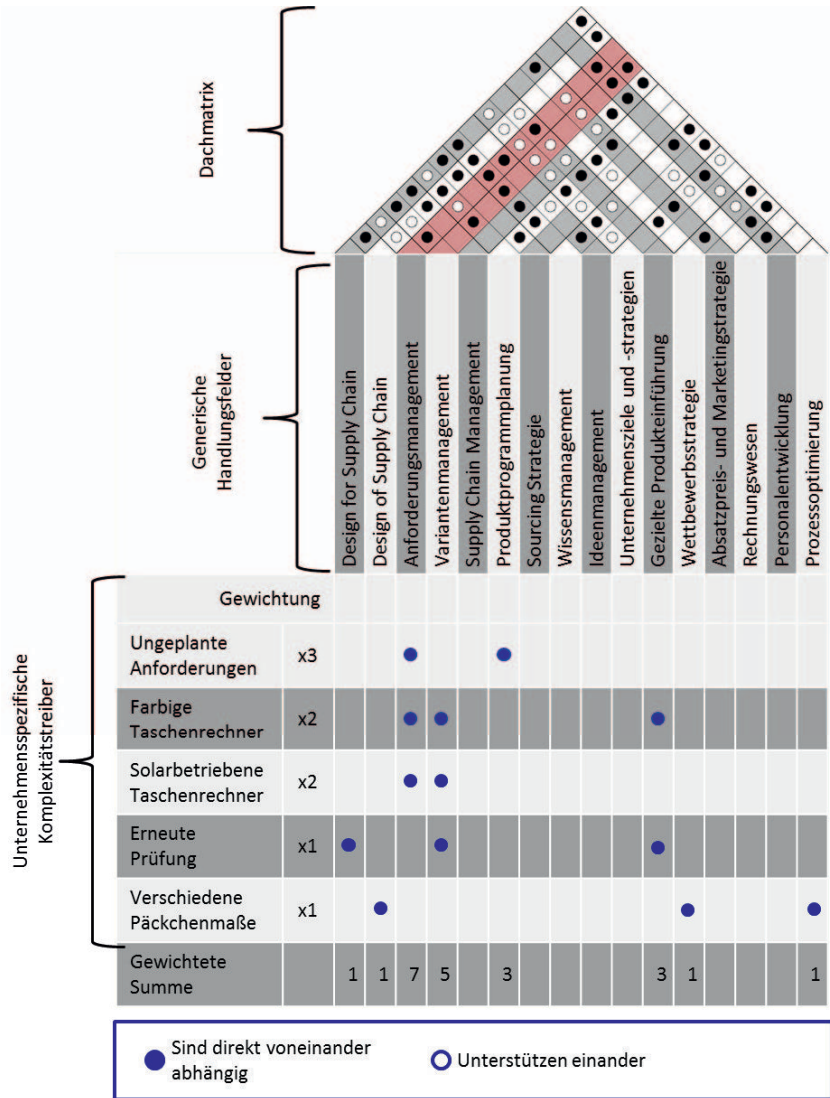


Bild 5.25 Zuordnungsmatrix am Beispiel

5.3 DfVC zur Unterstützung der Produktentstehung

Zur Unterstützung der Produktentstehung berücksichtigt DfVC die Anforderungen der Value Chain in den einzelnen Produktentstehungsprojekten [Bro12a], [Bro12b]. Bild 5.26 zeigt die Maßnahmen dieses Methodenblocks und die entwickelten Hilfs- und Visualisierungswerk-

zeuge. Dieser Methodenblock wird nach dem Methodenblock der Identifikation strategischer Handlungsfelder durchgeführt. Daher kann auf die dort bereits gewonnenen Erkenntnisse zurückgegriffen werden. Im Bild 5.26 sind die Werkzeuge, welche bei der Identifikation strategischer Handlungsfelder bereits genutzt wurden und auf deren Ergebnisse zurückgegriffen werden kann, durch eine gepunktete Umrandung gekennzeichnet. Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen und Methodenwerkzeuge näher beschrieben.

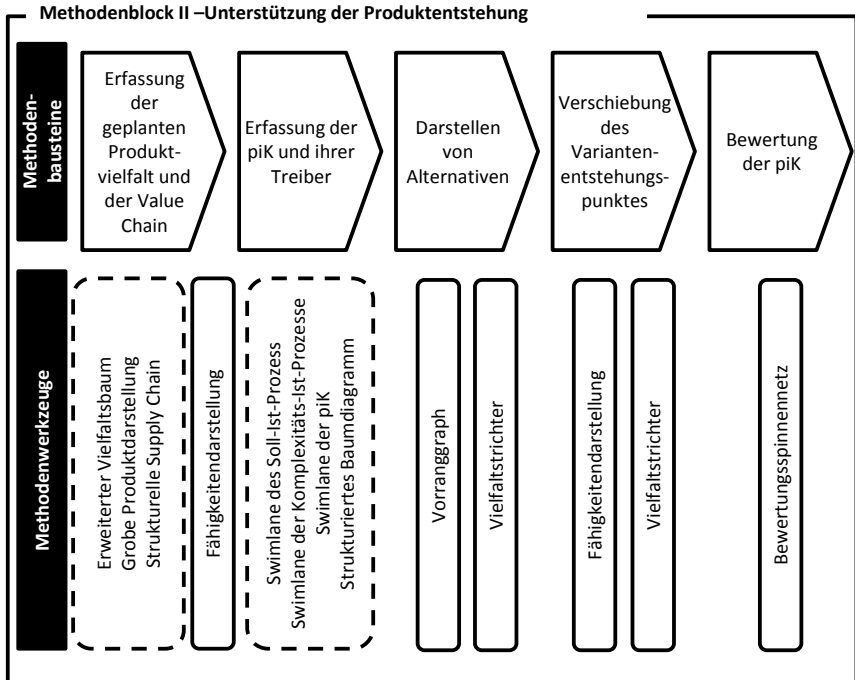


Bild 5.26 DfVC zur Unterstützung der Produktentstehung

5.3.1 Erfassung der geplanten Produktvielfalt und der Value Chain

Analog zur Erfassung der Produktvielfalt bei dem Methodenblock der Identifikation strategischer Handlungsfelder muss an dieser Stelle die Produktvielfalt identifiziert werden, welche im Rahmen des Produktentstehungsprojektes betrachtet werden muss.

Bild 5.27 zeigt die entwickelten Methodenwerkzeuge zur Erfassung der geplanten Produktvielfalt und der Value Chain.

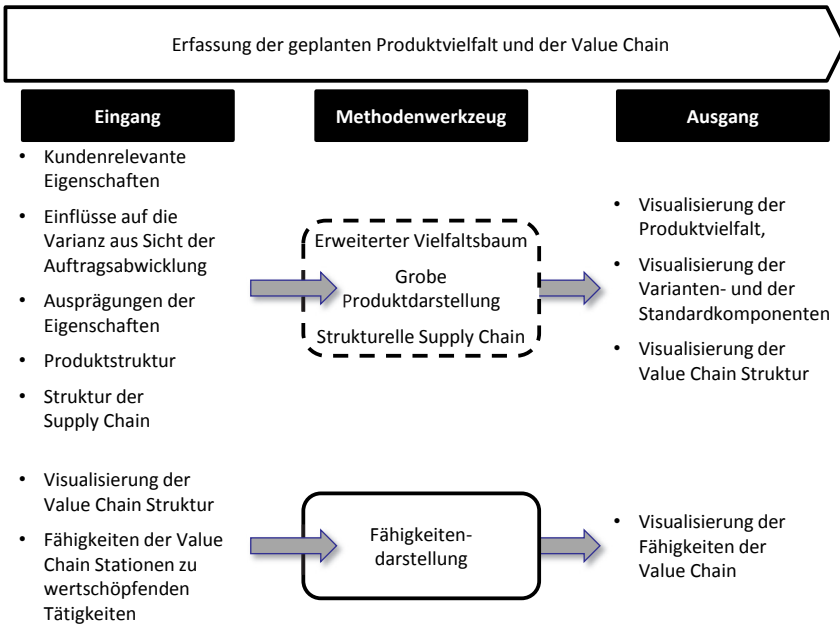


Bild 5.27 Methodenbaustein zur Erfassung der geplanten Produktvielfalt und der Value Chain

Neben der Aufnahme der geplanten Produktvielfalt werden die technischen und kapazitiven Fähigkeiten der einzelnen Stationen der Value Chain erfasst. Gerade für die Produktentstehung sind solche Informationen von hoher Relevanz bei der Entscheidung über die Fertigungsstrategie. Wenn z.B. ein Hub in der Lage ist, elektrische Geräte selber zu kalibrieren oder ein separates Testen von Teilen durchzuführen, ein anderes Hub allerdings nicht, muss die Produktentstehung diese Informationen kennen, um die Produkt- beziehungsweise Fertigungsstruktur dementsprechend anpassen zu können. Auch bei der Entscheidung über die Modularisierung eines Produktes sind Kenntnisse über solche Fähigkeiten unerlässlich, um Modultreiber beziehungsweise Modulrestriktionen im Rahmen der Value Chain identifizieren zu können.

Zur Darstellung der Fähigkeiten der einzelnen Stationen der Value Chain nutzt DfVC die schnell erkennbare und anschauliche Darstellungsmethode der Ampel in der Fähigkeitsdarstellung. Bild 5.28 zeigt die Potenziale der einzelnen Stationen der Value Chain mithilfe dieser Fähigkeitsdarstellung. Hierfür wird die Visualisierung der Value Chain als strukturelle Supply Chain genutzt und um eine Ampeldarstellung erweitert.

Um die jeweiligen Potenziale in der Ampel inhaltlich richtig darstellen zu können, wird eine Tabelle mit den Potenzialen der einzelnen Stationen erarbeitet. Diese wird dann im Hintergrund als Datenbasis verwendet und im Unternehmen zentral gepflegt. Sie enthält die einzelnen wertschöpfenden Tätigkeiten, die zur Produktion und Distribution der Produkte und der Produktvielfalt benötigt werden sowie die Informationen, ob die einzelnen Stationen der Value Chain technisch und kapazitiv in der Lage sind, diese durchzuführen.

Die Darstellung weist ein Auswahlfeld auf, in welchem die einzelnen Potenziale ausgewählt werden können. Die Ampeln am rechten Rand der Stationen zeigen an, ob an dieser Station das zu ermittelnde Potenzial vorhanden ist (grün), ob noch gewisse Voraussetzungen beziehungsweise zusätzliche Tätigkeiten oder Funktionen erfüllt oder geschaffen werden müssen (gelb) oder, ob die Fähigkeit nicht vorhanden ist beziehungsweise nicht ohne umfangreiche Zusatzleistungen geschaffen werden kann (rot).

Bild 5.28 zeigt die Fähigkeitendarstellung am Beispiel der Taschenrechner. Die ausgewählte Tätigkeit ist die Durchführung eines Funktionstestes. Dieser Funktionstest kann in der Produktion und im Hub 1 problemlos durchgeführt werden, das Hub 2 muss noch befähigt werden. Die Zulieferer können den Funktionstest nicht durchführen, da sie keinen Zugriff auf die produzierten Taschenrechner haben.

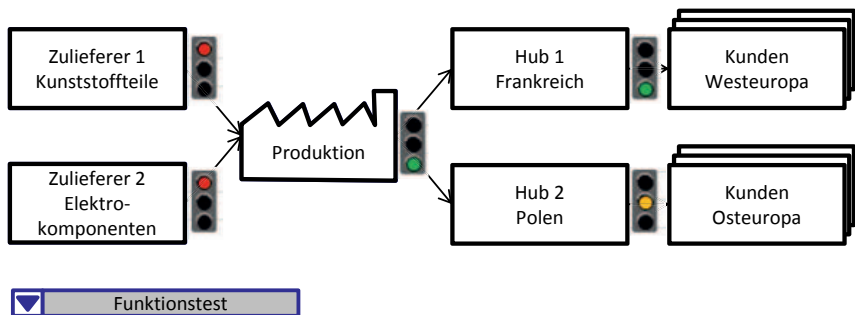


Bild 5.28 Fähigkeitendarstellung am Beispiel

5.3.2 Erfassung der produktvarianteninduzierten Komplexität und ihrer Treiber

Analog zur Erfassung des Methodenblocks zur Identifikation strategischer Handlungsfelder werden an dieser Stelle die mögliche piK und ihre Treiber identifiziert, die im Rahmen des Produktentstehungsprozesses betrachtet werden müssen (Kapitel 5.2.2). Bild 5.29 zeigt die Methodenwerkzeuge zur Erfassung der piK und ihrer Komplexitätstreiber.

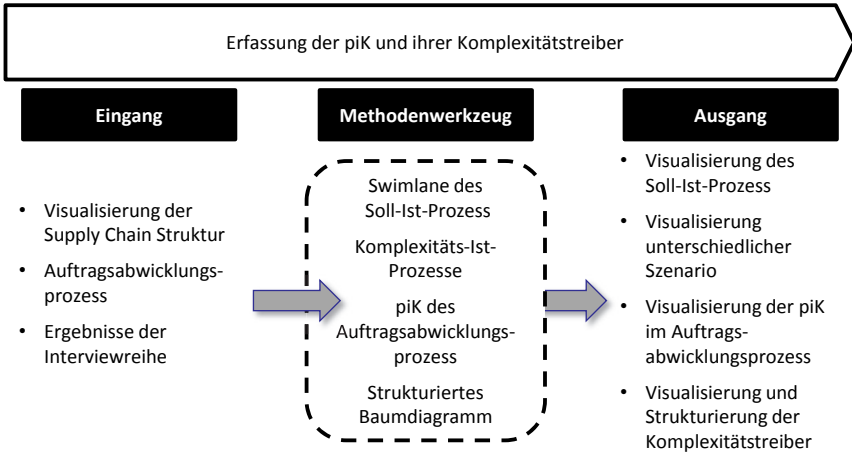


Bild 5.29 Methodenbaustein zur Erfassung der piK und ihrer Komplexitätstreiber

Zur Erfassung werden die Erfahrungen der Mitarbeiter mit der bestehenden Produktfamilie und ihrer Auftragsabwicklung berücksichtigt. Zur Unterstützung der Weiterentwicklung einer Produktfamilie werden verschiedene Szenarien untersucht. Diese Szenarien bestehen aus unterschiedlichen Konzepten zur Realisierung der Produktstruktur und des Auftragsabwicklungsprozesses. Zur Bewertung und zum Aufzeigen von Alternativen der unterschiedlichen Konzepte wird die piK für jedes Szenario mithilfe der Swimlane-Diagramme visualisiert.

5.3.3 Darstellen von Alternativen

Zum Darstellen von Alternativen wird, wie in Bild 5.30 dargestellt, auf die Methodenwerkzeuge Vorranggraph und Vielfaltstrichter zurückgegriffen.

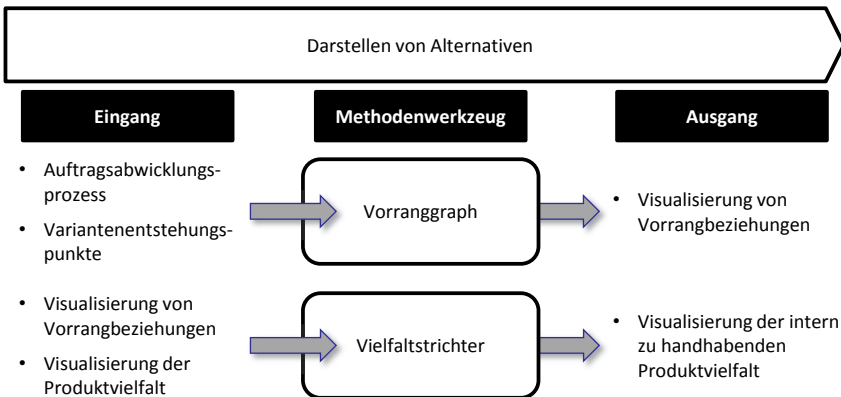


Bild 5.30 Methodenbaustein zur Darstellung von Alternativen

Zur Darstellung von Alternativen wird eine Kombination der Visualisierungswerkzeuge Swimlane-Diagramm und Vielfaltstrichter verwendet. Das Swimlane-Diagramm stellt den aufgenommenen Auftragsabwicklungsprozess und die aufgenommene piK dar. Hierbei ist jede Schwimmbahn einer Value Chain Station zugeordnet. Der Vielfaltstrichter bildet die Anzahl der verschiedenen Produktvarianten entlang des Wertschöpfungsprozess ab.

Die Analyse zur Darstellung von Alternativen findet in den folgenden Schritten statt:

- Auswerten der Informationen aus der Erfassung der Ist-Situation
- Aufstellen der Vorranggraphen und Darstellung der Variantenentstehungspunkte für unterschiedliche Alternativen der Auftragsabwicklung
- Darstellen der Alternativen durch das Aufstellen der Vielfaltstrichter für die unterschiedlichen Alternativen

Bei der Auswertung der Ist-Situation wird auf die Informationen aus Kapitel 5.3.2 zurückgegriffen. Diese Informationen werden im Weiteren analysiert und durch die Darstellung im Vielfaltstrichter erweitert.

Zum Aufstellen des Vorranggraphs wird der Auftragsabwicklungsprozess, ähnlich eines Montagevorranggraphs, angeordnet. Bild 5.31(oben) zeigt den Vorranggraph des Komplexitäts-Ist Prozesses am Beispiel der Taschenrechner.

Zum Aufstellen des Vielfaltstrichters (Bild 5.31 unten) wird mithilfe des erweiterten Vielfaltsbäume (Kapitel 5.3.1) die Anzahl der handzuhabenden Varianten zwischen den Variantenentstehungspunkten dargestellt. Hierfür werden die kundenrelevanten Eigenschaften und die Einflüsse auf die Varianz aus Sicht der Auftragsabwicklung des Vielfaltsbäume entsprechend der Reihenfolge im Wertschöpfungsprozess sortiert. An jedem Variantenentstehungspunkt kann somit dargestellt werden, wie viele Varianten zu diesem Zeitpunkt gehandhabt werden müssen.

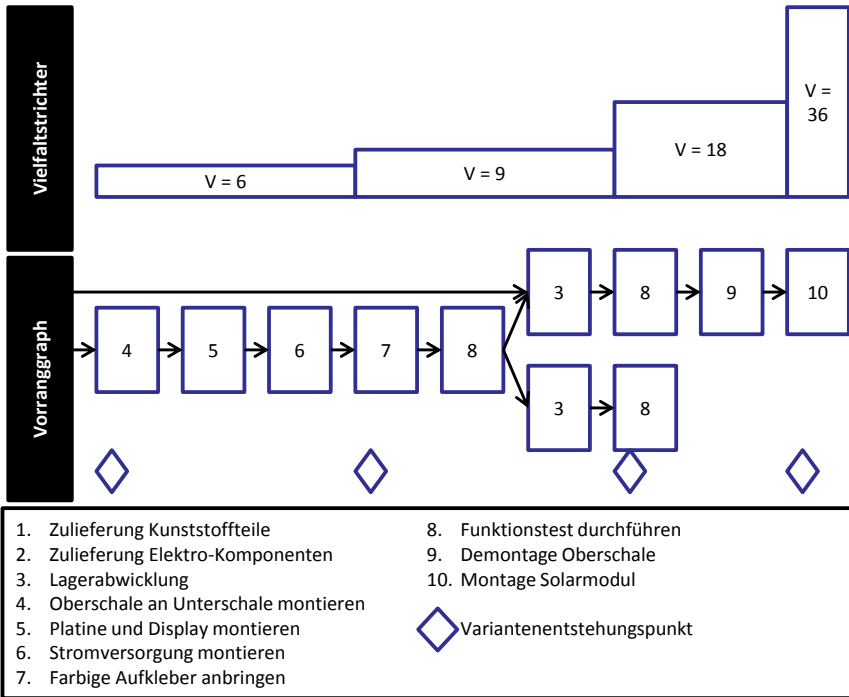


Bild 5.31 Vorranggraph und Vielfaltstrichter am Beispiel der Taschenrechner-Produktfamilie

Zum Aufzeigen von Alternativen verschiedener Produkt- und Auftragsabwicklungskonzepte werden diese in unterschiedlichen Vielfaltstrichtern dargestellt. Ziel ist es, die Variantenviel-falt erst gegen Ende des Auftragsabwicklungsprozess entstehen zu lassen.

Auf diese Art und Weise werden auch die Alternativen der verschiedenen Produktionsansätze (ETO, MTO, CTO, MTS) und der sich dadurch verschiebende Kundenentkopplungspunkt dargestellt. Der Kundenentkopplungspunkt stellt den Punkt, in der Value Chain, dar, an dem die Kundenanonyme Vorratsproduktion aufhört und die Kundenspezifische Auftragsfertigung beginnt.

5.3.4 Verschiebung des Variantenentstehungspunktes

Nach der Aufnahme- und Analysephase zur Darstellung von Alternativen wird im Folgenden die Phase des Ableitens von Handlungsempfehlungen beschrieben. Hierbei wird die Gestaltung des Auftragsabwicklungsprozesses durch die Verschiebung des Variantenentstehungspunktes unterstützt. Zur Identifikation des optimalen Variantenentstehungspunktes wird dabei sowohl auf die Fähigkeitendarstellung als auch auf den Vielfaltstrichter zurückgegriffen (Bild 5.32). Im Folgenden wird anhand der Szenarien 1 und 3 näher erläutert, in wie fern die Ampeldarstellung die Verschiebung des Variantenentstehungspunktes beziehungsweise die Frage des optimalen Postponements unterstützt.

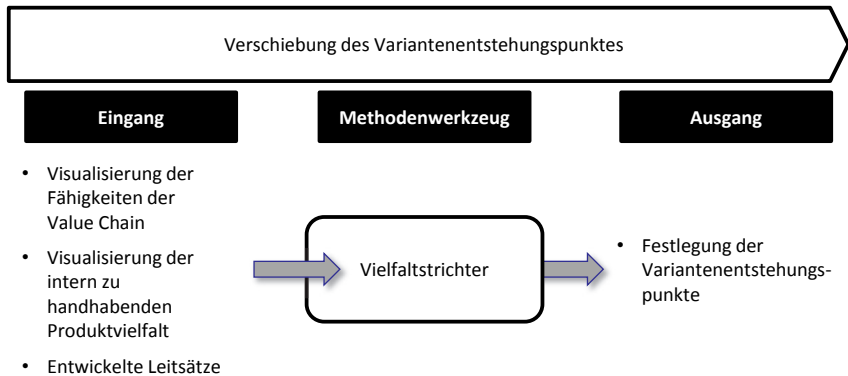


Bild 5.32 Methodenbaustein zur Verschiebung des Variantenentstehungspunktes (Postponement)

Szenario 1

In diesem Fall muss das Potenzial zum Testen der Funktion von Taschenrechnern vorhanden sein, um die Überprüfung zeitlich nach hinten, das heißt in den Hub, verschieben zu können. Bild 5.28 auf Seite 105 zeigt die Fähigkeitendarstellung für den Funktionstest der Taschenrechner.

Zum Testen müssen Softwaredaten ausgelesen und bestätigt werden. Das Hub 1 hat hierfür ein Spezialgerät, welches über eine drahtlose Verbindung die Daten auslesen kann. Daher ist das Hub 1 in der Lage die Tätigkeit des Testens ohne Öffnen der Verpackung durchzuführen. Die Ampel des Hub 1 ist daher grün und bestätigt die Fähigkeit des Hub 1, das Testen durchführen zu können. Die Ampel der Station „Produktion“ ist auch grün, da diese ebenfalls in der Lage ist, das Testen durchzuführen. Die Ampel des Hub 2 ist gelb. Dies bedeutet, dass noch kleinere Änderungen im Prozess oder des Standortes durchzuführen sind, bevor ein Postponement zum Hub durchgeführt werden kann. Welche Änderungen vorgenommen werden müssen, ist dabei nicht visualisiert, sondern muss der hinterlegten Datenbasis entnommen werden. In diesem Beispiel müsste Hub 2 ebenfalls mit einem Spezialgerät ausgestattet werden, damit ein Öffnen der Verpackung nicht nötig ist. Alternativ könnte auch eine neue Distributionsstruktur umgesetzt werden, in welcher die Produkte unverpackt an das Hub geliefert und dort dann getestet und verpackt werden. Hierfür würden die Hubs jedoch wiederum die Fähigkeit des Verpackens benötigen.

Szenario 3

Um den Kundenwunsch nach farbigen Taschenrechnern erfüllen zu können, benötigen die Stationen der Value Chain entsprechende Fähigkeiten. Wenn beispielsweise die Fähigkeit der Farbgebung in der Produktion und im Hub 2 vorhanden ist, in Hub 1 jedoch nicht, muss die Postponement-Strategie angepasst werden. Hierbei stellen sich folgende Fragen:

- Ist ein Postponement sinnvoll?
- Sollte die Farbgebung in der Produktion durchgeführt werden?

- Ist es sinnvoll, im Osten Europas eine andere Postponement-Strategie zu implementieren als im Westen?
- Sollte Hub 1 umgerüstet beziehungsweise aufgewertet werden, um die Fähigkeit der Farbgebung zu erhalten?
- Ist eine Fremdvergabe der Farbgebung sinnvoll?

Die Visualisierung der Fähigkeiten und Potenziale hilft somit sowohl der Prozessebene beim „Design of Supply Chain“ als auch der Produktebene beim Aufzeigen von Alternativen in der Produktentstehung und dem Design for Supply Chain.

Auf der Prozessebene wird die Entscheidungsfindung bezüglich der Postponement-Strategie beziehungsweise des Grades des Postponement unterstützt. Auf der Produktebene kann aufgezeigt werden, welche Auswirkungen und Probleme auftauchen, wenn eine Produktvariante und ihre Distribution nicht vorab geplant sind, sondern nachträglich gefordert werden.

Die einfache Visualisierung der Ampeldarstellung dient hierbei der besseren Kommunikation aller am Produktentstehungsprozess beteiligten Mitarbeiter und veranschaulicht beziehungsweise unterstützt Postponemententscheidungen. Die Visualisierung im Rahmen des DFVC wird daher als Diskussionsgrundlage im Entwicklungsteam genutzt.

Zur Identifizierung von Handlungsempfehlungen zur Verschiebung des Variantenentstehungspunktes wird der Vielfaltstrichter genutzt. Hierbei wird auf die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Leitsätze zurückgegriffen, die im Folgenden näher erläutert werden. Diese müssen bezüglich Anwendbarkeit und Priorität im Einzelfall unter Berücksichtigung der unternehmensspezifischen Randbedingungen bewertet werden.

- **Es ist eine Zweiteilung der Fertigungsprozesse anzustreben.** Die gesamte Prozesskette sollte so aufgebaut sein, dass eine Zweiteilung der Fertigungsprozesse am Kundenentkopplungspunkt möglich ist. Der erste und möglichst größte Teil des Fertigungsprozesses soll hierbei auftrags- und variantenneutrale Halbfertigprodukte herstellen. Erst im abschließenden zweiten Teil des Fertigungsprozesses werden die Produkte an die Anforderungen des Kunden beziehungsweise des Marktes angepasst. Der Variantenentstehungspunkt wird dadurch im Prozess nach hinten verschoben (Postponement).
- **Es ist ein Vielfaltstrichter mit minimaler umschlossener Fläche anzustreben.** In der Regel wird dies mit einem Vielfaltstrichter erreicht, welcher so lange wie möglich eine geringe Anzahl von Varianten anzeigt und erst am Ende des Prozesses die gesamte externe Vielfalt bereitstellt. Bei einer geeigneten Produktstruktur kann diese vor allem durch die Methoden der Kommunalität und des Postponements erreicht werden.
- **Bei der Prozessoptimierung ist eine priorisierte Reihenfolge einzuhalten.** Bei der Prozessoptimierung ist folgende Priorität einzuhalten: 1. Weglassen, 2. Reduzieren, 3. Parallelisieren.

Bild 5.33 zeigt, wie eine Umstellung des Montageprozesses die zu handhabende Vielfalt verändert und der Variantenentstehungspunkt verschoben wird. Die Montagereihenfolge wird dahingehend geändert, dass die Montage der Oberschale nicht mehr der erste, sondern der

ritte Montageschritt ist. Dadurch wird die zu handhabende interne Produktvielfalt in den ersten beiden Montageschritten halbiert.

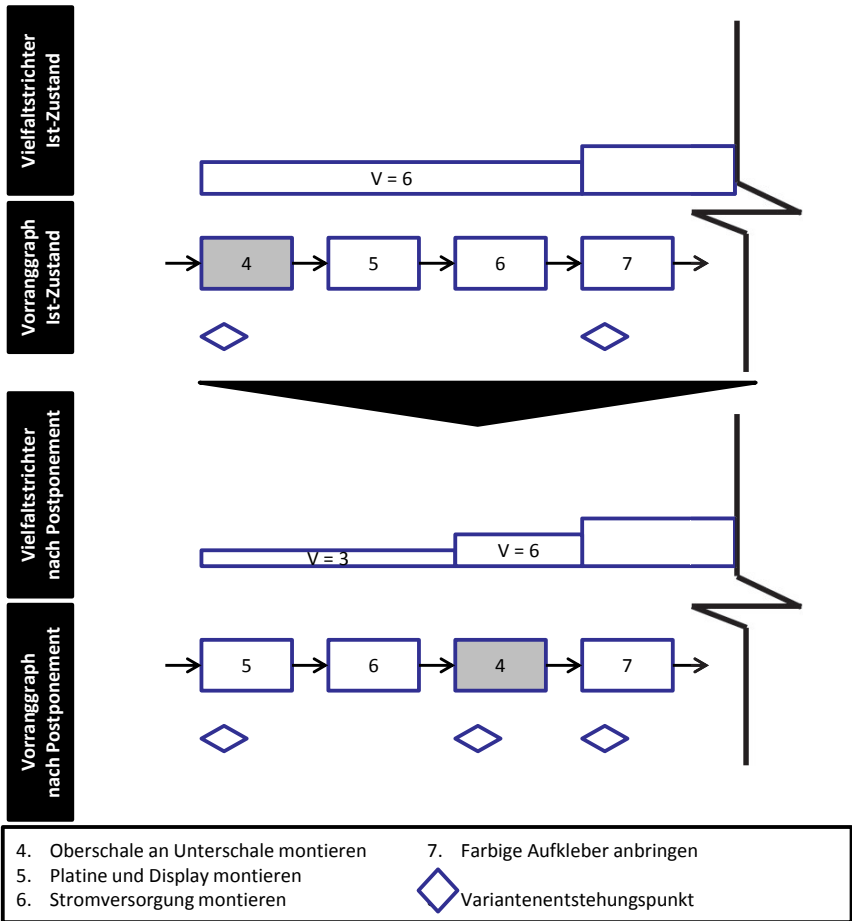


Bild 5.33 Auswirkungen des Postponements

5.3.5 Bewertung der produktvarianteninduzierten Komplexität

Bei der Aufstellung eines Bewertungssystems sind zunächst grundsätzliche organisatorische Fragen zu klären:

- Was soll gemessen werden, um dann bewertet werden zu können?
- Wie können die nötigen Daten ermittelt werden?
- Wie können viele einzelne Bewertungsaspekte zu einem einheitlichen Bewertungssystem zusammengefügt werden?

Zur Bewertung der piK wird, wie in Bild 5.34 dargestellt, auf das Methodenwerkzeug des Bewertungsspinnennetz zurückgegriffen.

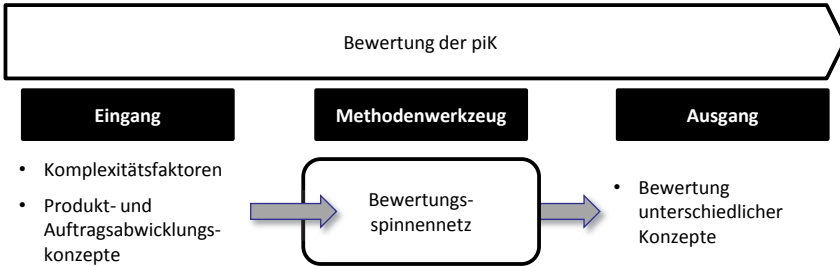


Bild 5.34 Methodenbaustein zur Bewertung der piK

Es ist zu berücksichtigen, dass kein System dem anderen exakt gleicht. Folglich muss, um den Ansprüchen der einzelnen Anforderungen zu genügen, das Bewertungssystem flexibel sein, um an den jeweiligen Einzelfall angepasst werden zu können. Das Ziel ist es daher, ein Bewertungssystem zu entwickeln, das eine unternehmensindividuelle Bewertung der piK ermöglicht und die Bewertung unterschiedlicher Konzepte vergleichbar macht [Bro12c]. In den frühen Phasen der Produktentstehung werden, wie im Bild 5.35 dargestellt, unterschiedliche Produktkonzepte erstellt. Diese Produktkonzepte können wiederum mit verschiedenen Value Chain Konzepten realisiert werden. Eine Bewertung der Komplexität der Value Chain Konzepte kann somit Rückschlüsse bezüglich der piK der verschiedenen Produktkonzepte liefern.

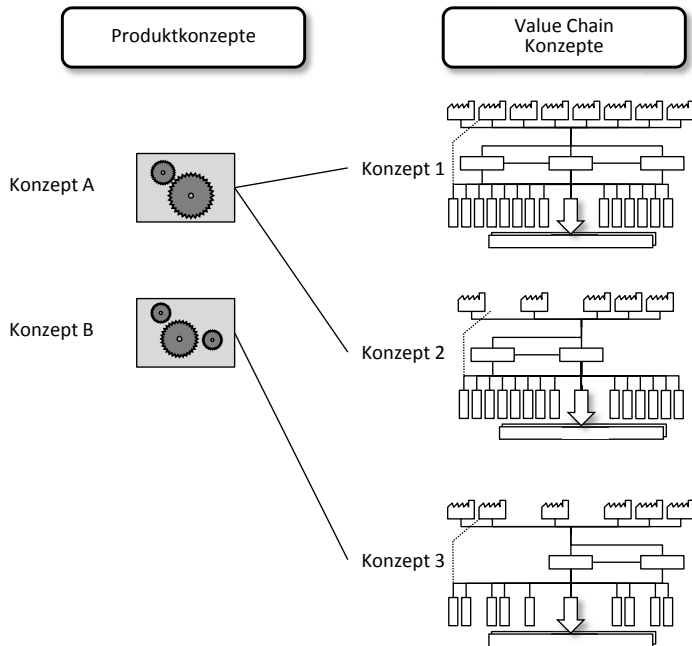


Bild 5.35 Unterschiedliche Produktkonzepte können durch verschiedene Value Chain Konzepte realisiert werden

Zur Bewertung der piK werden in Anlehnung an die Forschungsergebnisse von ELSTNER [Els12a] die folgenden Schritte durchgeführt (Bild 5.36):

- Ableiten von unternehmensspezifischen Komplexitätsfaktoren
- Betrachtung der Verfügbarkeit der benötigten Daten
- Workshop mit Experten zur Bewertung der einzelnen Komplexitätsfaktoren
- Normalisierung und Visualisierung der Komplexität
- Gesamtbewertung der unterschiedlichen Produktkonzepte hinsichtlich ihrer piK

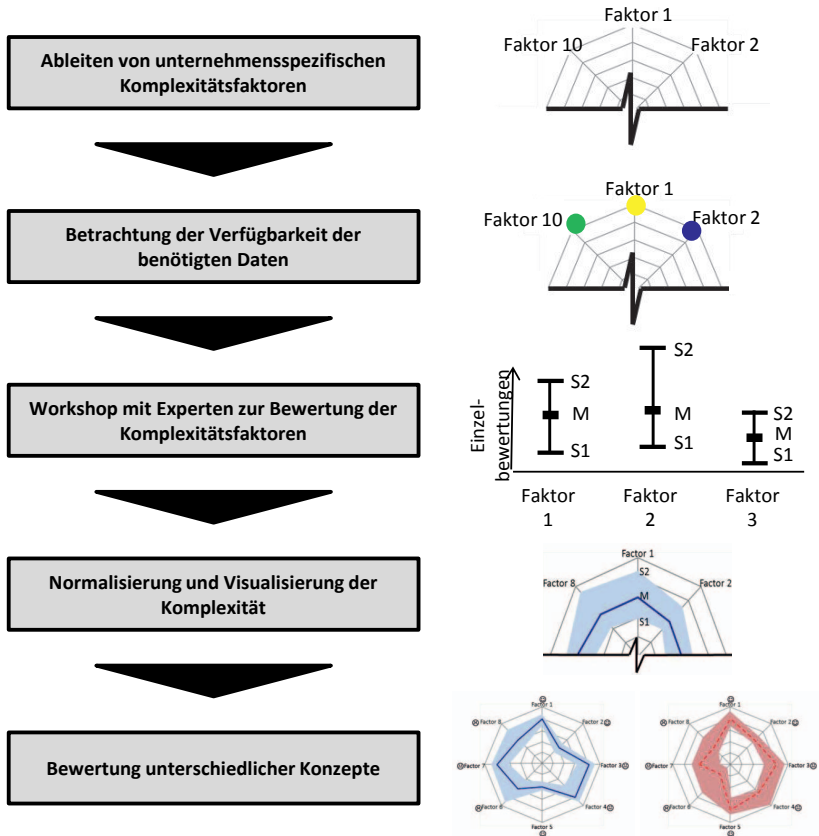


Bild 5.36 Fünf Schritte zur Bewertung der piK

Da sich die piK aus unterschiedlichen Faktoren zusammensetzt, muss zur Bewertung der piK in der Value Chain ein Kennzahlen- oder Kriteriensystem entwickelt werden. Nach der Identifizierung der unternehmensspezifischen piK in der Auftragsabwicklung und der Komplexitätstreiber werden unternehmensspezifische Komplexitätsfaktoren abgeleitet. Jeder Aspekt der Komplexität, wie z.B. die Anzahl von Elementen, die Anzahl der verschiedenen Beziehungen oder deren Unsicherheit, ist ein Beispiel für Komplexitätsfaktoren. Um die Kennzahlen für Kommunikationszwecke verwenden können, müssen sie nachvollziehbar und verständlich sein. Die Komplexitätsfaktoren sind daher nicht identisch mit den Komplexitätstreibern, sondern sie stellen eine Teilmenge der Treiber dar.

Bei der Auswahl repräsentativer Faktoren hat insbesondere der Detaillierungsgrad einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis. Deshalb wird die Bewertung auf zwei unterschiedlichen Ebenen durchgeführt. Zum einen auf der Organisationsebene und zum anderen auf der Prozessebene.

Die Supply Chain wird als Darstellung der Organisations-Ebene gewählt, da sie alle Value Chain Stationen sowie die Lieferanten- und die Distributionsstruktur umfasst. Eine Zuordnung der Organisationseinheiten zu den jeweiligen Zulieferern und Distributoren kann über das Verständnis der Auftragsabwicklung ermittelt werden. Die abgeleiteten Faktoren sind:

- Die **Anzahl der Supply Chain Organisationen** gibt einen Überblick über die Größe der betrachteten Value Chain. Insgesamt ist aus Sicht der piK eine möglichst niedrige Zahl anzustreben. Da unterschiedliche Konzepte für die Auftragsabwicklung mit demselben Ziel einander gegenüber gestellt werden, ist eine Vergleichbarkeit dennoch gegeben. Als Organisationseinheiten werden dabei Betriebsstätten verstanden, zwischen denen ein außerbetrieblicher Material- oder auch Datentransport erforderlich ist.
- Das **Multi-Tier Verhältnis** beinhaltet sowohl die Anzahl der Wertschöpfungsstufen als auch die einzelnen Organisationseinheiten. Im Rahmen der praktischen Umsetzung stellte sich heraus, dass Organisationseinheiten in einem Prozessdurchlauf mehrfach auftreten können. Vor diesem Hintergrund wurde das Multi-Tier Verhältnis als Faktor in DfVC aufgenommen. Wird z.B. im Szenario 3 das Produkt zunächst vom Hub in eine Lackiererei gebracht und anschließend wieder im Hub für den Versand fertig bearbeitet, so erhöht dies die piK und spiegelt sich im Multi-Tier Verhältnis durch eine entsprechende Erhöhung wider.
- Die **Organisations-Verknüpfung** ermöglicht Aussagen über die Vernetzung der einzelnen Organisationseinheiten. Grundsätzlich wird eine zentrale Bündelung aller Informations- und Warenflüsse angestrebt, da dadurch keine unnötigen Transportwege entstehen und keine Informationen verloren gehen. Außerdem kann dadurch sichergestellt werden, dass die richtigen Informationen/Materialien zur richtigen Zeit am richtigen Ort sind. Idealerweise besteht nur dort eine Verbindung zwischen den Organisationen, wo dies unbedingt erforderlich ist. Das Ziel ist somit eine möglichst geringe Organisations- Verknüpfung.
- Im Bezug auf die **Netzwerk-Kosten** wird eine Abschätzung der auftretenden Kosten für unterschiedliche Konzepte durchgeführt. Auf der Organisations-Ebene sind dies im Wesentlichen die Transportkosten zwischen den einzelnen Organisationseinheiten.

Die Prozess-Ebene stellt die Value Chain erheblich detaillierter dar, und die wesentlichen Prozessschritte werden dabei entsprechend den Zuordnungen zu den Organisationseinheiten abgebildet. Da sich bei diesem Detaillierungsgrad mehr Informationen über die piK der Value Chain gewinnen lassen, werden auch mehr Faktoren berücksichtigt:

- Die **Anzahl der Prozessschritte** gibt an, welche und wie viele Prozessschritte insgesamt in der Value Chain auftreten. Es handelt sich analog zur Anzahl der Organisationseinheiten bei der strukturellen Supply Chain Betrachtung um eine absolute Größe, und es muss aus Gründen der Vergleichbarkeit eine einheitliche Detaillierung für alle Konzeptvarianten gewählt werden. Zur Erreichung eines angemessenen Verhält-

nisses von Aufwand und Nutzen ist im Einzelnen zu prüfen, ob der Detaillierungsgrad ausreichend ist.

- **Varietät** ist ein Maß für die Unterschiedlichkeit der Prozessschritte. Aus Sicht der piK sollen möglichst wenige unterschiedliche Prozessschritte in einem Gesamtprozess auftreten. Im Idealfall tritt jeder Prozess in der Prozesskette nur einmal auf und die Varietät erreicht ein Minimum. Eine hohe Varietät ist ein Hinweis auf Iterationsschleifen und ungünstige Prozessreihenfolgen.
- Die **Prozess-Verknüpfung** besitzt hier eine andere Aussagekraft als in der strukturellen Supply Chain Darstellung. Die Kennzahl stellt zwar ebenfalls das Verhältnis der tatsächlich auftretenden Verbindungen zu den maximal möglichen Verbindungen der Elemente dar, bedeutet aber im Sinne des Prozessdurchlaufs eine hohe Anzahl an möglichen Prozesswegen. Das heißt das Ziel, im Normalfall die Auslieferung des Endprodukts an den Kunden, kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden. Eine hohe System-Verknüpfung kann ein Indikator für durch hohe Produktvielfalt bedingte Zusatzprozesse oder eine schlechte Strukturierung der Auftragsabwicklungsprozesse sein. Somit bedeutet eine hohe System-Verknüpfung eine erhöhte Unsicherheit über den aktuellen System-Zustand, und es ist eine höhere Informationsdichte zur Beschreibung des Systems erforderlich.
- Die **operative Komplexität** (siehe Kapitel 4.3.3) berücksichtigt neben der Anzahl an Prozessen und Verknüpfungen auch eine Unterscheidung in wertschöpfende und nicht wertschöpfende Tätigkeiten. Das bedeutet, je geringer die Komplexität ist, umso höher ist der Anteil wertschöpfender Tätigkeiten. Somit können bereits bei der frühen Phase der Produktentstehung solche Prozesse reduziert werden, die die Produktkosten unnötig erhöhen.
- Auf der Prozessebene kommt der **Transparenz** eine wesentliche Bedeutung zu. Nur wenn eine hohe Transparenz der Prozesse vorliegt, kann davon ausgegangen werden, dass die Prozesse nach dem vorgegebenen Standard und unter optimalen Bedingungen ablaufen. In der praktischen Umsetzung der DfVC hat sich gezeigt, dass es problematisch sein kann, zu einem vergleichbar frühen Zeitpunkt der Produktentstehung Transparenz zu erkennen und darzustellen. Da in der Regel verschiedene Ideen und Konzepte miteinander verglichen werden, stehen belastbare Zahlen, Daten und Fakten noch nicht im notwendigen Umfang zur Verfügung. Anhand von Erfahrungen einzelner Abteilungen oder Zulieferbetriebe können dennoch pauschale Werte ermittelt werden. Aus Sicht der Transparenz kann es beispielsweise vorteilhaft sein, ein Produkt an dem Standort zu produzieren, an dem das Produkt entwickelt wird, und nicht von Dritten fertigen zu lassen. So sind im eigenen Produktionsstandort sowohl die Produktionskonzepte besser bekannt als auch z.B. die EDV- und sonstige Infrastruktur vorhanden und an die Prozesse angepasst. Im Gegensatz zu den anderen, oben genannten Faktoren ist bei der Transparenz ein möglichst hoher Wert anzustreben. Daher muss im Spinnennetzdiagramm die Skala der Transparenz zur Vereinheitlichung umgekehrt, das heißt von 10 nach 1 absteigend dargestellt oder als inverser Wert berechnet werden.

- Auf der Prozess-Ebene werden die **Prozess-Kosten** für die jeweiligen Prozessschritte unter Annahme der Fertigung einer bestimmten Menge abgeschätzt.

DfVC stellt mit dem Bewertungsspinnennetz ein Komplexitäts-Bewertungspaket zur Verfügung, das die zehn wesentlichsten Faktoren für zwei unterschiedliche Detaillierungsgrade berücksichtigt (Bild 5.37).

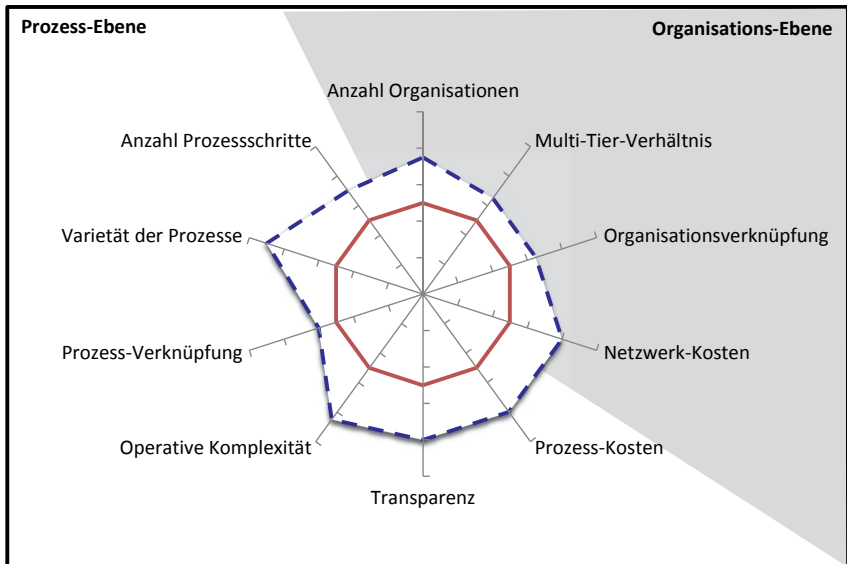


Bild 5.37: Bewertungsspinnennetz

Zur Bewertung der verschiedenen Komplexitätsfaktoren werden unterschiedliche Daten benötigt. Da die Verfügbarkeit dieser Daten jedoch unterschiedlich ist, muss bei der Ermittlung der piK die Unsicherheit der Informationen mitberücksichtigt werden. Der Art der Verfügbarkeit wird im DfVC durch eine farbliche Unterscheidung signalisiert. Wenn die Informationen zu einem Komplexitätsfaktor durch Testergebnisse und konkrete Erkenntnisse gewonnen wurden, wird dieser Faktor mit einer grünen Farbgebung gekennzeichnet. Eine Expertenabschätzung anhand einer numerischen Skala oder eine berechnete Kennzahl, bei der viele Annahmen innerhalb der Berechnung getroffen wurden, werden mit einer gelben Farbgebung gekennzeichnet. Eine blaue Farbgebung visualisiert eine Expertenschätzung aufgrund von Erfahrung.

Im dritten Schritt wird ein interdisziplinärer Workshop durchgeführt, mit dem Ziel die unterschiedlichen Meinungen der verschiedenen Fachbereiche zu berücksichtigen. An diesem Workshop nehmen alle Interessensgruppen der Produkt- und Value Chain Entwicklung teil.

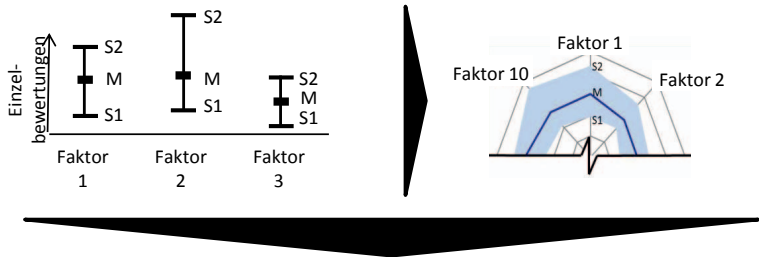
Im Rahmen des Workshops wird nicht jeder Teilnehmer (Experte) die Konzepte gleich bewerten. Um diese unterschiedlichen Einschätzungen darstellen und bei der Gesamtbewer-

tung berücksichtigen zu können, wird der Mittelwert (M) sowie die höchsten Abweichungen (S) dargestellt (Bild 5.38).

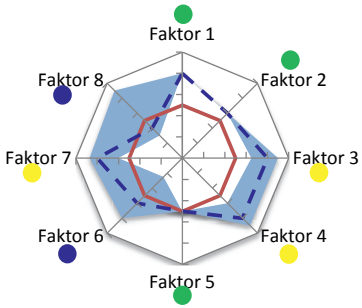
Im vierten Schritt werden die verschiedenen Faktoren auf eine gleichmäßige Skala von 1-10 normiert und anschließend in einem Spinnennetzdiagramm visualisiert, um die Vergleichbarkeit der Auswertung der einzelnen Komplexitätsfaktoren zu gewährleisten. Der Normierung der einzelnen Faktoren liegt jeweils der Referenzwert des Ist-Zustandes zu Grunde. Diese Referenzwerte werden in der Bewertungsskala mit dem Wert 5 festgelegt. Bild 5.38 zeigt eine Bewertung im Rahmen eines Expertenworkshops. Diese Bewertung mit ihrem Mittelwert (M) und den höchsten Abweichungen (S1 und S2) wird dann zur Visualisierung und Bewertung der piK für jeden Komplexitätsfaktor ins Spinnennetzdiagramm eingezeichnet.

Anschließend werden die verschiedenen Value Chain Konzepte, die von verschiedenen Produktkonzepten erfüllt werden können, ausgewertet. Das Ergebnis ist nicht eine Zahl, das heißt Konzept a ist komplexer als Konzept b, sondern eine Visualisierung der piK. Diese Visualisierung muss daher in einem weiteren Schritt von den Experten interpretiert werden. Daraus können dann Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Gestaltung der Produkte und der Value Chain abgeleitet werden.

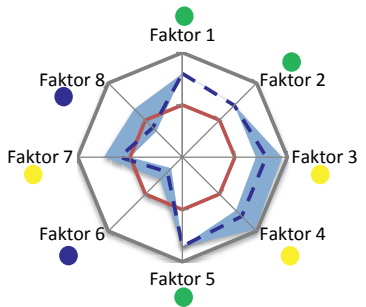
Es gibt Untersuchungen, die aus diesen Netzdiagrammen mittels Fuzzy Logic und der Berechnung der Schwerpunkte eine einzelne Komplexitätskennzahl ermitteln (siehe z.B. ELSTNER [Els12a]). Die Ermittlung einer solchen einzelnen Kennzahl wird an dieser Stelle jedoch nicht favorisiert. Die Erfahrung bei der praktischen Umsetzung hat gezeigt, dass sowohl Produktentwickler als auch Supply Chain Manager einer einzelnen Kennzahl, welche gegebenenfalls intransparent ist, in der Regel nicht vertrauen. Ein transparentes Bewertungsspinnennetz, welches sie mitentwickelt und miterarbeitet haben und das sie selbst interpretieren können, kann als akzeptierte und häufig genutzte Diskussionsgrundlage während des Produktentstehungsprozesses dienen.



Konzept a



Konzept b



Legende

M = arithmetischer Mittelwert	● konkrete Erkenntnisse
S1 = maximale Abweichung nach unten	● Kennzahl mit einigen Annahmen
S2 = maximale Abweichung nach oben	● Expertenabschätzung aufgrund von Erfahrungen

Bild 5.38 Bewertung unterschiedlicher Konzepte

6 Validierung der Methode

In der Validierung einer entwickelten Methode ist, nach Blessing, zu überprüfen, ob die Methode für ihre Aufgabe geeignet ist und ob die Thesen auf denen die Entwicklung der Methode beruht, erfüllt werden. Hierzu muss zunächst die Forschungsmethode gewählt werden und anschließend Prüfungshypothesen aufgestellt werden, die anhand der Forschungsmethode überprüft werden [Ble09]. Zur Validierung sind grundsätzlich die folgenden drei Forschungsmethoden geeignet [nach Ble09]:

- Experimentelle Erprobung mithilfe von Testgruppen.
- Einzelfallstudie anhand eines Beispiels aus der Praxis.
- Mehrfache Fallstudien anhand eines Beispiels aus der Praxis.

Zur Validierung der entwickelten Methode wird die Einzelfallstudie anhand eines Beispiels aus der Praxis gewählt. Nach Yin [Yin03] kann zur Validierung eine Einzelfallstudie dann verwendet werden, wenn ein spezifischer Anwendungsfall vorliegt, der die Randbedingungen der Methode besonders gut widerspiegelt.

Wie im Kapitel 5 beschrieben, unterstützt DfVC mit zwei unterschiedlichen Methodenblöcken verschiedene Zielsetzungen:

- Erfassung und Analyse der vorhandenen piK zur Erhöhung der Transparenz und Identifikation strategischer Handlungsfelder
- Berücksichtigung der piK bei der Auswahl des Variantenentstehungspunktes sowie der Bewertung unterschiedlicher Konzepte der Auftragsabwicklung

DfVC wurde bei einem Projekt in der industriellen Praxis erfolgreich angewendet.

Dabei handelt es sich um ein Unternehmen der Sicherheitstechnik im norddeutschen Raum. Es werden weltweit Produktfamilien angeboten und vielfältige Kundenwünsche markt- und länderspezifisch erfüllt. Das Unternehmen ist bestrebt, die daraus resultierende piK über alle Prozesse der Value Chain durch aktives Handeln zu reduzieren. Um die Komplexität zukünftig noch effektiver und effizienter zu handhaben, wurde ein Projekt zur Integration der Value Chain Anforderungen in die frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses initiiert und hierfür DfVC eingesetzt und weiterentwickelt.

Soweit es sich um Unternehmensinterna handelt, wird aus Vertraulichkeitsgründen auf die detaillierte Darstellung bestimmter Daten und Informationen verzichtet. Insofern werden konkrete Erkenntnisse zum Teil verfremdet oder in einem größeren Detaillierungsgrad dargestellt.

Im Folgenden wird die Validierung der beiden Methodenblöcke anhand dieses Projekts beschrieben.

Zunächst werden die Prüfungs- beziehungsweise Validierungshypothesen aufgestellt, die mit DfVC bestätigt werden sollen. Im Anschluss werden die Anwendungsfälle und die Durchführung der Fallstudien beschrieben und abschließend ausgewertet.

6.1 Formulierung der Prüfungshypothesen

Zur Validierung, ob DfVC zur Reduzierung der piK die gestellten Anforderungen erfüllt, werden die Ziele der Methode als Hypothesen formuliert. Sie werden aus dem im Kapitel 4.4 ermittelten Forschungsbedarf übernommen:

1. DfVC unterstützt eine ganzheitliche Betrachtung der piK.
2. Die durchgängige Anwendung von DfVC reduziert die piK.
3. DfVC geht nicht von einer generischen Value Chain und der damit verbundenen generischen piK aus, sondern untersucht die unternehmensspezifische Value Chain und deren spezifische piK.
4. Durch die grafische Visualisierung erhöht DfVC die Transparenz.
5. Bei der Anwendung von DfVC wird sowohl die Produkt- als auch die Prozessebene betrachtet. Es wird die piK der Distributionsstruktur der Value Chain betrachtet.
6. DfVC kann mithilfe der Zuordnungsmatrix unterschiedliche Handlungsfelder des Komplexitätsmanagements ermitteln und diese entsprechend ihrer Eignung zur Reduzierung der unternehmensspezifischen piK priorisieren.
7. Das Bewertungsschema von DfVC ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung von Produktkonzepten hinsichtlich der von ihnen induzierten Komplexität.

6.2 Methodenblock I – Identifikation strategischer Handlungsfelder

Anlass für die Anwendung von DfVC in einem Projekt ist die Erkenntnis des genannten Unternehmens, dass eine Erhöhung der Produktvielfalt eine hohe Komplexität in der Auftragsabwicklung hervorruft, die weder im Detail noch vom tatsächlichen Umfang her vollständig bekannt ist. Als Ursache für die piK werden eine lokale anstelle einer globalen, unternehmensübergreifenden Optimierung sowie betriebsinterne Anpassungen der Produkte und der Prozesse vermutet. Vor diesem Hintergrund wird im ersten Methodenblock untersucht, ob durch Erfassung und Visualisierung der piK die Handlungsfelder zur Reduzierung der unternehmensspezifischen piK identifiziert werden können.

Das methodische Vorgehen zur Identifikation strategischer Handlungsfelder des Komplexitätsmanagements und zur Erhöhung der Transparenz durch die Erfassung und Analyse der vorhandenen piK ist in Kapitel 5.2 beschrieben (siehe Bild 5.4 auf Seite 80).

In einem ersten Schritt ist ein geeignetes repräsentatives Produktfamilienbeispiel auszuwählen. Im Rahmen eines Workshops wird hierzu gemeinsam mit verantwortlichen Mitarbeitern der Abteilungen für Produktentwicklung, Produktion, Logistik und Supply Chain Manage-

ment das Produktangebot des Unternehmens analysiert und auf eine, für das Unternehmen charakteristische, Produktstruktur und Value Chain Struktur hin untersucht.

Für die Wahl eines geeigneten Produkts werden die folgenden, wesentlichen Kriterien definiert:

- Das Produkt soll eine überschaubare Vielfalt aufweisen.
- Das Produkt soll weltweit vertrieben werden.
- Die Auftragsabwicklung soll repräsentativ für den internationalen Vertrieb sein.
- Das Produkt soll in näherer Zukunft weiterentwickelt werden, damit die Erkenntnisse des Projekts zeitnah erneut genutzt werden können.

Vor diesem Hintergrund wird ein tragbares Mehrgasmessgerät als Produktbeispiel ausgewählt, da es die oben genannten Kriterien am besten erfüllt.

6.2.1 Erfassung der Produktvielfalt und der Value Chain

Das Mehrgasmessgerät erkennt und misst brennbare Gase und Dämpfe mithilfe eines so genannten Ex-Sensors. Neben der grundsätzlichen Möglichkeit ein Gas zu messen, können wahlweise bis zu drei weitere Gase detektiert und gemessen werden. Damit ergeben sich rechnerisch acht Varianten die angeboten werden können.

In diesem Schritt der DfVC wird zunächst die externe, vom Kunden geforderte Produktvielfalt mithilfe eines Vielfaltsbaumes erfasst. Dieser wird anschließend durch die auftragsabwicklungsspezifischen Eigenschaften erweitert (siehe Kapitel 5.2.1). Die Erfassung der externen Vielfalt ergibt, dass sieben unterschiedliche Varianten des Mehrgasmessgerätes als CTO angeboten werden (Bild 6.1). Die rechnerische Anzahl von acht Varianten wurde um eine Variante reduziert, da diese aus marketingtechnischer Sicht nicht sinnvoll ist und daher nicht angeboten wird.

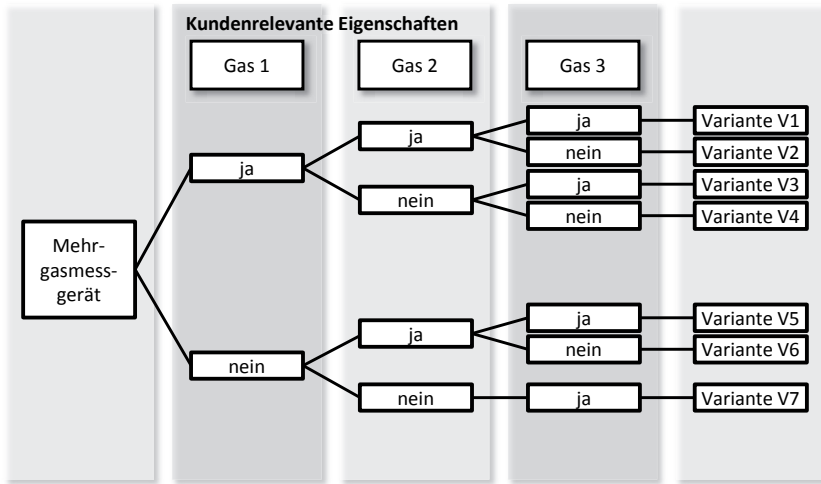


Bild 6.1 Vielfaltsbaum der Mehrgasmessgerät-Produktfamilie

Der Kunde kann somit aus sieben vorkonfigurierten Produktvarianten, die im Hub lagernd vorhanden sind, auswählen. Falls die vorkonfigurierten Produkte nicht den Anforderungen des Kunden genügen, sind weitere Kundenindividualisierungen möglich. In diesem Fall wird das Gerät als MTO für den Kunden produziert und entsprechend der Kundenwünsche vorgeestellt.

Aus Sicht der Auftragsabwicklung ergeben sich folgende Eigenschaften, welche einen zusätzlichen Einfluss auf die Varianz haben.

- **Kalibrierung** stellt durch einen Messprozess die zuverlässige reproduzierbare und dokumentierte Anzeige der Produkte sicher. Eine standardisierte Kalibrierung der Mehrgasmessgeräte auf die landesüblichen Grenzwerte der zu messenden Gase findet in der Produktion statt. Einige Kunden fordern jedoch eine erneute Kalibrierung auf andere Grenzwerte.
- Das **Zertifikat** ist eine schriftliche Bescheinigung der durchgeführten Kalibrierung.
- **Ländereinstellung** beschreibt die Einstellung der Produkte gemäß landesspezifischer Normen und Gesetze. In unterschiedlichen Ländern gelten z.B. verschiedene Grenzwerte der zu messenden Gase. Außerdem wird die Anzeigesprache im Display eingestellt.

Bild 6.2 zeigt den erweiterten Vielfaltsbaum, welcher die Produktvielfalt anzeigt, die aus Sicht der Auftragsabwicklung gehandhabt werden muss. Die grau hinterlegten Produktfamilien sind die CTO Geräte und die Produktvarianten mit gestrichelter Umrandung stellen die MTO Geräte dar. Der vollständige erweiterte Vielfaltsbaum ist im Anhang D1.

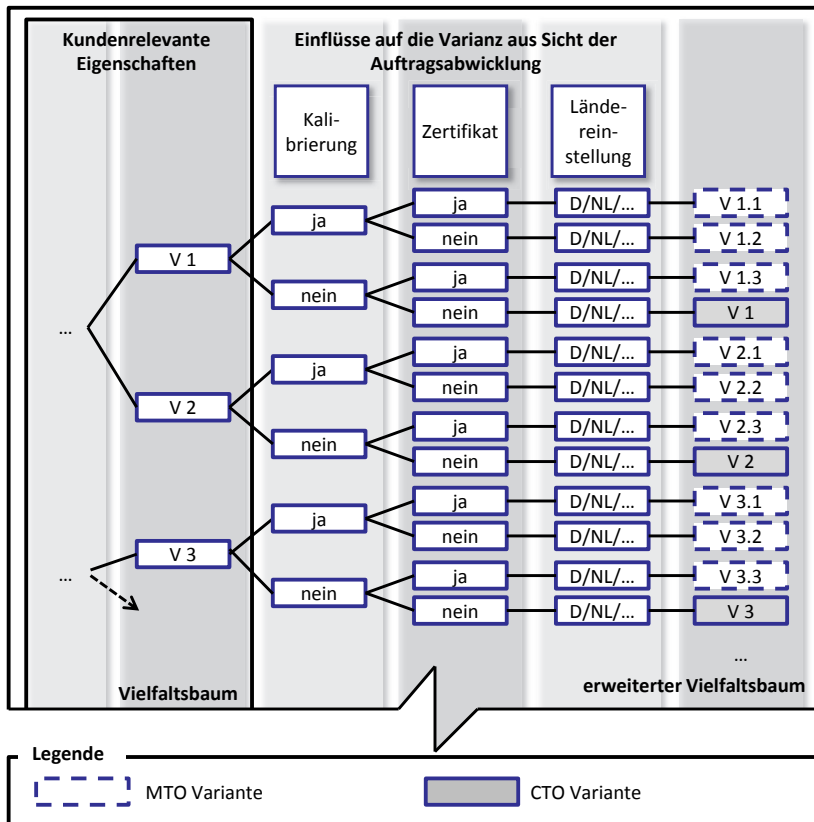


Bild 6.2 Erweiterter Vielfaltsbaum der Mehrgasmessgerät-Produktfamilie

Da MTO-Geräte teurer sind als CTO-Geräte, bestellen einige Vertriebsgesellschaften keine MTO-Geräte, sondern modifizieren CTO-Geräte ungeplant selbst. Außerdem sind einige Vertriebsgesellschaften von der EDV-Ausstattung her nicht in der Lage, die für die einzelnen MTO-Geräte resultierenden Baukastensachnummern logistisch zu verwalten. Durch diese zusätzlichen Varianten steigt die in der Auftragsabwicklung zu berücksichtigende Vielfalt deutlich an (Bild 6.3).

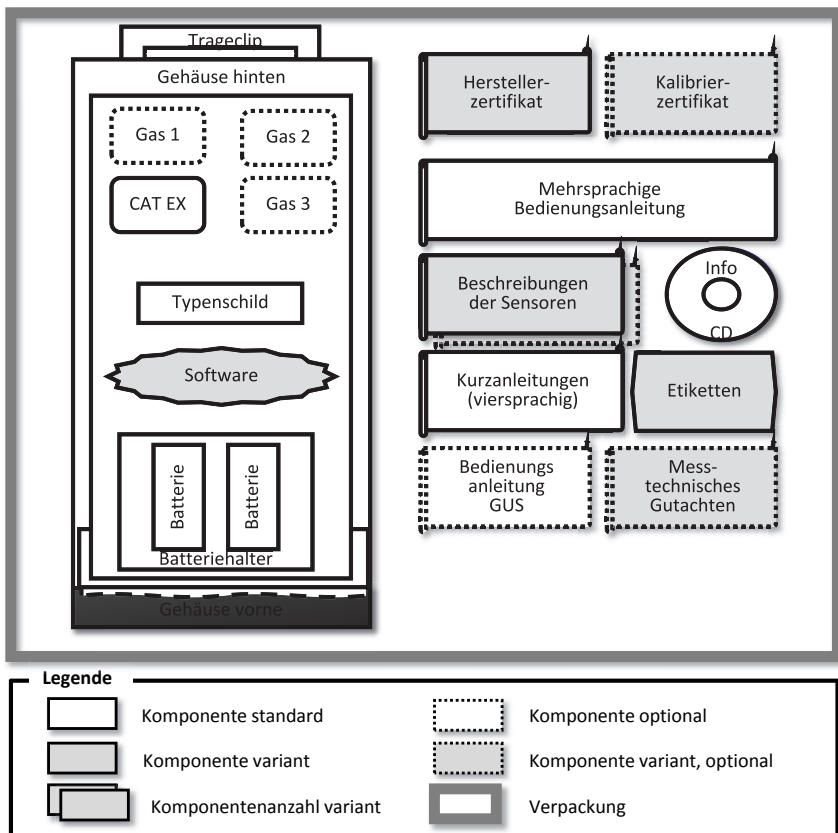


Bild 6.4 Grobe Produktdarstellung der Mehrgasmessgeräte-Produktfamilie

Anhand des erweiterten Vielfaltsbaum und der groben Produktdarstellung des Mehrgasmessgerätes wird deutlich, dass in der Auftragsabwicklung eine erhöhte Produktvielfalt von 49 Varianten berücksichtigt werden muss (siehe Anhang D).

Zusätzlich zum Verständnis über die Produktstruktur und die zu handhabende Produktvielfalt wird ein Überblick über die global agierende Value Chain benötigt. Dieser wird mithilfe der strukturellen Supply Chain Darstellung visualisiert (Bild 6.5).

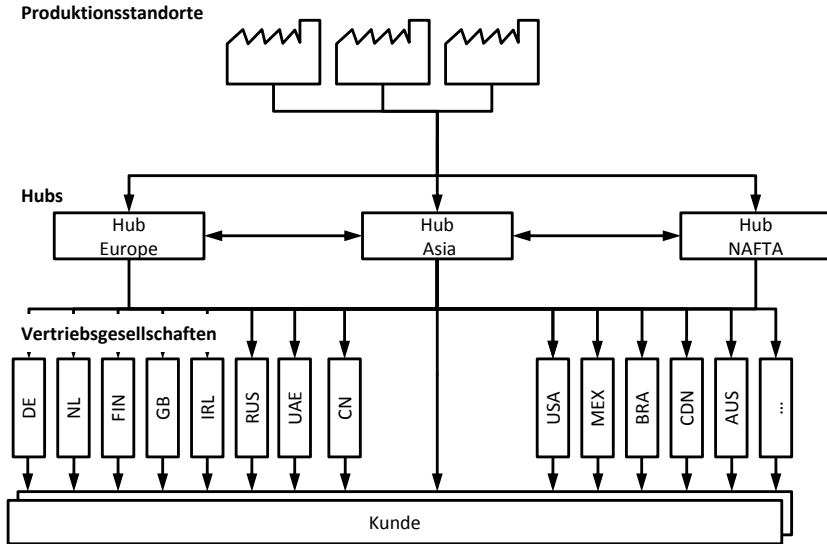


Bild 6.5 Strukturelle Supply Chain Darstellung der Value Chain

6.2.2 Erfassung der produktvarianteninduzierten Komplexität und ihrer Treiber

Das Produkt wird durch ein weltweites, eigenes Distributionsnetzwerk vertrieben. Der Vertrieb berät dabei den Kunden und bestellt das gewünschte Produkt für diesen in einem der weltweit verteilten Hubs. Das bestellte Produkt, in diesem Fall das Mehrgasmessgerät, wird dann direkt vom Hub an den Endkunden versandt.

Wesentliche Grundlage zur Identifikation der piK in der Value Chain ist die detaillierte Abbildung des Prozesses der Auftragsabwicklung. Um diese Anforderung zu erreichen, wird die strukturelle Supply Chain Darstellung verwendet und der Prozess mithilfe eines Swimlane-Diagrammes aufgenommen.

Bild 6.6 stellt den Soll-Ist-Prozess der Mehrgasmessgeräte im Swimlane-Diagramm dar.

Außerdem werden durch die Dokumentenanalyse und die Interviews einige Beispiele (Szenarien) identifiziert, welche zu einer erhöhten piK in der Auftragsabwicklung führen.

In einigen Staaten wird z.B. gefordert, die Art des zu messenden Gases durch farbige Markierungen auf der Vorderseite des Gerätes zu kennzeichnen. So muss beispielsweise jedes Gerät, welches den Sauerstoffgehalt misst, eine blaue Markierung tragen.

In GUS-Staaten ist es wiederum erforderlich, eine zusätzliche Betriebsanleitung ausschließlich in Landessprache beizulegen. Das Bestreben nur eine mehrsprachige Betriebsanleitung zu verwenden, welche standardmäßig allen Gasmessgeräten beigelegt wird, ist hier nicht umzusetzen.

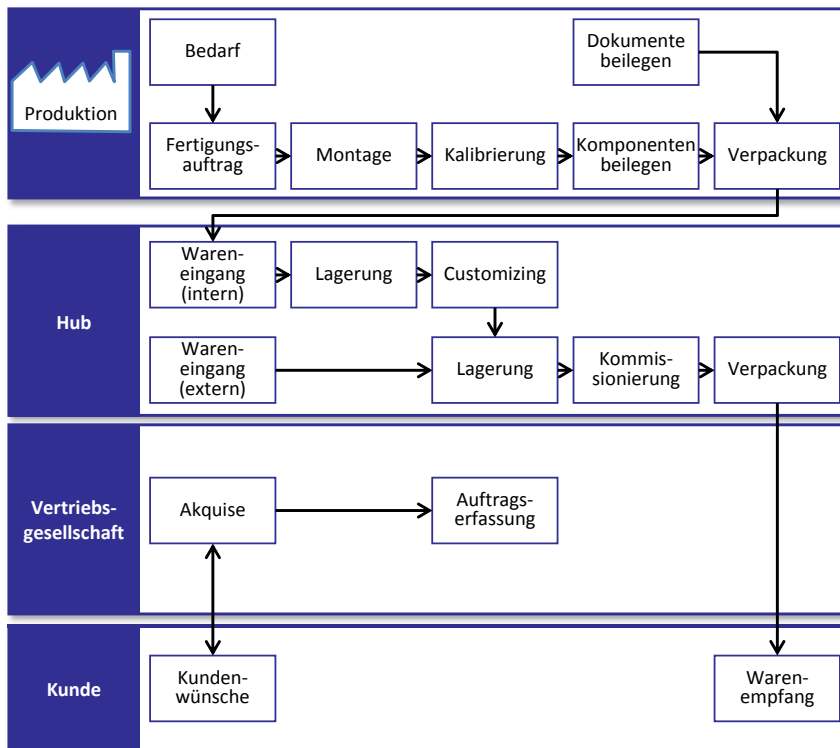


Bild 6.6 Soll-Ist-Prozess der Auftragsabwicklung der Mehrgasmessgeräte

Die Betriebsanleitung in Landessprache wird in der Vertriebsgesellschaft der GUS Staaten beigelegt. Hierfür sind im Auftragsabwicklungsprozess die folgenden zusätzlichen Tätigkeiten durchzuführen:

- Versand an Vertriebsgesellschaft,
- Betriebsanleitung beschaffen,
- Verpackung öffnen,
- Betriebsanleitung beilegen,
- Produkt verpacken und
- Versand an Kunden

Da diese Variante ursprünglich nicht geplant beziehungsweise bekannt war, ist sie im Soll-Ist-Prozess nicht enthalten.

Bild 6.7 zeigt die Darstellung des Komplexitäts-Ist-Prozesses, welcher durch die Beilegung der Betriebsanleitung in Landessprache verursacht wird.

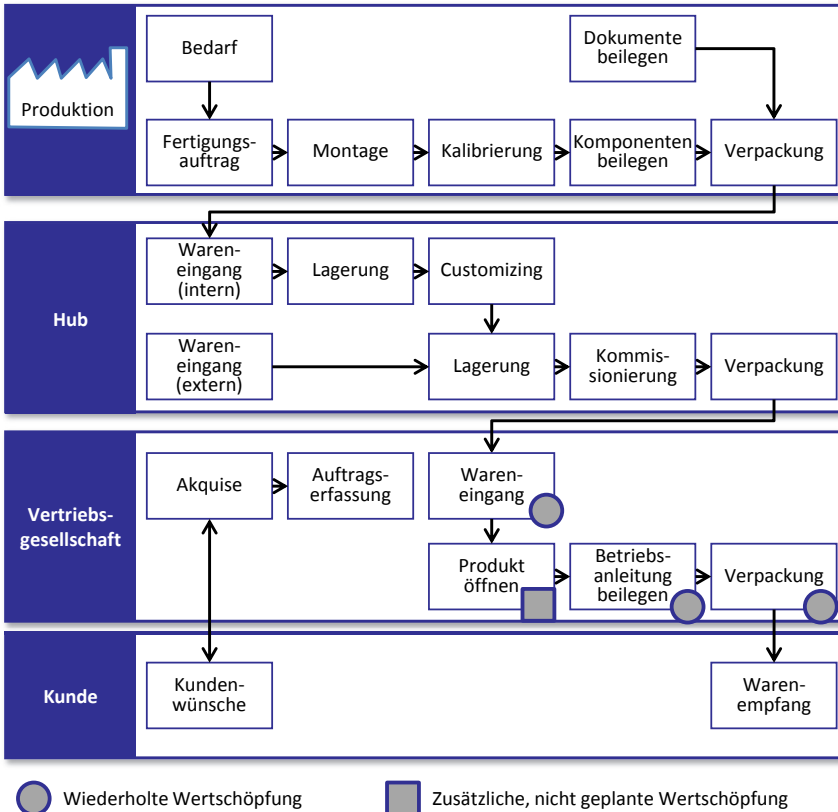


Bild 6.7 Komplexitäts-Ist-Prozess durch das Beilegen einer Betriebsanleitung in Landessprache

Zusätzlich zur Aufnahme der piK, werden im Rahmen der Experteninterviews auch die Ursachen des zusätzlichen Aufwandes, der Einsatz von zusätzlichen Ressourcen und der erhöhte Informationsbedarf identifiziert und mit den Experten gemeinsam analysiert (siehe Kapitel 5.2.2).

Die Ergebnisse der Interviews werden mithilfe von strukturierten Baumdiagrammen erfasst, strukturiert und visualisiert. Bild 6.8 zeigt die aufgenommenen Komplexitätstreiber. Da diese aus Vertraulichkeitsgründen unlesbar gemacht werden, ist ein kleiner Ausschnitt exemplarisch vergrößert dargestellt.

- Lokale Lagerhaltung
- Transportlogistik
- Fähigkeiten der Value Chain Stationen

Im Anschluss an diese Gruppierung wird das dreistufige Vorgehen (Kapitel 5.2.3) durchgeführt:

- Erfassung der Einflüsse
- Visualisieren der Einflüsse
- Priorisieren der Einflüsse

Zur Erfassung der Einflüsse werden die identifizierten Komplexitätstreiber mithilfe der Einflussmatrix einander gegenübergestellt. Aus Vertraulichkeitsgründen stellt Bild 6.9 die Einflussmatrix der oben genannten Obergruppen und nicht alle im Detail aufgenommenen Komplexitätstreiber dar. Die Identifizierung der Einflüsse wird dabei workshopbasiert mit den Experten im Unternehmen durchgeführt. Die sich dynamisch ändernden Anforderungen haben z.B. Einfluss auf die Transportlogistik; die Transportlogistik hat jedoch keinen Einfluss auf die sich dynamisch ändernden Anforderungen.

		Komplexitätstreiber							
		Produktstrukturierung	Länderspezifische Anforderungen	Dynamisch ändernde Anforderungen	Unterschiedliche Kulturen	Möglichkeiten des Configurators	Lokale Lagerhaltung	Transportlogistik	Fähigkeiten der Value Chain Stationen
Komplexitätstreiber	Produktstrukturierung					X	X	X	
	Länderspezifische Anforderungen	X				X	X	X	
	Dynamisch ändernde Anforderungen	X	X			X	X	X	X
	Unterschiedliche Kulturen		X	X					
	Möglichkeiten des Configurators	X					X		
	Lokale Lagerhaltung	X						X	
	Transportlogistik					X			
	Fähigkeiten der Value Chain Stationen					X	X		

Bild 6.9 Einflussmatrix

Mit den Ergebnissen der Einflussmatrix wird die Priorisierungsmatrix (siehe Kapitel 5.2.3) aufgestellt (Bild 6.10). Die Ergebnisse dieser Priorisierung werden anschließend im Unternehmen diskutiert und gegebenenfalls angepasst.

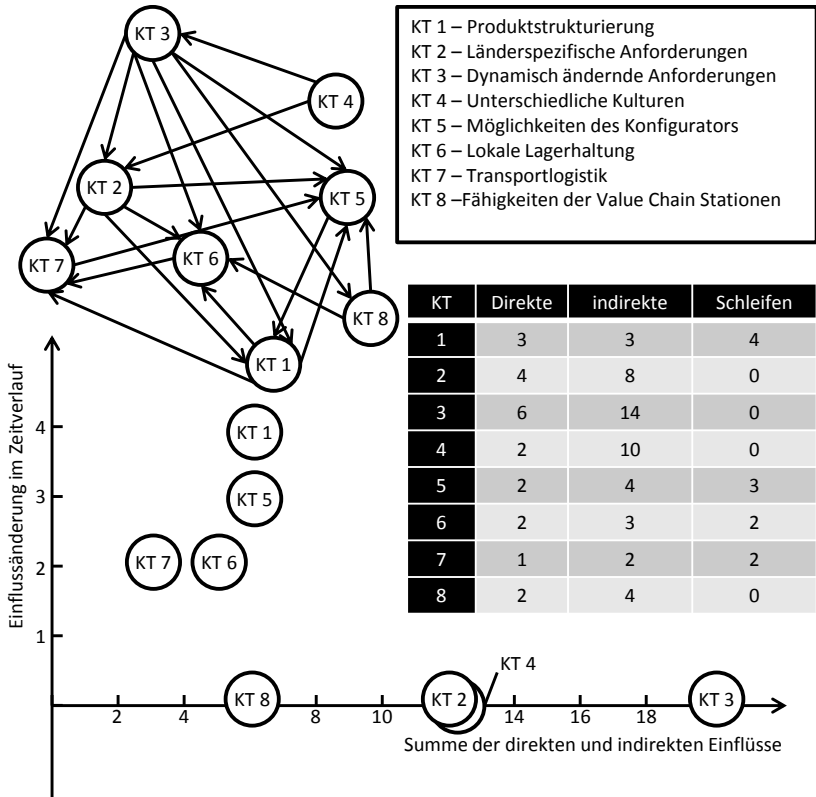


Bild 6.10 Priorisierungsmatrix

Die Priorisierung der ausgewählten Komplexitätstreiber ergibt folgende Rangfolge:

1. Dynamisch ändernde Anforderungen
2. Länderspezifische Anforderungen
2. Unterschiedliche Kulturen
3. Produktstrukturierung
4. Möglichkeiten des Konfigurators
5. Lokale Lagerhaltung
6. Transportlogistik
7. Fähigkeiten der Value Chain Stationen

6.2.4 Zuordnung der Komplexitätstreiber zu Handlungsfeldern

Die so priorisierten Komplexitätstreiber werden in diesem Schritt des DfVC mit den aus der Literatur ermittelten Handlungsfeldern in einer Zuordnungsmatrix verknüpft. Das heißt jeder der identifizierten Komplexitätstreiber wird daraufhin untersucht, ob ihm durch das jeweilige Handlungsfeld begegnet werden kann. Parallel dazu wird in einer angeschlossenen Dachmatrix die gegenseitige Beeinflussung der Handlungsfelder untereinander bewertet. Im Ergebnis zeigt diese Zuordnungsmatrix, welche Handlungsfelder für das Unternehmen besonders relevant sind. Bild 6.11 zeigt die Zuordnungsmatrix.

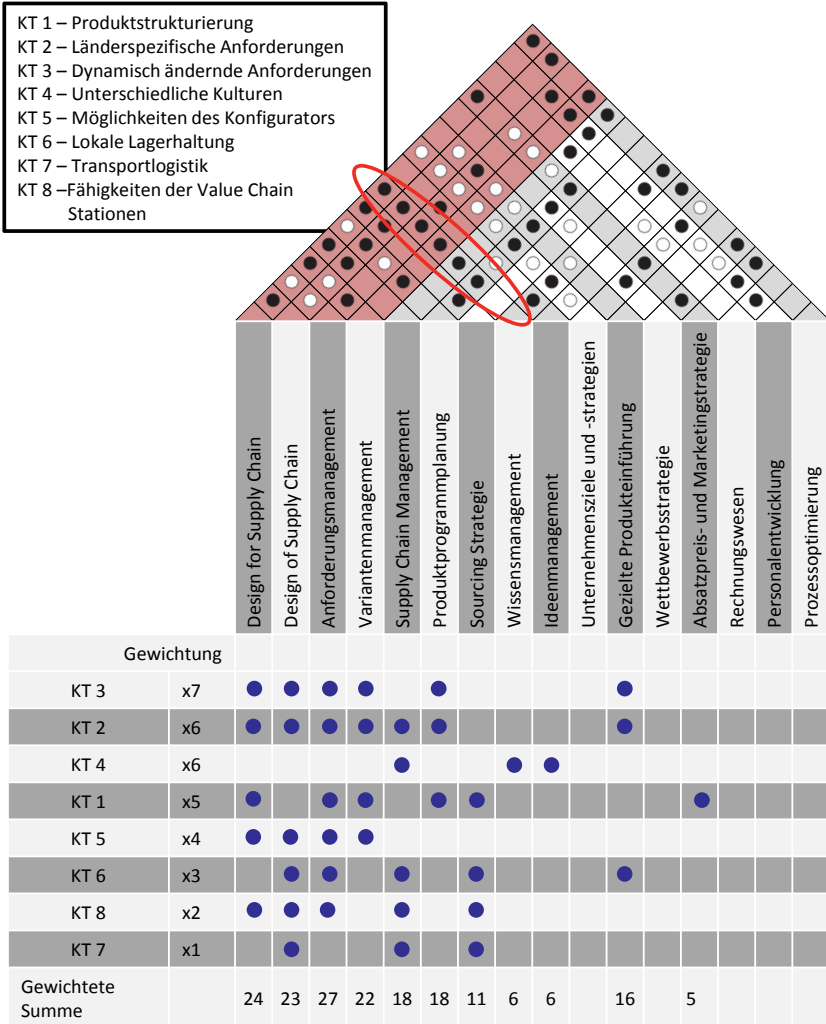


Bild 6.11 Zuordnungsmatrix

Die Komplexitätstreiber werden gemäß ihrer Priorisierung gewichtet und die Handlungsfelder gemäß ihrer Zuordnung aufsummiert. Die Priorisierung wird zuvor aufgrund von strategischen Gesichtspunkten überprüft und ggf. angepasst.

Nach der Zuordnung der generischen Handlungsfelder zu den unternehmensspezifischen Komplexitätstreibern wird die gewichtete Summe gebildet. Daraus ergeben sich folgende Handlungsfelder zur ganzheitlichen Betrachtung des Komplexitätsmanagement, welche in Zukunft zur Reduzierung der piK verfolgt werden müssen. Betrachtet werden hierbei die vier am höchsten gewichteten Handlungsfelder.

- Design for Supply Chain (Optimierung der Produktstruktur für eine effiziente Auftragsabwicklung),
- Design of Supply Chain (Optimierung der Gestaltung von Logistiknetzwerken und -prozessen),
- Anforderungsmanagement (Erfassung, Priorisierung und Dokumentation aller erforderlichen Anforderungen) und
- Variantenmanagement (Reduzierung, Vermeidung und Beherrschung der internen Produktvielfalt)

Zum anderen kann aus der Dachmatrix erkannt werden (roter Kreis in Bild 6.11), dass diese ganzheitliche Betrachtung durch den Einsatz eines geeigneten Wissensmanagements unterstützt werden sollte.

Mit der Analyse und den Schlussfolgerungen aus der Zuordnungsmatrix sind die Arbeiten am Methodenblock I abgeschlossen.

6.3 Methodenblock II –Unterstützung der Produktentstehung

Gegenstand der Validierung des zweiten Methodenblocks ist ein Produktentstehungsprojekt im Zuge der Erweiterung der Mehrgasmessgerät-Produktfamilie. Bei der Produktentstehung werden die Erkenntnisse aus Methodenblock I berücksichtigt, so dass auf eine erneute Erfassung der Komplexität und ihrer Komplexitätstreiber verzichtet werden kann (siehe Bild 5.26 auf Seite 103).

6.3.1 Erfassung der geplanten Produktvielfalt und der Value Chain

Um zu analysieren, welche Auswirkungen die geplante Vielfalt auf den Auftragsabwicklungsprozess hat, erfasst DfVC die geplante Produktvielfalt aus Sicht der Auftragsabwicklung.

Für die neue Produktfamilie ist geplant, die Auswahl von Gasen zu erweitern. Auch die neue Produktfamilie soll brennbare Gase und Dämpfe mithilfe eines Ex-Sensors messen und bis zu drei Gase ermitteln. Allerdings steht hierfür zukünftig eine Gruppe von fünf verschiedenen Gasmesssensoren zur Verfügung. Rein rechnerisch ergeben sich daraus 32 verschiedene Varianten. Da einige Kombinationen jedoch technisch unsinnig sind, ergibt sich eine Vielfalt von acht Varianten. Bild 6.12 zeigt den Vielfaltsbaum.

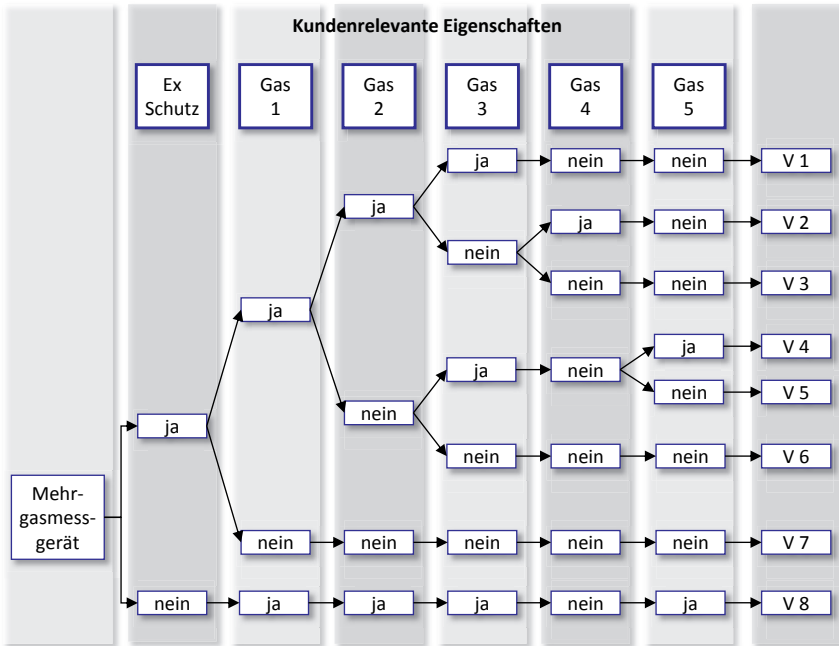


Bild 6.12 Vielfaltbaum der zu entwickelnden Mehrgasmessgerät-Produktfamilie

Allerdings gibt es, wie auch schon bei der Vorgänger-Produktfamilie, weitere Eigenschaften, welche die Produktvielfalt erhöhen, wie z.B.:

- Sonderkalibrierung
- Kalibrierzertifikat in unterschiedlichen Sprachen
- Energieversorgung (Batterie oder Akku)
- Serviceaufkleber (Einige Länder benötigen einen solchen Aufkleber)

Unter den Annahmen, dass die Sonderkalibrierung nur in „ja“ und „nein“ unterschieden wird, dass das Kalibrierzertifikat in fünf verschiedenen Sprachen existiert und nicht immer vorhanden ist und dass der Serviceaufkleber ebenfalls entweder notwendig ist oder nicht, ergeben sich rechnerisch 192 Varianten. Bild 6.13 zeigt den erweiterten Vielfaltbaum aus Sicht der Auftragsabwicklung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nur die Ausprägungen der Einflüsse aufgezeigt und nicht deren Verzweigungen. Der vollständige Vielfaltbaum befindet sich im Anhang D2.

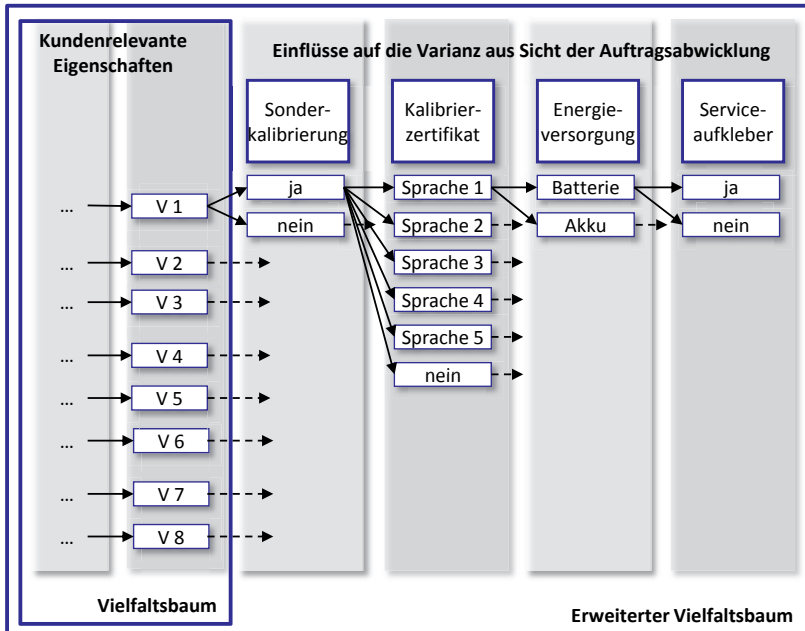


Bild 6.13 Erweiterter Vielfaltsbaum der zu entwickelnden Mehrgasmessgerät-Produktfamilie

Auch die grobe Produktdarstellung ändert sich gegenüber der Vorgänger-Produktfamilie, da die Energieversorgung als weitere variante Komponente und der Serviceaufkleber als weitere optionale Komponente hinzu kommen (Bild 6.14).

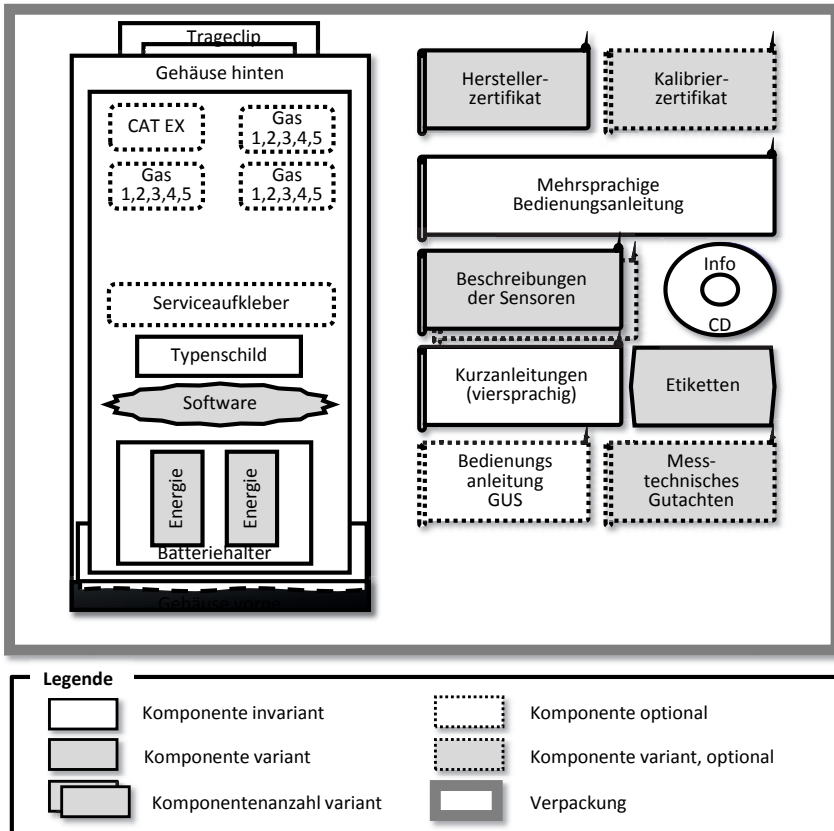


Bild 6.14 Grobe Produktdarstellung der zu entwickelnden Mehrgasmessgerät-Produktfamilie

Neben der Erfassung der Produktvielfalt werden auch die technischen und kapazitiven Fähigkeiten der Value Chain Stationen erfasst. Hierzu wird eine Tabelle entwickelt, deren Spalten die einzelnen Value Chain Stationen enthalten und deren Zeilen die einzelnen, wertschöpfenden Tätigkeiten der Auftragsabwicklung eines Mehrgasmessgerätes beinhalten. Als Referenz wird hierbei auf die Vorgänger-Produktfamilie zurückgegriffen. In der Tabelle wird nun farblich gekennzeichnet, welche Value Chain Stationen in der Lage sind, den jeweiligen Arbeitsschritt durchzuführen. Diese Tabelle dient als Datenbasis für die Fähigkeitendarstellung (Bild 6.15).

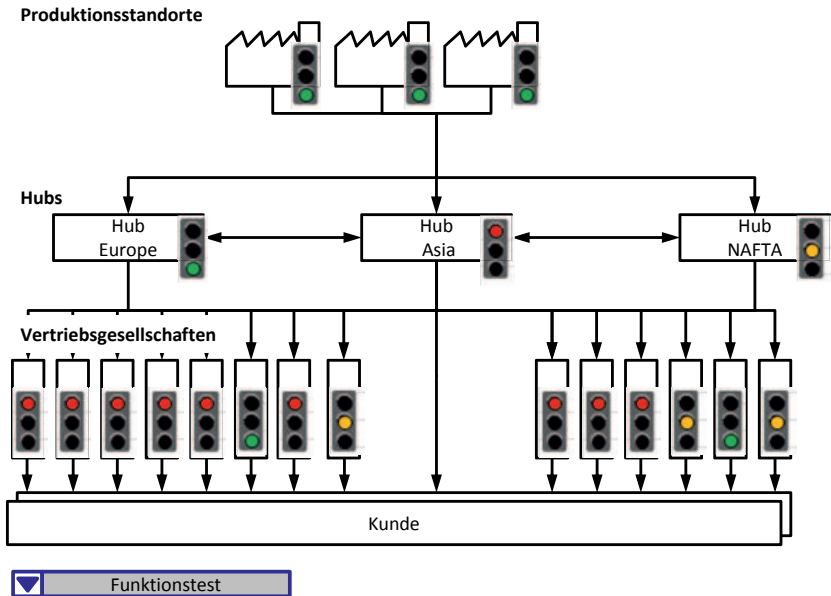


Bild 6.15 Fähigkeitendarstellung

6.3.2 Darstellen von Alternativen

Zum Darstellen von Alternativen unterschiedlicher Produkt- und Value Chain-Konzepte werden der Vorranggraph und der Vielfaltstrichter verwendet. Die weiterentwickelte Mehrgasmessgerät-Produktfamilie soll einen ähnlichen Auftragsabwicklungsprozess wie die Vorgänger-Produktfamilie durchlaufen. Daher wird zur Aufstellung des Vorranggraphen auf den Soll-Ist-Prozess der Vorgänger-Produktfamilie (Kapitel 6.2.2) zurückgegriffen.

Mithilfe des Vorranggraphen wird im Anschluss der Vielfaltstrichter aufgestellt (Bild 6.16). Hierbei wird es die Mehrgasmessgeräte, wie im erweiterten Vielfaltsbaum abgebildet, in acht verschiedenen Sensorconstellationen geben, die Sonderkalibrierung wird im Customizing durchgeführt, ein Kalibrierzertifikat wird in fünf verschiedenen Sprachen beigelegt, als Energieversorgung wird entweder ein Akku oder eine Batterie beigelegt und Serviceaufkleber werden ebenfalls im Customizing angebracht.

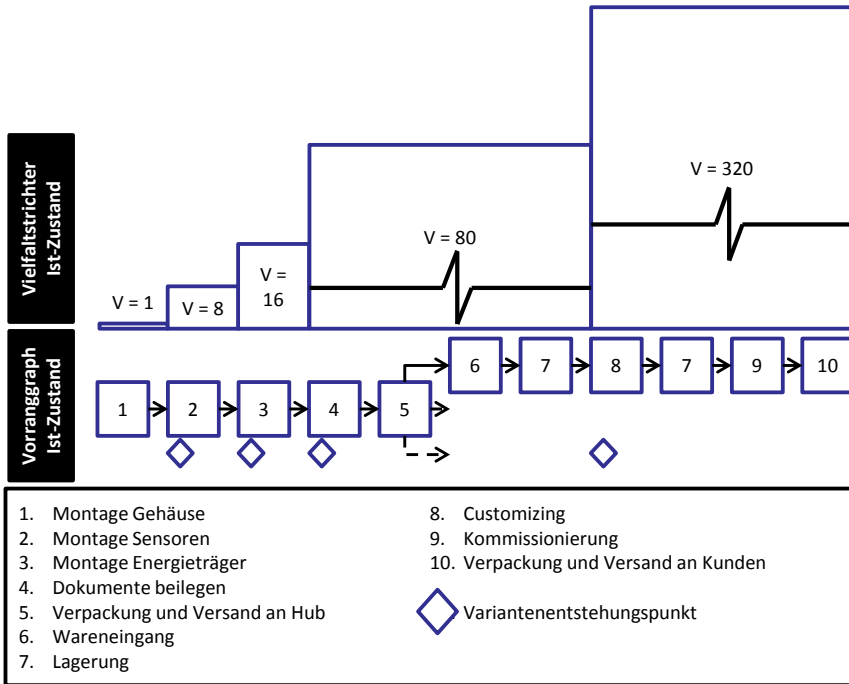


Bild 6.16 Vielfaltstrichter der zu entwickelnden Mehrgasmessgerät-Produktfamilie

6.3.3 Verschiebung des Variantenentstehungspunktes

Zur Unterstützung bei der Gestaltung des Auftragsabwicklungsprozesses und zur Identifikation des Variantenentstehungspunktes wird auf den oben aufgestellten Vielfaltstrichter (Bild 6.16) und die Fähigkeitendarstellung (Bild 6.17) zurückgegriffen.

Die Fähigkeitendarstellung unterstützt die Produktentstehung durch die geschaffene Transparenz als Entscheidungshilfe. Wenn sich das Unternehmen beispielsweise überlegt, die in den GUS Staaten geforderte Betriebsanleitung in Landessprache erst in den Vertriebsgesellschaften vor Ort hinzuzufügen, unterstützt die Fähigkeitendarstellung diese Entscheidung. Hierzu wird, wie in Bild 6.17 dargestellt, die Tätigkeit des Beilegens einer Betriebsanleitung ausgewählt und die Ampeldarstellung zeigt, welche Value Chain Stationen hierzu befähigt sind. Bei den Stationen mit gelber Ampel kann auf die hinterlegte Datenbasis zurückgegriffen werden. Die Vertriebsgesellschaften mit gelber Ampel benötigen z.B. einen Zugang zum ERP System des Unternehmens, um die gewünschte Tätigkeit durchzuführen.

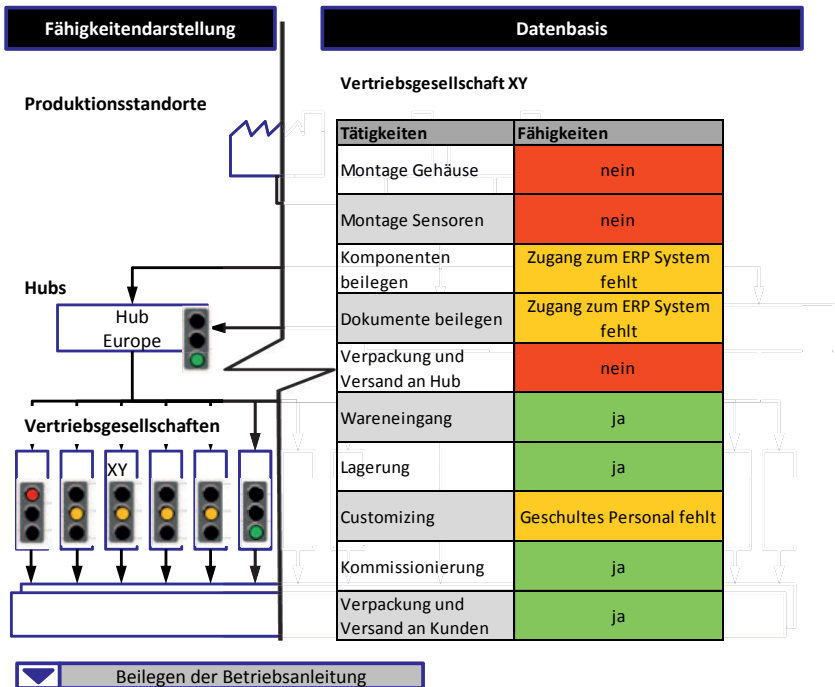


Bild 6.17 Fähigkeitendarstellung zum Beilegen einer Betriebsanleitung

Falls eine Value Chain Station nicht in der Lage oder nicht befähigt ist die Tätigkeit durchzuführen, bleiben unterschiedliche Alternativen:

- Eine Änderung des Produktkonzeptes und die Integration der Kundenanforderungen in das global zu vertreibende Produkt
- Eine Befähigung der nötigen Value Chain Stationen
- Eine Fremdvergabe der Modifikation und somit eine Erweiterung der Value Chain Struktur
-

Mithilfe der Darstellung von Alternativen werden verschiedene Szenarien der Variantenentstehung beziehungsweise die Verschiebung des Variantenentstehungspunktes analysiert. Es werden sowohl die Variantenentstehungspunkte, als auch die Kundenentkopplungspunkte definiert. Bild 6.18 zeigt oben die Ausgangssituation. Durch die Verschiebung der Prozessschritte „Montage Energieträger“ (Nr. 3) und „Dokumente beilegen“ (Nr.4) reduzieren sich die über den Gesamtprozess zu handhabende, Produktvielfalt deutlich (Bild 6.18).

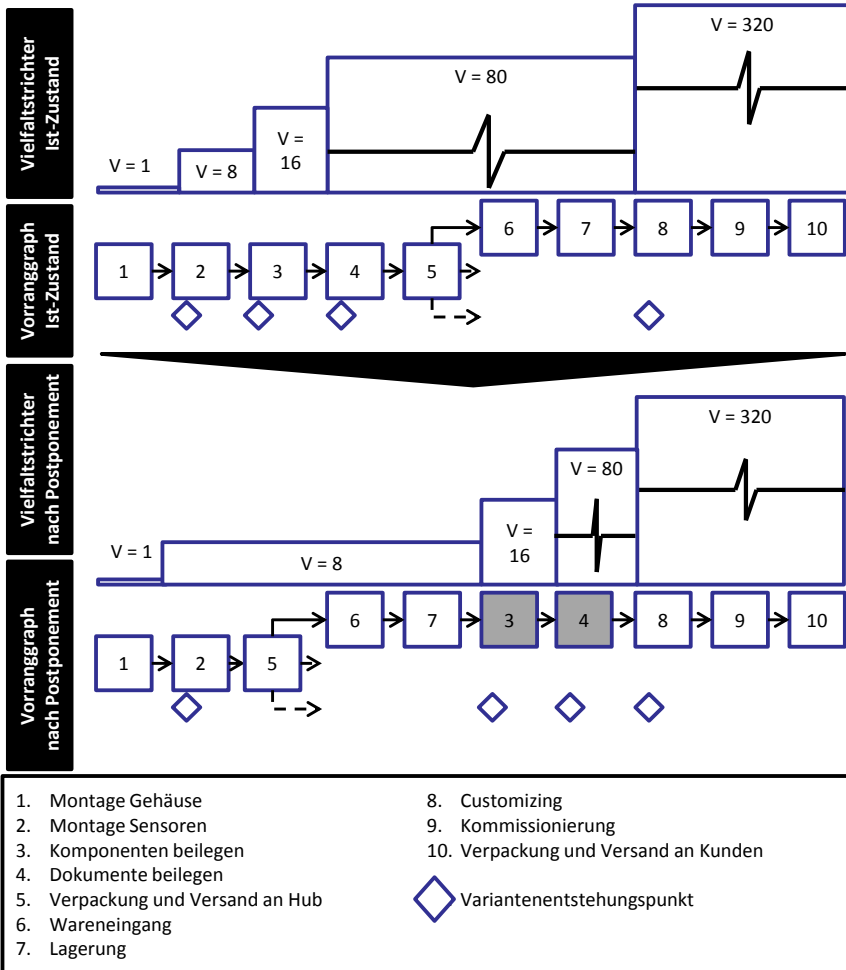


Bild 6.18 Vielfaltstrichter nach Verschiebung eines Variantenentstehungspunktes

Außerdem wird mit dem Vielfaltstrichter definiert, dass die Mehrgasmessgerät-Produktfamilie als CTO und MTO produziert und vertrieben wird. Die CTO-Geräte gibt es in allen acht Sensorkonstellationen, aber ausschließlich mit Akku und ohne Sonderkalibrierung, Kalibrierzertifikat und Serviceaufkleber. Beim Customizing im Hub wird die Sprache des Gerätes, je nach Kundenwunsch auf Englisch oder Deutsch voreingestellt. Bild 6.19 zeigt den Vielfaltstrichter für die CTO-Geräte.

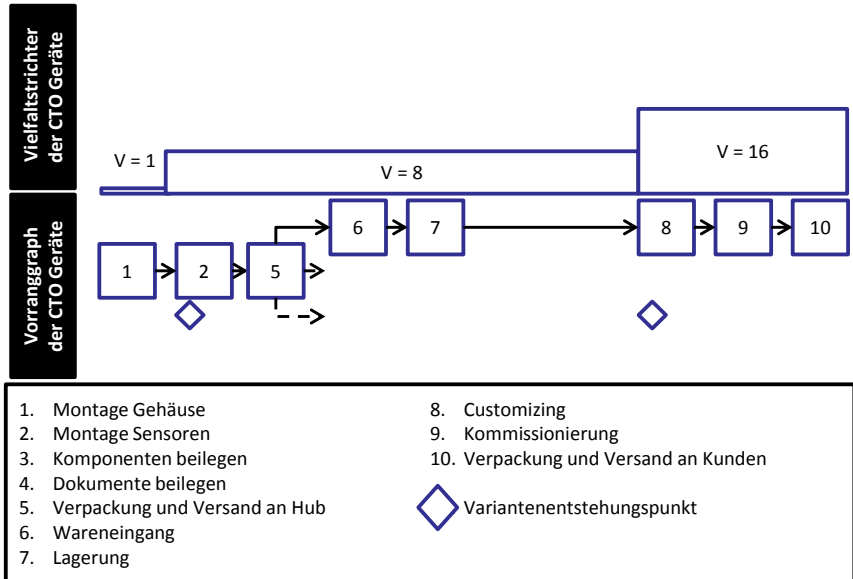


Bild 6.19 Vielfaltstrichter der CTO Geräte

6.3.4 Bewerten der produktvarianteninduzierten Komplexität

Zur Bewertung der unterschiedlichen Produkt- und Value Chain Konzepte wird das in Kapitel 5.3.5 entwickelte Bewertungsspinnennetz eingesetzt. Hierfür werden die unterschiedlichen Auftragsabwicklungsprozess-Konzepte mit den zwei Detaillierungsebenen (Organisation und Prozess) untersucht. Die Bewertung wird anhand des oben genannten Beispiels (Verlagern des Arbeitsschrittes „Dokumente beilegen“) gezeigt. Es wird hierbei das Beifügen einer Betriebsanleitung in Landessprache untersucht. Es wurden folgende Konzepte zur Realisierung des Kundenwunsches erarbeitet:

- **Ist-Zustand**

Die Betriebsanleitungen in Landessprache werden bereits am Produktionsstandort beigelegt.

- **Konzept 1**

Die Hubs werden dazu befähigt, die Betriebsanleitungen in Landessprache auszudrucken und den Mehrgasmessgeräten beizulegen.

- **Konzept 2**

Die Verpackung wird so geändert, dass die Dokumente in den Hubs beigelegt werden können, ohne die Verpackung erneut öffnen zu müssen.

- **Konzept 3**

Die Beigabe der Betriebsanleitungen in Landessprache wird an einen externen Dienstleister vergeben.

Die Bewertung der unterschiedlichen Konzepte findet im Team statt und das Ergebnis ist in Bild 6.20 dargestellt.

Der Ist-Zustand wird als Referenz angenommen und seine bewertete piK in der Skala von 1-10 auf 5 normiert. Die anderen Konzepte werden entsprechend verglichen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist im Bild 6.20 auf die Darstellung der Abweichungen verzichtet und ausschließlich der Mittelwert der vier Konzepte eingezeichnet worden. Die vollständige Darstellung der einzelnen Bewertungsspinnennetze ist im Anhang E zu finden.

Die Ergebnisse der Bewertung müssen anschließend im interdisziplinären Team diskutiert und interpretiert werden.

Es ist z.B. zu erkennen, dass je nach Gewichtung der Komplexitätsfaktoren unterschiedliche Konzepte zu bevorzugen sind. Werden die Netzwerk-Kosten am höchsten priorisiert, sind die Konzepte 1 und 2 dem Konzept 3 vorzuziehen. Sind hingegen die Anzahl der Prozessschritte zur Bewertung der piK am höchsten priorisiert, ist das Konzept 3 dem Konzept 1 vorzuziehen.

Zusätzlich ist zu beachten, dass die Daten zur Bewertung der verschiedenen Komplexitätsfaktoren unterschiedliche Unsicherheiten aufweisen. Das Bewertungsspinnennetz wird daher als Diskussionsgrundlage für die Experten im Unternehmen verwendet und die abschließende Interpretation im Rahmen von Workshops durchgeführt.

Das untersuchte Unternehmen hat sich für das Konzept 2 entschieden und eine Verpackung entwickelt, die außen eine Tasche hat, in welche die Betriebsanleitung eingeschoben wird.

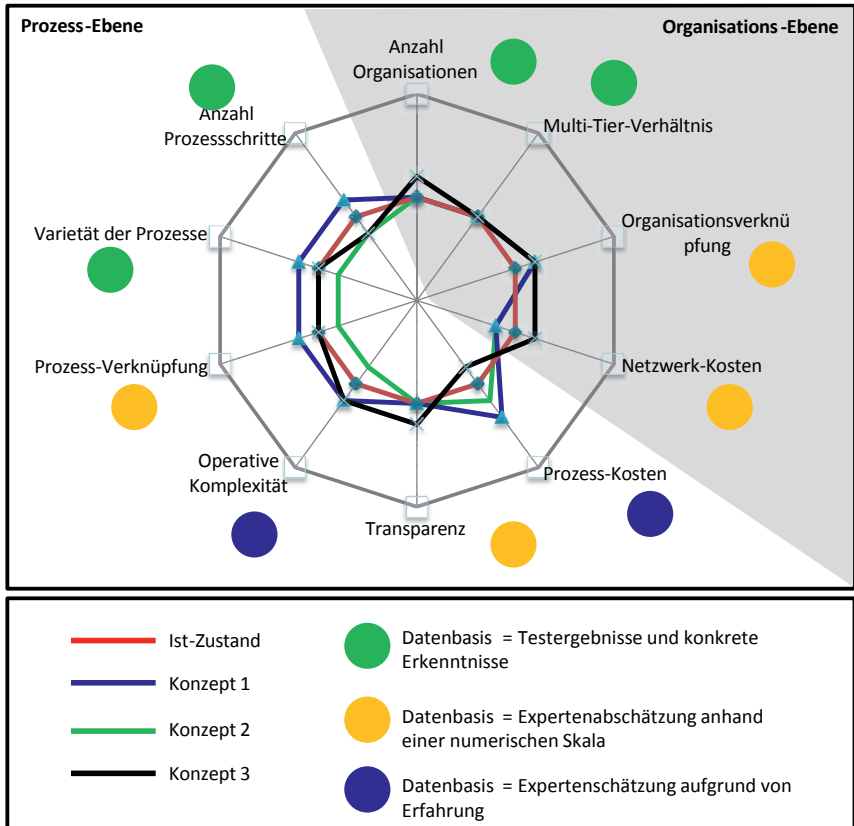


Bild 6.20 Bewertungsspinnennetz

6.4 Auswertung der Fallstudien

Die im Kapitel 6.1 aufgestellten Prüfhypothesen werden anhand der Ergebnisse des Projektes überprüft.

1. DfVC unterstützt eine ganzheitliche Betrachtung der piK.

DfVC untersucht die Komplexität, welche durch eine hohe Produktvielfalt induziert ist. Durch die Methodenwerkzeuge erweiterter Vielfaltsbaum und Swimlane-Diagramm wird die piK sowohl auf der Produkt- als auch auf der Prozessebene erfasst und analysiert. Die Auswirkungen der Produktvielfalt werden im Swimlane-Diagramm zur Darstellung der piK im Auftragsabwicklungsprozess visualisiert und die Ursachen werden unternehmensspezifisch in Form von Komplexitätstreibern erfasst und in einem strukturierten Baumdiagramm dargestellt.

Im Methodenblock II des DfVC wird durch die Zuordnung der unternehmensspezifischen Komplexitätstreiber zu generischen Handlungsfeldern des Komplexitätsmana-

gements die ganzheitliche Herangehensweise unterstützt. Die generischen Handlungsfelder beziehen sich sowohl auf die Produktebene (z.B. Design for Supply Chain) als auch auf die Prozessebene (z.B. Design of Supply Chain). Dadurch werden unternehmensspezifische Handlungsempfehlungen identifiziert, die sowohl das Komplexitätsmanagement auf Produktebene, als auch das Komplexitätsmanagement auf Prozessebene einschließen. Somit unterstützt DfVC eine ganzheitliche Betrachtung der piK und des Komplexitätsmanagement.

2. Die durchgängige Anwendung von DfVC reduziert die piK.

Ergebnisse der DfVC sind die Erhöhung der Transparenz, Aufweisen von unternehmensspezifischen Handlungsfeldern eines ganzheitlichen Komplexitätsmanagements, Unterstützung der Produktentstehung bei der Festlegung des Variantenentstehungspunktes und Bewertung der piK. Alle Ergebnisse haben bei Anwendung die Reduzierung der piK zur Folge.

Durch die Erhöhung der Transparenz wird eine erhöhte Wahrnehmung der piK im Unternehmen geschaffen. Des Weiteren dienen die graphischen Darstellungen als transparente Diskussionsgrundlage im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit. Die Erhöhung der Transparenz führt nicht direkt zu einer Reduzierung der piK, dient jedoch dem Unternehmen beziehungsweise den Experten als Unterstützung bei der Reduzierung der piK.

Durch die Zuordnung der Komplexitätstreiber zu den Handlungsfeldern des Komplexitätsmanagements im Methodenblock I und die Umsetzung der dadurch identifizierten Handlungsempfehlungen wird die strategische Ausrichtung des Unternehmens, die piK zu reduzieren, verbessert. DfVC unterstützt dadurch das Komplexitätsmanagement und reduziert die piK.

Durch die Festlegung des Variantenentstehungspunktes unterstützt DfVC die Gestaltung des Auftragsabwicklungsprozess. Dadurch wird die piK in Zukunft reduziert.

Die Bewertung unterschiedlicher Value Chain Konzepte durch das Bewertungsspinnetz unterstützt die Produktentstehung bei der Auswahl eines Produkt- und Value Chain-Konzeptes. Die Bewertung ermöglicht es piK in Zukunft zu vermeiden und zu reduzieren. Die Anwendung von DfVC führt somit zur Reduzierung und Vermeidung der piK.

3. DfVC geht nicht von einer generischen Value Chain und der damit verbundenen generischen piK aus, sondern untersucht die unternehmensspezifische Value Chain und deren spezifische piK.

DfVC untersucht sowohl bei der Identifikation strategischer Handlungsfelder als auch bei der Unterstützung der Produktentstehung die unternehmensspezifische Value Chain und Auftragsabwicklung.

Durch die Betrachtung des unternehmensspezifischen Auftragsabwicklungsprozesses und die Identifizierung der unternehmensspezifischen piK und ihrer Komplexitätstreiber werden in der Zuordnungsmatrix Handlungsfelder für ein unternehmensspezifisches Komplexitätsmanagement ermittelt. Bei der Unterstützung der Produktent-

stehung werden verschiedene Auftragsabwicklungsprozesse miteinander verglichen, hinsichtlich des Variantenentstehungspunktes optimiert und bezüglich der piK bewertet. DfVC untersucht somit in beiden Methodenblöcken die unternehmensspezifische Value Chain und deren spezifische piK.

4. Durch die grafische Visualisierung erhöht DfVC die Transparenz.

Die einzelnen Visualisierungen haben bei der Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Experten sowohl zum Verständnis des methodischen Vorgehens als auch zur Ableitung und zum Erkennen der Ergebnisse beigetragen. Die visuelle Unterstützung der Expertengespräche wird von den Teilnehmern als besonders hilfreich angesehen.

Die Visualisierungen der Endergebnisse, wie z.B. die Zuordnungsmatrix und das Bewertungsspinnennetz, werden als Kommunikationsmittel eingesetzt. Somit können die Ergebnisse der Projekte transparent im Unternehmen dargestellt und kommuniziert werden.

DfVC erhöht daher mithilfe der verschiedenen Methodenwerkzeuge die Transparenz und unterstützt durch graphische Visualisierungen die Entscheidungsprozesse eines Unternehmens.

5. Bei der Anwendung von DfVC wird sowohl die Produkt- als auch die Prozessebene betrachtet. Es wird die piK der Distributionsstruktur der Value Chain betrachtet.

DfVC betrachtet sowohl die Produkt- als auch die Prozessebene. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Prozessebene, der Untersuchung der Value Chain und der Auftragsabwicklungsprozesse. Die Produktebene (Produktvielfalt) wird hierbei vor allem als Auslöser für Komplexität auf der Prozessebene verstanden und als solche betrachtet. Daher DfVC betrachtet sowohl die Produkt- als auch die Prozessebene

Die Produktebene wird durch die Werkzeuge erweiterter Vielfaltsbaum und die grobe Produktdarstellung untersucht und visualisiert. Die so identifizierte Produktvielfalt wird dahingehend untersucht, welche piK sie im Auftragsabwicklungsprozess induziert. Diese piK wird anschließend auf der Prozessebene mithilfe der verschiedenen Swimlane-Diagramme, des Vorranggraphen und des Vielfaltstrichters visualisiert und untersucht. DfVC untersucht daher die piK der Distributionsstruktur innerhalb der Value Chain.

6. DfVC kann unterschiedliche Handlungsfelder des Komplexitätsmanagements ermitteln und diese entsprechend ihrer Eignung zur Reduzierung der unternehmensspezifischen piK priorisieren.

Durch die Erfassung von unternehmensspezifischen Komplexitätstreibern und die Zuordnung zu identifizierten Handlungsfeldern des Komplexitätsmanagements unterstützt DfVC die Ermittlung strategischer und unternehmensspezifischer Handlungsfelder des Komplexitätsmanagements.

Die unternehmensspezifische Priorisierung der Komplexitätstreiber mithilfe der Einfluss- und Priorisierungsmatrix führt im Rahmen der Zuordnungsmatrix ebenfalls zu einer unternehmensspezifischen Priorisierung der Handlungsfelder. Dadurch werden

Handlungsempfehlungen abgeleitet, welche die Reduzierung der unternehmensspezifischen piK berücksichtigen.

7. Das Bewertungsschema von DfVC ermöglicht eine aussagekräftige Bewertung von Produktkonzepten hinsichtlich der von ihnen induzierten Komplexität.

Bei der Bewertung mithilfe des Bewertungsspinnennetzes werden verschiedene mögliche Konzepte zur Auftragsabwicklung miteinander verglichen. Diese vergleichende Bewertung erlaubt die Untersuchung verschiedener Value Chain Konzepte. Die unterschiedlichen Auftragsabwicklungsprozesse sind zum Teil nur durch verschiedene Produktkonzepte, wie z.B. eine veränderte Verpackung zum einfacheren Beilegen der Betriebsanleitung, realisierbar. Daher können durch die Bewertung der Value Chain Konzepte Rückschlüsse auf die Produktkonzepte gezogen werden. Eine direkte Bewertung der Produktkonzepte findet hingegen nicht statt.

Zusammenfassend zeigt die erfolgreiche Anwendung von DfVC, dass die Methode entscheidende Vorteile bei der Reduzierung der piK bietet. Sie erfüllt sowohl bei der Identifikation strategischer Handlungsfelder als auch bei der Unterstützung der Produktentstehung alle wesentlichen an sie gestellten Anforderungen.

7 Erweiterung des Integrierten PKT-Ansatz

Der Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien stellt den Bezugsrahmen dieser Arbeit dar. Es handelt sich um einen Ansatz des Variantenmanagements zur Reduzierung der internen Produktvielfalt durch verschiedene Methodenbausteine (Kapitel 4.1). Der Integrierte PKT-Ansatz fokussierte zu Beginn dieser Arbeit die Produktebene, die variantengerechte Produktgestaltung und die Modularisierung von Produkten.

Da die modulare Produktstruktur und die Auftragsabwicklungsprozesse wechselseitige Auswirkungen aufeinander haben, stellte sich bei Anwendungen des Integrierten PKT-Ansatzes in der industriellen Praxis heraus, dass eine reine Betrachtung der Produktebene nicht ausreichend ist. Daher und da die Wertigkeit einer Produktvariante vom Prozess beziehungsweise ihren Auswirkungen auf den Prozess, bestimmt wird, wird der Integrierte PKT-Ansatz um die Prozessebene erweitert [Kra11b], [Bro11c], [Bro11e], [Bro10].

Bild 7.1 zeigt das Spannungsfeld und die Verbindung zwischen der Produktebene und der Prozessebene. Die Produktebene beschäftigt sich mit dem „Design for Supply Chain“, mit andern Worten der Anpassung der Produkte an die Gegebenheiten der Auftragsabwicklungsprozesse. „Design for Supply Chain“ hat hierbei das Ziel, Produktstrukturen zu schaffen, die im Rahmen der Supply Chain und somit auch innerhalb der Value Chain keine beziehungsweise eine geringe Komplexität hervorrufen. Auf der Prozessebene findet das „Design of Supply Chain“ beziehungsweise eine Anpassung der Produktionsprozesse an die Anforderungen des Produkts statt. Hierbei wird das Ziel verfolgt, die Supply Chain und auch die Value Chain so zu gestalten, dass die Produkte ohne beziehungsweise mit einer geringen Komplexität hergestellt beziehungsweise vertrieben werden können.

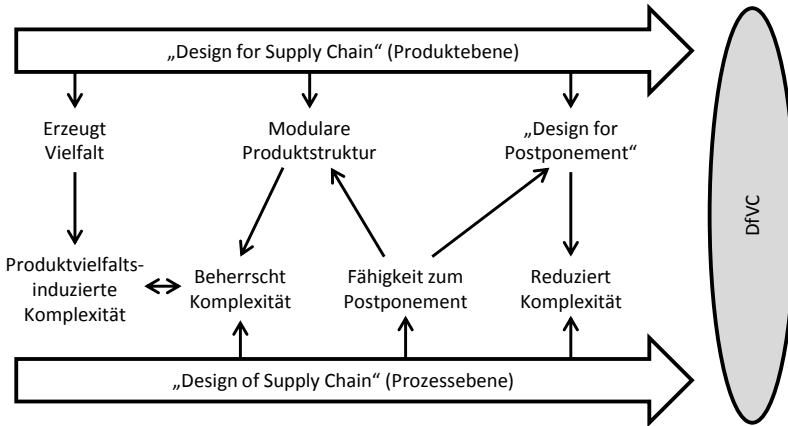


Bild 7.1 Spannungsfeld und Verbindung zwischen der Produkt- und der Prozessebene [Bro11e]

Eine modulare Produktstruktur ermöglicht bei begrenztem Aufwand, eine große Variantenvielfalt am Markt anzubieten, ohne die interne Vielfalt unnötig zu erhöhen. Zur Generierung modularer Produktstrukturen finden im integrierten PKT-Ansatz die Modultreiber nach ERIXON [Eri98] sowie die Ausprägungen der Modultreiber nach BLEES [Ble11] Verwendung.

Des Weiteren beschreibt BLEES im Ausblick seiner Lebensphasen-Modularisierung, dass „die Lieferkette der Produktfamilie in die Entwicklung einbezogen werden [sollte]. Die Methode [der Lebensphasen-Modularisierung] kann somit zu einer integrierten Vorgehensweise für die Entwicklung von Produktstrukturen und Lieferketten erweitert werden.“ [Ble11]

Vor diesem Hintergrund wurde der integrierte PKT-Ansatz um die Prozessebene erweitert (Bild 7.2). Dadurch wird sowohl die interne Produktvielfalt auf Produktebene als auch die piK auf Prozessebene methodisch reduziert.

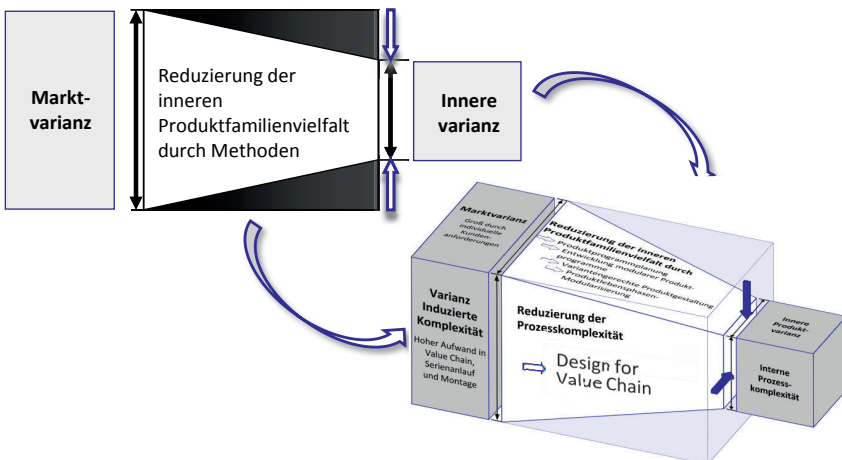


Bild 7.2 Erweiterung des Integrierten PKT-Ansatzes [Bro10]

Die verschiedenen Methodenbausteine stellen hierbei eigenständige Methoden dar. DfVC ist ein notwendiger Bestandteil, wenn die ganzheitliche Betrachtung und Optimierung der Prozesse und eine Anpassung des Auftragsabwicklungsprozess und der Produktstruktur im Fokus steht.

Im Rahmen des Integrierten PKT-Ansatzes werden die Methodenbausteine der variantengerechten Produktgestaltung und der Produktlebensphasen-Modularisierung verwendet, um unterschiedliche Konzepte der Produktstrukturierung zu entwickeln, welche die Möglichkeit bieten die interne Produktvielfalt zu reduzieren. Anschließend wird DfVC genutzt, um die mit diesen Produktstrukturen möglichen Auftragsabwicklungsprozesse zu untersuchen und hinsichtlich ihrer piK zu bewerten. Dadurch wird mit dem Integrierten PKT-Ansatz sowohl die Gestaltung der Produktstruktur als auch der Value Chain unterstützt.

Da bei der Betrachtung der Produktebene und der Modularisierung bereits einige Informationen aufbereitet werden, die bei DfVC ebenfalls benötigt werden, können die genutzten Werkzeuge übernommen werden. Der Vielfaltsbaum, welcher bei der variantengerechten Produktgestaltung verwendet wird, wird bei DfVC weiterverwendet und um die Sicht der Auftragsabwicklung erweitert. Außerdem kann der bei der Produktlebensphasen-Modularisierung verwendete MIG als grobe Produktdarstellung auch bei DfVC genutzt werden. Der MIG enthält dabei einige Informationen, wie z.B. die Flüsse zwischen den Komponenten, welche beim DfVC nicht benötigt werden. Daher sollte der MIG nicht verwendet werden, wenn ausschließlich DfVC durchgeführt wird. Er kann jedoch, erweitert um die für die Auftragsabwicklung wichtigen peripheren Komponenten, die grobe Produktdarstellung ersetzen, wenn der Integrierte PKT-Ansatz durchgeführt wird.

Über DfVC hinaus sind weitere prozessbezogene Methodenbausteine in der Entwicklung (Bild 7.3):

- Effiziente Serienanlaufgestaltung

Hierbei wird der Übergang zwischen Entwicklung und Produktion näher betrachtet. Die effiziente Serienanlaufgestaltung identifiziert und minimiert die Anlauf Risiken. Dazu werden die Einflussfaktoren und deren Auswirkungen analysiert und eine Risikobewertung durchgeführt. Durch die erzeugte Transparenz können frühzeitig mögliche Probleme identifiziert werden [Els12b].

- Montagegerechte Produktstrukturierung

Diese Methode beschreibt einen Ansatz zur Strukturierung von Produkten auf Basis von Zielen des Design for Assembly (montagegerechte Konstruktion). Hierbei ist die Verwendung eines entwickelten integrativen Produkt- und Prozessmodells das Kernelement für die Anwendung von strukturierenden Maßnahmen [Hal12].

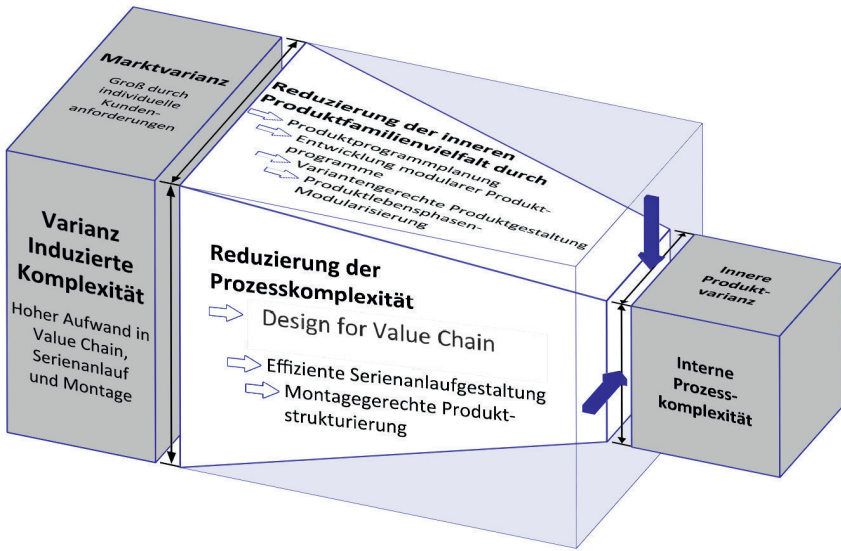


Bild 7.3 Integrierter PKT-Ansatz [Bro12b]

8 Zusammenfassung und Ausblick

Um die vielfältigen und dynamischen Anforderungen der weltweiten Märkte, Länder und Kunden bedienen zu können, entwickeln Unternehmen in immer größerem Maße kundenindividuelle Produktvarianten. Diese Diversifizierung führt intern zu erhöhter Produktvielfalt auf der Produktebene und zu produktvarianteninduzierter Komplexität (piK) auf der Prozess- und insbesondere auf der Value Chain-Ebene. Unternehmen müssen sich daher intensiv mit der Fragestellung auseinandersetzen, wie die derzeitige piK innerhalb der Value Chain reduziert und bei Produktentwicklungen beherrscht oder vermieden werden kann. Eine Analyse unterschiedlicher Ansätze des Komplexitätsmanagements zeigt, dass sich entsprechende Verbesserungsansätze entweder auf die Ebene der Produkte oder die der Value Chain Prozesse konzentrieren. Ein ganzheitliches Komplexitätsmanagement unter Berücksichtigung beider Ebenen wurde bisher nicht untersucht beziehungsweise entwickelt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde daher eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität (DfVC) entwickelt, welche die piK erfasst, analysiert, bewertet und Möglichkeiten zur Reduktion aufzeigt. Die Methode ist in zwei Methodenblöcke mit unterschiedlicher Zielsetzung aufgeteilt.

- I. **Identifikation strategischer Handlungsfelder** des Komplexitätsmanagements und Erhöhung der Transparenz durch die Erfassung und Analyse der vorhandenen piK.
- II. **Unterstützung der Produktentstehung** durch die Berücksichtigung der piK bei der Weiterentwicklung und Optimierung einer bestehenden Produktfamilie und des Auftragsabwicklungsprozesses.

Mithilfe des Methodenblocks I zur Identifikation strategischer Handlungsfelder werden Komplexitätstreiber in Unternehmen aufgezeigt. Diese werden den zuvor aus dem Stand der Wissenschaft abgeleiteten Handlungsfeldern des Komplexitätsmanagements gegenübergestellt, um die unternehmensspezifischen Handlungsfelder zu identifizieren. Hierbei werden die dynamischen globalen Anforderungen als zentraler Komplexitätstreiber erkannt, denen zukünftig mit verschiedenen Maßnahmenpaketen entgegen getreten werden soll.

Bestandteil des Methodenblocks II zur Unterstützung der Produktentstehung ist die Anpassung der Produktstruktur und der Wertschöpfungstiefe mit dem Ziel einer Komplexitätsreduzierung. Hierzu werden verschiedene Methodenwerkzeuge zur Unterstützung der Entscheidungsfindung über den optimalen Grad des Postponements und zur Bewertung der piK verschiedener Produktkonzepte bereitgestellt.

Anschließend an die Entwicklung wurde DfVC in der industriellen Praxis erfolgreich validiert. Als repräsentatives Produktfamilienbeispiel wurde das Mehrgasmessgerät eines international erfolgreichen Unternehmens der Sicherheitstechnik ausgewählt und untersucht. Mithilfe von DfVC zur Identifikation strategischer Handlungsfelder wurden unterschiedliche strategischer Handlungsfelder ermittelt und Handlungsempfehlungen zur Komplexitätsreduktion für das Unternehmen identifiziert.

Mit Methodenblock II wurde das methodische Vorgehen DfVC für die Weiterentwicklung der Mehrgasmessgeräte-Produktfamilie eingesetzt. Durch den Einsatz bei der Produktentstehung konnte die piK reduziert werden. Es wurden zur Entscheidungsfindung benötigte Informationen ermittelt und graphisch aufbereitet, um als Diskussions- und Entscheidungsgrundlage in der Produktentstehung und der Gestaltung der Value Chain zu dienen.

Zusammenfassend zeigt die Entwicklung von DfVC und dessen erfolgreiche Anwendung im Rahmen eines Projektes in der Industrie, dass DfVC entscheidende Vorteile bei der Reduzierung der piK bietet, da sowohl die Produkt- als auch die Prozessebene betrachtet wird. DfVC konnte sowohl bei der Identifikation strategischer Handlungsfelder als auch bei der Unterstützung der Produktentstehung alle wesentlichen Anforderungen erfüllen.

Mit Hilfe von DfVC können zudem Ansätze für weitere Forschungsarbeiten abgeleitet werden. Beispielsweise sollten zukünftig auch Elemente des Wissensmanagements zur Rückführung von Erfahrungswissen der Value Chain Stationen in die Produktentstehung neben der Produkt- und der Prozesssicht berücksichtigt werden. Damit kann dann ein dauerhafter Verbesserungsprozess im Unternehmen integriert werden.

Anhang

A. Eigenschaften komplexer Systeme

Tabelle 8.1 Eigenschaften komplexer Systeme in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen [Stü03]

Autor	Wissenschaftliche Disziplin	Signifikante Eigenschaften
DAWKINS [Daw96]	Evolutionsbiologie	Ein komplexes System ist eine heterogene Struktur, es besteht aus verschiedenen Teilen, die miteinander interagieren
CRAMER [Cra01]	Biologie	Je mehr Parameter erforderlich sind, um ein System vollständig zu beschreiben, desto höher ist der Grad der Komplexität.
GELL-MANN [Gel94]	Physik	Um die Komplexität eines Systems zu bestimmen, wird die Länge der kürzesten Nachricht, welche das System beschreibt, verwendet. Je höher die Komplexität eines Systems, desto länger die Beschreibung.
GELL-MANN [Gel94]	Physik	Komplexität ist abhängig vom Beobachter.
PERROW [Per89]	Soziologie	Komplexe Systeme bestehen aus einer Vielzahl von interagierenden Komponenten. Störungen können daher selten zu einem Ausfall einzelner Komponenten des Systems führen, sondern müssen auf die Interaktionen zwischen verschiedenen Komponenten zurückgeführt werden.
ASHBY [Ash85]	Kybernetik	Vielfalt ist ein Maß für die Komplexität eines Systems, das heißt die Anzahl der verschiedenen Zustände, die durch das System angenommen werden kann, bestimmt den Grad der Komplexität.
WEINBERG/ WEINBERG [Wei79]	Allgemeine Systemtheorie	Aussagen über die Komplexität eines Systems hängen von der Beziehung zwischen System und Betrachter ab.

B. Unternehmensbefragung

B1 Fragebogen zur Unternehmensbefragung

Ziel: Dieser Fragebogen soll einen Beitrag für ein Anforderungsprofil zur systematischen Aufnahme von Prozessen leisten. Dabei soll insbesondere auf die Verbindung von Produkt- und Prozessvarianten eingegangen werden.

Hinweis: Selbstverständlich können Sie auch ohne Angabe des Firmennamens anonym antworten. Ihre Daten werden in jedem Fall vertraulich behandelt und nicht zusammen mit dem Firmennamen veröffentlicht. Diese Datenerhebung stellt eine Grundlage für eine empirische Erhebung dar. Bei Fragen und Anmerkungen stehe ich Ihnen natürlich jederzeit gerne zur Verfügung.

Firma

Name der Firma

Name u. Funktion des Bearbeiters

Adresse der Firma

eMail / Telefonnummer

Anzahl der Mitarbeiter am Standort:

Branche des Unternehmens:

Auftrags- und Einzelfertigung

Massen- / Serienfertigung

Kleinserienfertigung

Sonstiges:

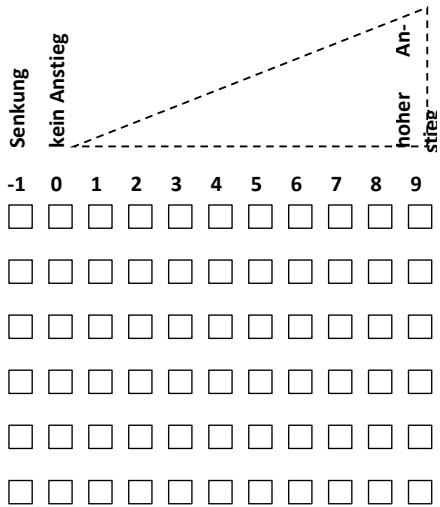
Anmerkungen:

Kundenorientierte Unternehmen reagieren auf die zunehmende Dynamisierung in den Märkten unter anderem durch eine Erhöhung der Produktvielfalt. Dies geht bei einer Produktänderung zwangsläufig mit einer Erhöhung der Prozessvielfalt einher, so dass die Gefahr in eine Komplexitätsfalle zu geraten ansteigt, in der die Kosten für die zusätzliche Produktionsplanung und -steuerung stärker steigen als die durch die Variantenvielfalt erzielten zusätzlichen Erlöse.

Fragen

„Variantenvielfalt führt zu einer hohen Komplexität durchsteigende Koordinationsaufwände innerhalb der Geschäftsprozesse, wie z.B. der Beschaffung, Konstruktion, Fertigung und Distribution.“

4. Wo im Geschäftsprozess können Sie gegebenenfalls eine ansteigende Komplexität infolge der Variantenvielfalt erkennen?



Anmerkungen:

„Derzeit liegt bei der Entwicklung von Produktvarianten das Hauptaugenmerk auf dem Produkt selbst und weniger auf der dadurch abgeleiteten Prozessvielfalt.“

Prozessvielfalt: wenn durch eine neue Produktvariante zusätzliche (Produktions-)Prozesse erforderlich werden, spricht man von einer Erhöhung der durch eine Produktvariante abgeleiteten Prozessvielfalt.

5. Würden Sie dieser These zustimmen, können Sie Beispiele nennen?

Zustimmung

Ablehnung

Sonstiges:

Anmerkungen/ **Beispiele:**

Bei Zustimmung, welche Maßnahmen ergreifen Sie um das Augenmerk auch auf den Prozess zu lenken?

8. Aus welcher Richtung kommen die sog. Treiber für neue Varianten?

Treiber für neue Varianten: wer ist für die Einführung einer neuen Variante verantwortlich, wer veranlasst diese?

„vom Produkt kommend“, z.B. aus dem Vertrieb, wenn ein Kunde Anregungen/ Wünsche für ein neues Produkt äußert. Forschung & Entwicklung.

„vom Prozess kommend“, z.B. mit dem Ziel einen flexiblen und robusten Prozess zu entwickeln (Kennzahlensystem, Variantenmanagementsystem)

Sonstiges:

9. Welche Maßnahmen ergreifen Sie, um nicht in die sog. Komplexitätsfalle zu geraten?

Als Komplexitätsfalle bezeichnet man das Phänomen, dass die Kosten für die zusätzliche Produktionsplanung stärker steigen als die durch die Variantenvielfalt erzielten zusätzlichen Erlöse.

Berücksichtigung der Variantenvielfalt in der Produktionsplanung und –steuerung

Kennzahlen (welche?)

Berücksichtigung der Variantenvielfalt im Geschäftsprozess (wie?)

Keine

Sonst.:

B2 Ergebnisse der Unternehmensbefragung

Frage 1

„Variantenvielfalt führt zu einer hohen Komplexität durchsteigende Koordinationsaufwände innerhalb der Geschäftsprozesse, wie z.B. der Beschaffung, Konstruktion, Fertigung und Distribution.“ Würden Sie dieser These zustimmen?

Unternehmen A stimmt nur bedingt zu, da in einigen Bereichen die Organisation sehr gut aufgestellt ist, so dass dort durch die Variantenvielfalt weniger Komplexität verursacht wird als z.B. in weniger gut organisierten Teilbereichen.

Unternehmen B stimmt der These zu und versucht die durch Variantenvielfalt bedingte Komplexität durch das Freischalten von Softwareeigenschaften zu beherrschen, bzw. zu verringern.

Unternehmen C stimmt nur teilweise zu, da zwar das Prozessmanagement durch Varianten komplexer geworden ist, die eigentliche Fertigung bei Unternehmen C allerdings kaum. Varianten bedingen mehr Aufwand bei der Planung, die Komplexität in der Ausführung hat sich nicht erhöht.

Unternehmen D stimmt zu.

Frage 2

Was verstehen Sie in Ihrem Unternehmen unter dieser „Komplexität“ und wie versuchen Sie diese zu beherrschen?

Unternehmen A würde den Begriff Komplexität auch als „Vielfalt“ bezeichnen. Komplexität wird in zwei Bereiche unterschieden: zum einen Komplexität bzgl. der Vielfalt im Produkt und zum anderen die Auswirkungen auf den Prozess. Produktseitige Komplexität wird bestimmt durch externe Faktoren, wie Anforderungen des Marktes und der Gesetzgebung (EU), die als gegeben betrachtet und im Lastenheft berücksichtigt werden. Internen Faktoren wie die Strukturierung des Produktes z.B. durch Modularisierung werden optimiert, um Komplexität zu verringern.

Unternehmen B beschreibt Komplexität mit Begriffen wie „schwer beherrschbar“ und „undurchschaubar“. Indirekt hängt Komplexität immer mit Kosten zusammen (Komplexität=Kosten). Durch das Schaffen von ähnlichen Funktionen wird versucht die Komplexität zu beherrschen.

Unternehmen C versteht unter Komplexität in erster Linie mehr Schnittstellen zwischen z.B. Abteilungen, Unternehmen und Lieferanten. Die Zahl der unterschiedlichen Schnittstellen im Unternehmen hat ebenfalls Einfluss auf Komplexität. Beispielsweise sind ehemalige interne Schnittstellen nach einer Umgestaltung des Unternehmens nun externe Schnittstellen, nachdem die firmeninterne Konstruktion ausgegliedert wurde. Änderungen in der Organisation erhöhen mehr die Komplexität als die Anforderungen z.B. des Kunden an das Produkt. Unterschiedliche Definitionen von Begriffen erhöhen die Komplexität.

Unternehmen D versteht unter Komplexität „Toolvielfalt“ und „Prozessvielfalt“.

Frage 3

Welche Größen haben Ihrer Meinung welchen Einfluss auf Komplexität im Zusammenhang mit Varianten?

(0) kein Einfluss - (9) hoher Einfluss

Unternehmen C schätzt, dass allgemein die Beziehungsinhalte, bzw. die Arten von Beziehungen hohen Einfluss (8) auf Komplexität haben, die Verknüpfungsdichte (3), Unterschiedlichkeit (3) und Elementmenge (3) haben geringen Einfluss. Die Dynamik (2) in der Branche des Unternehmens wird allgemein als gering eingestuft.

Unternehmen D stuft den Beziehungsinhalt (7), Verknüpfungsdichte (7), Unterschiedlichkeit (7) und Elementmenge (7) als Faktoren mit überwiegend hohem Einfluss auf Komplexität ein. Dynamik (9) hat sehr hohen Einfluss auf Komplexität.

Frage 4

Wo im Geschäftsprozess können Sie ggf. eine ansteigende Komplexität infolge der Variantenvielfalt erkennen?

(0) kein Anstieg - (9) hoher Anstieg

Unternehmen A verzeichnet insbesondere in der Produktion und Konstruktion ansteigende Komplexität infolge der Variantenvielfalt. In den Bereichen Eingangslogistik, Beschaffung, Vertrieb und Kundendienst ist ein moderater Anstieg zu verzeichnen.

Unternehmen B erkennt ansteigende Komplexität in erster Linie in der Planung bei Produktion und Konstruktion. In Eingangslogistik, Beschaffung, beim Kundendienst und bei Marketing & Vertrieb ist ebenfalls eine ansteigende Komplexität festzustellen.

Unternehmen C erkennt in der Eingangslogistik & Beschaffung (2) leichten Anstieg, in Produktion & Konstruktion (1), sowie in Ausgangslogistik & Distribution (1) wenig Anstieg und bei Marketing & Vertrieb (0) und im Kundendienst (0) keinen Anstieg von Komplexität infolge der Variantenvielfalt. Bei der Kommunikation (4) ist unternehmensweit der höchste Anstieg zu erkennen.

Unternehmen D erkennt hohen Anstieg von Komplexität in Eingangslogistik, Beschaffung (8), Produktion, Konstruktion (8), Ausgangslogistik, Distribution (8) und im Kundendienst (8). Bei Marketing & Vertrieb (5) ist ebenfalls ein Anstieg von Komplexität zu erkennen.

Frage 5

„Derzeit liegt bei der Entwicklung von Produktvarianten das Hauptaugenmerk auf dem Produkt selbst und weniger auf der dadurch abgeleiteten Prozessvielfalt.“ Würden Sie dieser These zustimmen? Welche Maßnahmen ergreifen Sie um das Augenmerk auf den Prozess zu lenken?

Unternehmen A stimmt zu, dass das Hauptaugenmerk zu sehr auf Seiten der Produktentwicklung vorherrscht und gibt an „das Problem erkannt“ zu haben. Durch sog. „Rollenkonzepte“, also interdisziplinäre Teams in der Planungsphase, versucht Unternehmen A den Fokus mehr auf den Prozess zu lenken. Als Tools zur Prozesskostenrechnung kommen die Arbeitsablauf-Zeitanalyse (AAZ, bzw. engl. MTM) und Methoden zur betrieblichen Datenerfassung nach REFA (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung) u.a. im Teststadium zum Einsatz.

Unternehmen B gibt an, dass in der Vergangenheit die Entwicklung zu sehr auf Seiten des Produktes lag, mittlerweile das „Problem ebenfalls erkannt“ und „großen Wert“ auf die Produktion und deren Prozesse gelegt wird, insbesondere durch die umfassende Verwendung von Lasten- und Pflichtenheften in der Produktentstehung. Bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt in der Konstruktionsphase fließen prozessseitige Anforderungen aus der Produktion ein und es besteht eine enge Zusammenarbeit mit der Arbeitsvorbereitung. Das Einhalten von Zeitvorgaben ist wichtiger Bestandteil, um prozessseitige Anforderungen berücksichtigen zu können.

Unternehmen C stimmt der These nicht zu, merkt jedoch an, dass die Antwort sehr subjektiv sei und dass es in anderen Unternehmensbereichen durchaus andere Ansichten dazu geben könnte. In Unternehmen C wurde das Interview mit der Fachabteilung für Prozessmanagement geführt.

Unternehmen D stimmt zu, dass der Fokus zu sehr auf der Produktseite liegt und hat bereits Maßnahmen durch Anpassung in der Organisation ergriffen. Durch eine bessere Abstimmung aller beteiligten Bereiche, sowie durch die vermehrte Nutzung sog. „Quality Gates“ soll der Fokus auf die Prozesse gerichtet werden. Quality Gates sind hier spezielle projektübergreifende Meilensteine, die eine Prüfung der Endergebnistypen der Vorphase beinhalten.

Frage 6

Wie bewerten Sie produktseitige Möglichkeiten, um die innere Varianz zu reduzieren? (Funktions- und Variantensicht)

(0) nicht geeignet - (9) sehr gut geeignet

Unternehmen A führt in der frühen Phase einer Produktentstehung, bzw. -änderung im Lastenheft eine Produktprogrammereinigung durch und legt prinzipiell Wert auf eine variantengerechte Produktgestaltung. Es werden Baureihen mit modularer Gestaltung verwendet und die Module werden auch baureihenübergreifend eingesetzt. Ziel ist es, das „Risiko“ jeweils im Modul zu konzentrieren und abzugrenzen, so dass bei Problemen nur das Modul, nicht aber das gesamte Produkt überarbeitet werden muss.

Unternehmen B betreibt rechnerunterstützte variantengerechte Produktgestaltung und führt Produktprogrammereinigungen durch. Besonders die Reduzierung von Produktvarianten durch vorgegebene Abstufungen, also dass nicht alle Zwischengrößen im Produktportfolio berücksichtigt werden, ergab signifikante Einsparungen. Darüber hinaus verwendet Un-

ternehmen B modulare und Baukasten-Systeme, sowie neben Baureihen auch Plattformbauweisen. Die einzelnen Strukturierungen können sich hier auch überschneiden, bzw. werden kombiniert eingesetzt.

Unternehmen C bewertet für deren Rahmenbedingungen den Einsatz von modularen Systemen prinzipiell als geeignet (6). Dies sei allerdings durch die große Kundenorientierung nicht immer anwendbar, da es sich in der Regel um Auftrags- und Einzelfertigungen handelt.

Unternehmen D bewertet insbesondere Baureihen als gut geeignet (8) um die innere Varianz zu begrenzen. Plattformbauweisen, modulare Systeme und Baukastensysteme sind geeignet (6). Eine Produktprogrammvereinigung wird bei Unternehmen D als eher ungeeignet (1) beurteilt.

Frage 7

Wie bewerten Sie prozessbasierte Strategien zur Beherrschung der Variantenvielfalt? (Fertigungs- und Montagesicht)

(0) nicht geeignet - (9) sehr gut geeignet

Unternehmen A betreibt die Variantenbildung in der Produktion so spät wie möglich (Postponement). So werden z.B. fertigungstechnische Aufgaben bis in die Montage aufgeschoben. Sollte dies nicht möglich sein, durchlaufen Varianten möglichst die gleichen Prozesse (Prozesskommunalität). Varianten werden bei Unternehmen A auch rein softwareseitig erzeugt. Für die Zukunft ist angedacht, dem Kunden eine softwareseitige Varianten(um)bildung auch nach dem Kauf und der Auslieferung des Produktes anzubieten.

In Unternehmen B gibt es keine einheitliche Abstufung und genaue Abgrenzung des Begriffes „Variante“, so dass es sich mitunter auch um unterschiedliche Produkte handeln kann. Es wird eine getaktete Fertigung angewandt, bei der prinzipiell alle Varianten über eine Fertigungslinie laufen. Nur „extreme“ Varianten werden auf einer eigenen Fertigungslinie hergestellt. Innerhalb der Prozesskommunalität wird Postponement angestrebt und viele Varianten werden ebenfalls nur über die Software erzeugt.

Unternehmen C bewertet die Prozesskommunalität, bei der Varianten von Beginn an die gleichen Prozesse durchlaufen, als geeignet (4). Da ein Kunde bei diesem Unternehmen lange vor der Konstruktion, Fertigung und Auslieferung das Produkt erwirbt und in der Regel selbst genaue Vorgaben hinsichtlich der Herstellverfahren und Prozesse macht, ist Postponement bei Unternehmen C größtenteils nicht möglich (0).

Bei Unternehmen D erfolgt der Kauf des Produktes ebenfalls weit vor der Produktion, so dass eine Postponement-Strategie als ungeeignet (0) bewertet wurde. Grund sind ebenfalls die kundenspezifischen Vorgaben hinsichtlich der Produktvarianten und Prozesse. Es wird die frühe Variantenbildung (8) und die Prozesskommunalität (7) als für dieses Unternehmen gut geeignet angegeben.

Frage 8

Wie berücksichtigen Sie Varianten in der Arbeitsablaufplanung? Welche Informationen werden zwischen Arbeitsplanung und Konstruktion ausgetauscht? In welchen der ggf. von der Arbeitsplanung beeinflussten Konstruktionsphasen werden Varianten berücksichtigt?

Unternehmen A ermittelt die erforderlichen Prozesse in der Produktion anhand von Checklisten, bei der Eckpunkte abgearbeitet werden. Es kommt zu Problemen, wenn notwendige Informationen z.B. hinsichtlich der Anforderungen an das Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht vorliegen, bzw. nicht eindeutig definiert sind. Der Faktor Zeit spielt hier eine entscheidende Rolle. Varianten werden bereits in der Konzeptphase einer Produktentstehung berücksichtigt, allerdings „nicht zu 100 Prozent“.

Unternehmen B berücksichtigt Varianten in der Produktentstehung ebenfalls möglichst früh. Die Fertigung bei Unternehmen B ist größtenteils taktgebunden. Es findet eine Konstruktionsberatung seitens der Produktion statt, mit dem Ziel „nicht gewollte“ Variationen auszusortieren. Varianten werden insbesondere ab dem Zeitpunkt in der Arbeitsablaufplanung bedacht, wenn die Produktvarianten seitens der Konstruktion genau definiert sind, Bis dahin werden prozessseitig Kapazitäten freigehalten, die dann im weiteren Verlauf „aufgefüllt“ werden, bzw. es werden sog. „Optionstakte“ für Varianten gesetzt.

Bei Unternehmen C wird zunächst immer ein Standardprozess generiert, aus dem dann Varianten abgeleitet werden. Zwischen Arbeitsplanung und Konstruktion werden in erster Linie Termine festgelegt, zu wann welche Dokumente vorliegen müssen, da die Konstruktion und die Fertigung bei Unternehmen C parallel ablaufen (Concurrent Engineering).

Unternehmen D passt generell die erforderlichen Prozesse den Produkten an („vom Produkt kommend“) und es findet eine Konstruktionsberatung statt. An Informationen werden insb. Fehler und Beanstandungen aus der Fertigung an die Konstruktion herangetragen. Unternehmen E hat die Produktentstehung in drei Phasen geteilt: 1. Grundlagen, 2. Definitionen, 3. Realisierung. Varianten werden momentan ab Phase 2 (Definitionen) berücksichtigt. Es werden zwischen Arbeitsplanung und Konstruktion Produkt- und Prozessrelevante Parameter (Länge, Breite, Höhe), Toleranzbereiche, kritische Erfolgsfaktoren, kritische Bauteile und Informationen zu evtl. Zukauf teilen (Outsourcing) ausgetauscht. Es wird dann eine Entscheidung hinsichtlich „make or buy“ getroffen.

Bei Unternehmen E ist die unterschiedliche Gesetzeslage in den Märkten ein wesentlicher Treiber für Varianten, so dass eine sehr früh zeitige Integrierung aller Anforderungen hinsichtlich landestypischer Gesetze angestrebt wird. Dies geschieht durch Auswahl und Berücksichtigung der Kernteammitglieder und deren Rolle für die Wahrnehmung aller produktrelevanten Anforderungen in den Ländern. Dies geschieht mindestens in Phase 2, teilweise schon in der 1. Phase (Grundlagen).

Frage 9

Wie ermitteln Sie ganz allgemein den Ist-Zustand in der Produktion?

Unternehmen C führt im Rahmen von laufender Prozessoptimierung Workshops mit am Prozess beteiligten Personen durch. Darüber hinaus wird der Ist-Zustand durch Beobachtung und Befragung aufgenommen.

Unternehmen D hat eine rechnergestützte Echtzeit Dokumentation der Ist-Zustände mit SAP integriert. Es werden Daten zur Qualität, Terminen und Kosten aufgenommen.

Unternehmen E dokumentiert rechnerunterstützt permanent und systematisch den Ist-Zustand hinsichtlich des Mengengerüsts und der Qualität. Varianten werden nicht einzeln berücksichtigt. Betriebswirtschaftliche Daten werden vom Controlling u.a. per Kennzahlen berücksichtigt.

Frage 10

Wie würden Sie Methoden bewerten zur Aufnahme insbesondere von Varianten?

(0) nicht geeignet - (9) sehr gut geeignet

Bei Unternehmen C dauern Prozesse über einen sehr langen Zeitraum, weswegen die Aufnahme von Varianten durch Beobachtung als weniger gut geeignet (3) bewertet wurde. Aufnahme durch Befragung (7) ist gut geeignet. Die vorhandene Prozessdarstellung entspricht der Dokumentation nach DIN ISO 9000ff und dem Soll-Prozess. (Soll=Ist)

Unternehmen D bewertet hingegen die Aufnahme durch Beobachtung als gut geeignet (7). Die Aufnahme durch Befragung (4) und durch Workshops aller am Prozess beteiligten Personen (3) wird als weniger geeignet bewertet, da hier subjektive Eindrücke der Mitarbeiter zu Verfälschungen in der Dokumentation des tatsächlichen Zustandes führen können. Rechnerunterstützte Dokumentation mit z.B. SAP wird als gut geeignet (7) bewertet. Es werden zudem immer wieder auftretende Probleme besonders dokumentiert und als gut geeignet (7) auch zur Aufnahme von Varianten bewertet.

Unternehmen E bewertet die Aufnahme durch Befragung (6) und Beobachtung (7) als geeignet. Die Aufnahme durch Workshops ist bei Unternehmen E weniger geeignet (3), da die Durchführbarkeit durch die hohe Personenanzahl eher unrealistisch ist.

Frage 11

Wie würden Sie die Relevanz möglicher Anforderungen an eine Aufnahme in Bezug auf die Variantenvielfalt bewerten?

(0) unwichtig - (9) sehr wichtig

Für Unternehmen C wird ein „hoher Detaillierungsgrad“ bei der Aufnahme von Varianten mit (5) bewertet. In der Praxis wird der Detaillierungsgrad bei der Aufnahme dort signifikant erhöht, wo Probleme auftreten. Fragmente des Ist-Modells sollen möglichst 1:1 in ein Soll-Modell übertragbar sein (6) und es wäre wünschenswert, wenn aus der Ist-Aufnahme allgemeine Modellierungsrichtlinien hervorgehen (5) würden. Sehr wichtig ist die Anforderung, dass die Aufnahme in der Praxis gut durchführbar (8) sein muss, ebenso wie die Aktualität (7) der Aufnahme. Der Nutzen der Ist-Modellierung in Relation zum Aufwand ist sehr wichtig (8). Die

Identifizierung und Dokumentation von Schwachstellen und Problembereichen stellt für Unternehmen C einen Kerngedanken (9) bei der Aufnahme von Prozessen dar. Die grundsätzliche Erhebung des Mengen- und Zeitgerüsts der Prozesse wird im Zusammenhang mit Varianten als weniger wichtig (2) erachtet. Prozesse werden bei Unternehmen C nicht in Kern- und Unterstützungsprozesse unterschieden, so dass die Information, ob der aufgenommene Prozess in Zukunft ein Kernprozess sein wird, als unwichtig (0) bewertet wurde. Die Angabe des prozessverantwortlichen Funktionsträgers ist sehr wichtig (5). Angaben zur Kostenintensität von Prozessen hinsichtlich der Varianten wird als weniger wichtig (2) erachtet, da diese Aufgabe bereits vom Controlling wahrgenommen wird. Die Einschätzung der Prozessbeteiligten, ob struktureller Reorganisationsbedarf besteht, wird bei der Dokumentation von Schwachstellen mit berücksichtigt (7). Informationen zur Varianz der Durchlaufmengen und -zeiten wird bei Unternehmen C aufgrund der teilweise sehr langen Prozessdurchlaufzeiten als weniger wichtig (2) bewertet. Die Erhebung und Definition von Fachbegriffen wird mit (6) bewertet.

Unternehmen D erachtet einen „hohen Detaillierungsgrad“ bei der Aufnahme von Prozessen unter Berücksichtigung der Vielfalt als wichtig (7). Es wäre wünschenswert, wenn Fragmente des Ist-Modells 1:1 in das Soll-Modell übertragbar (5), sowie als allgemeine Modellierungsrichtlinien (5) anwendbar wären. In der Praxis wird dies nicht ausreichend berücksichtigt. Sehr hoch (9) wird allgemein die Durchführbarkeit in der Praxis bewertet, sowie die Aktualität (9) der Aufnahme. Der Nutzen der Ist-Modellierung in Relation zum Aufwand wird zwar als überwiegend wichtig (4) bewertet, der hohe Aufwand einer systematischen Ist-Aufnahme lohnt aber durchaus. Die Identifizierung von Schwachstellen ist sehr wichtig (9) und bei Unternehmen D wird die Aufnahme des Mengen- und Zeitgerüsts im Zusammenhang mit Varianten ebenfalls als sehr wichtig (9) bewertet. Inwiefern der aufgenommene Prozess ein Kernprozess ist, wird mit (6) bewertet. Die Angabe der prozessverantwortlichen Organisationseinheit ist sehr wichtig (5), ebenso wie eine Angabe über die Prozessfehlerhäufigkeit (9) und die Kostenintensität des Prozesses (8). Die Aufnahme von Einschätzungen der Prozessbeteiligten hinsichtlich einer Reorganisation wäre wünschenswert (6). Informationen zur Varianz der Durchlaufmengen und -zeiten, bzw. allgemein zur Dynamik sind insbesondere zur besseren Kosten- und Kapazitätsplanung nützlich (7). Eine Erhebung der Fachbegriffe ist wichtig (7), um eine einheitliche Terminologie für die Ist-Modellierung vorgeben zu können. Unternehmen E bewertet insbesondere die Identifizierung und Dokumentation von Schwachstellen (9), sowie die Angabe über die Prozessfehlerhäufigkeit (g) als sehr wichtig. Bei der Erhebung und Definition der Fachbegriffe, insbesondere die Titulierung einzelner Prozessinhalte wird die Relevanz ebenfalls als sehr hoch (9) bewertet, der aktuelle Stand im Unternehmen hinsichtlich konkreter Maßnahmen ist niedriger (6). Die Dokumentation von Schnittstellen, bes. Verantwortlichkeiten werden ebenfalls als sehr wichtig (9) in Bezug auf die Variantenvielfalt bewertet. Dass Fragmente des Ist-Modells in ein Soll-Modell übertragbar sein sollen (7), die Durchführbarkeit in der Praxis (8), der Nutzen der Ist-Modellierung in Relation zum Aufwand (8), die Angabe über die Kostenintensität (8) und die Einschätzungen der Prozessbeteiligten hinsichtlich Reorganisationsbedarfe werden als überwiegend wichtig bewertet. Als weniger wichtig im Zusammenhang mit der Variantenvielfalt wird die Aktualität (3), die Erhebung des Mengen- und Zeitgerüsts der Prozesse (4) und die Anforderung,

dass aus der Ist-Aufnahme allgemeine Modellierungsrichtlinien hervorgehen sollen (4) bewertet. Die Information, ob ein Prozess ein Kernprozess ist, wird als überwiegend wichtig (7) bewertet, da anhand dieses Kriteriums Entscheidungen bzgl. „make or buy“ getroffen werden. Die Information zur Varianz der Durchlaufmengen und -zeiten (4) wird aktuell nicht erhoben, ist nach Einschätzung des Gesprächspartners aber vermutlich sehr wichtig im Umgang mit Variantenvielfalt.

Frage 12

Können Sie weitere Anforderungen an eine Ist-Aufnahme angeben, insbesondere bei der Betrachtung der Variantenvielfalt?

Unternehmen C würde eine Zuordnung der Prozessvarianten zu dem jeweiligen Kunden als geeignet ansehen, da in der Branche des Unternehmens der Kunde oftmals Anforderungen auch an den Prozess stellt.

Unternehmen D würde eine Information bzgl. der Beziehungen von Varianten untereinander als sinnvoll erachten, insbesondere der Bezug „alte Variante“ zu „neue Variante“ wäre interessant.

Frage 13

Welche Probleme tauchen bei Ihnen bei der Ist-Aufnahme von Prozessen auf, insbesondere im Zusammenhang mit Varianten und wo sehen Sie Verbesserungspotential?

Unternehmen A beschreibt Probleme bei der Aufnahme hinsichtlich der Prozesskostenrechnung jedem Bauteil den Prozess zuzuordnen zu können. Es ist schwierig zu jeder Funktion den entsprechenden Kostentreiber zu markieren. Allgemein wird es bei der Aufnahme von Prozessen dann problematisch, wenn zu sehr ins Detail gegangen wird.

Unternehmen C erkennt bei der dort weit verbreiteten Aufnahmemethode Befragung/ Workshop das Problem, dass einige Informationen sehr subjektiv sind. Eine Terminfindungsproblematik taucht bei einer hohen Zahl von Teilnehmern auf und Informationen dringen nicht in aus der untersten Ebene zu allen Funktionsträgern vor und umgekehrt. Aktualität und allgemeine Akzeptanz werden ebenfalls als problematisch erachtet.

Unternehmen D gibt an, dass es schwierig ist die vielen Bauteile zu unterscheiden. Der „ Faktor Mensch“ bei manuellen Tätigkeiten, bzw. . al les was nicht automatisch erledigt werden kann, birgt Probleme.

Frage 14

Aus welcher Richtung kommen die sog. Treiber für neue Varianten?

Unternehmen A antwortet, dass Treiber für neue Varianten externer Natur sind und „vom Produkt“ kommen. Gesetzliche Vorgaben spielen eine große Rolle. Nur zum Teil ist z.B. ein Variantenmanagementsystem „vom Prozess“ kommend für neue Varianten verantwortlich.

Unternehmen B sieht Treiber in erster Linie „vom Produkt“ kommend.

Unternehmen C gibt an, dass Treiber für neue Varianten in erster Linie vom Kunden kommen, da es sich bei Unternehmen C um Einzelfertigung mit einer engen Kundenbetreuung handelt.

Unternehmen D macht Treiber für neue Varianten „vom Produkt kommend“ aus.

Frage 15

Welche Maßnahmen ergreifen Sie, um nicht in die sog. Komplexitätsfalle zu geraten?

Unternehmen A stellt sich bei jeder Neukonstruktion einer Variante die Frage, ob der Kunde bereit ist dafür zu bezahlen. Neben einer systematischen Aufnahme von Prozessen findet die Variantenvielfalt Berücksichtigung in der Produktionsplanung und -steuerung. Es wird eine Kostenrechnung, bzw. Controlling betrieben. Um Komplexität zu verringern wird prinzipiell eine späte Variantenbildung verfolgt.

Unternehmen B berücksichtigt die Variantenvielfalt in der Produktionsplanung und -steuerung, Kennzahlen werden eher nicht angewandt.

Unternehmen C verwendet Kennzahlen im Controlling, ansonsten „learning by doing“. Das Problem bei Unternehmen C ist, dass weit vor der Fertigung (und tlw. Konstruktion) ein Preis für das Produkt geschätzt werden muss.

Unternehmen D berücksichtigt die Variantenvielfalt in der Produktionsplanung und -steuerung.

C. Leitfaden zur Erfassung der produktvarianteninduzierten Komplexität

Aufnahme des Auftragsabwicklungsprozess aus Sicht des Vertriebs

1	Welche Arbeitsschritte werden zur Abwicklung des Kundenauftrags durchgeführt?
2	Wie unterscheiden sich die Arbeitsschritte von MTO und CTO-Produkten?
3	Wann wird die Ware direkt vom Hub an den Kunden geliefert? In welchen Fällen erfolgt die Lieferung über die Vertriebsgesellschaft?
4	Wie erfolgt die Rechnungsstellung an den Kunden? Wie funktioniert die interne Abrechnung mit dem Hub beziehungsweise der Produktionsstandorte?
5	Wie wird sichergestellt, dass alle Anforderungen aufgenommen sind?
6	Wie werden die Kundenwünsche ins Produkt überführt? Wie wird die Entscheidung über den Produktionsansatz (ETO, MTO, CTO, MTS) getroffen?
7	Was geschieht, wenn Kundenwünsche nicht erfüllt werden können?
Hilfsmittel: Prozess-Diagramm	

Auftretende Schwierigkeiten in der Auftragsabwicklung

8 Welche Schwierigkeiten treten bei der Auftragsabwicklung auf?

9 Welche Ursache haben diese Schwierigkeiten?

10 Wie werden diese Schwierigkeiten überwunden?

11 Können Sie häufige Kundenanforderungen in die Entwicklung von zukünftigen Produkten einfließen lassen?

Hilfsmittel: Plakat Schwierigkeiten und Handlungsfelder

Handlungsfelder

12 Was müsste Ihrer Meinung nach im Auftragsabwicklungsprozess verbessert werden, damit Produkte zukünftig effizienter vertrieben werden können?

13 Welche Handlungsfelder sehen Sie im Rahmen des Projekts Design for Value Chain?

Hilfsmittel: Plakat Schwierigkeiten und Handlungsfelder

D. Erweiterte Vielfaltsbäume der Mehrgasmessgeräte-Produktfamilie

E1 Erweiterter Vielfaltsbaum der existierenden Mehrgasmessgerät-Produktfamilie

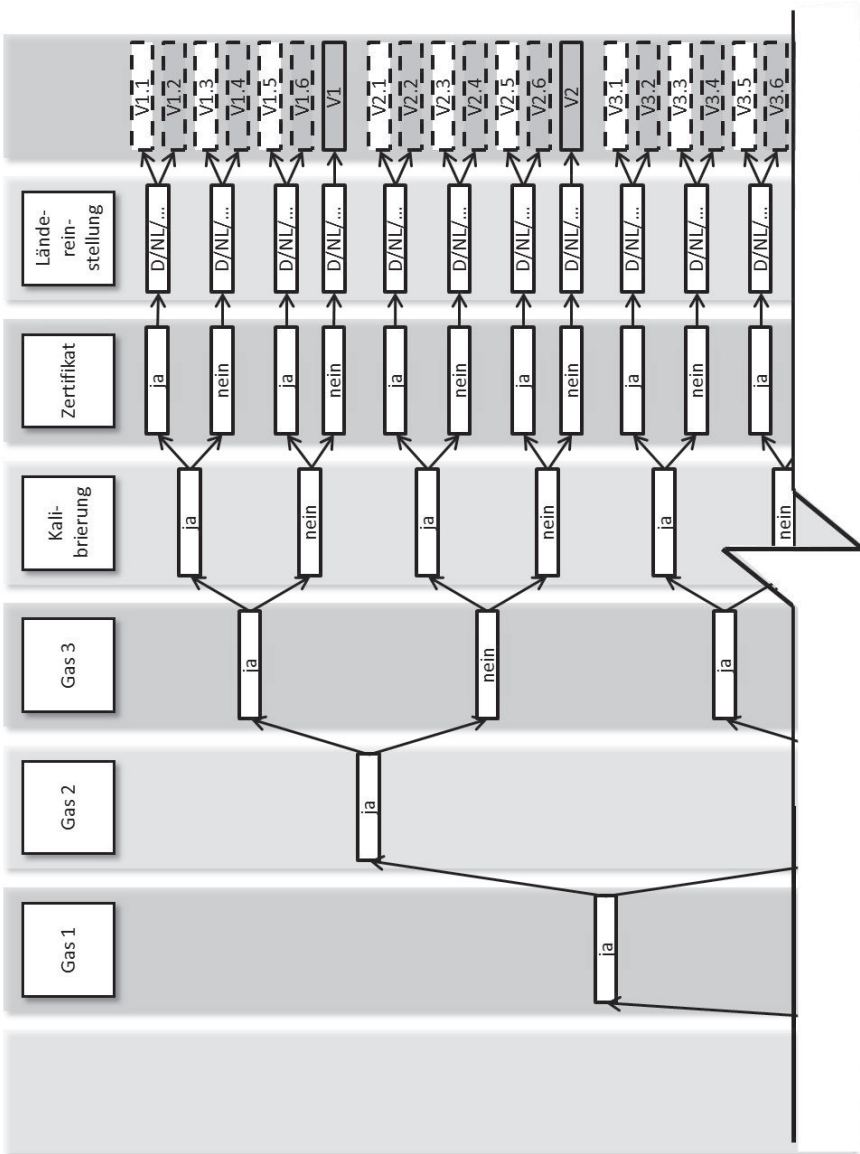


Bild 8.1 Erweiterter Vielfaltsbaum der existierenden Mehrgasmessgerät-Produktfamilie 1/4

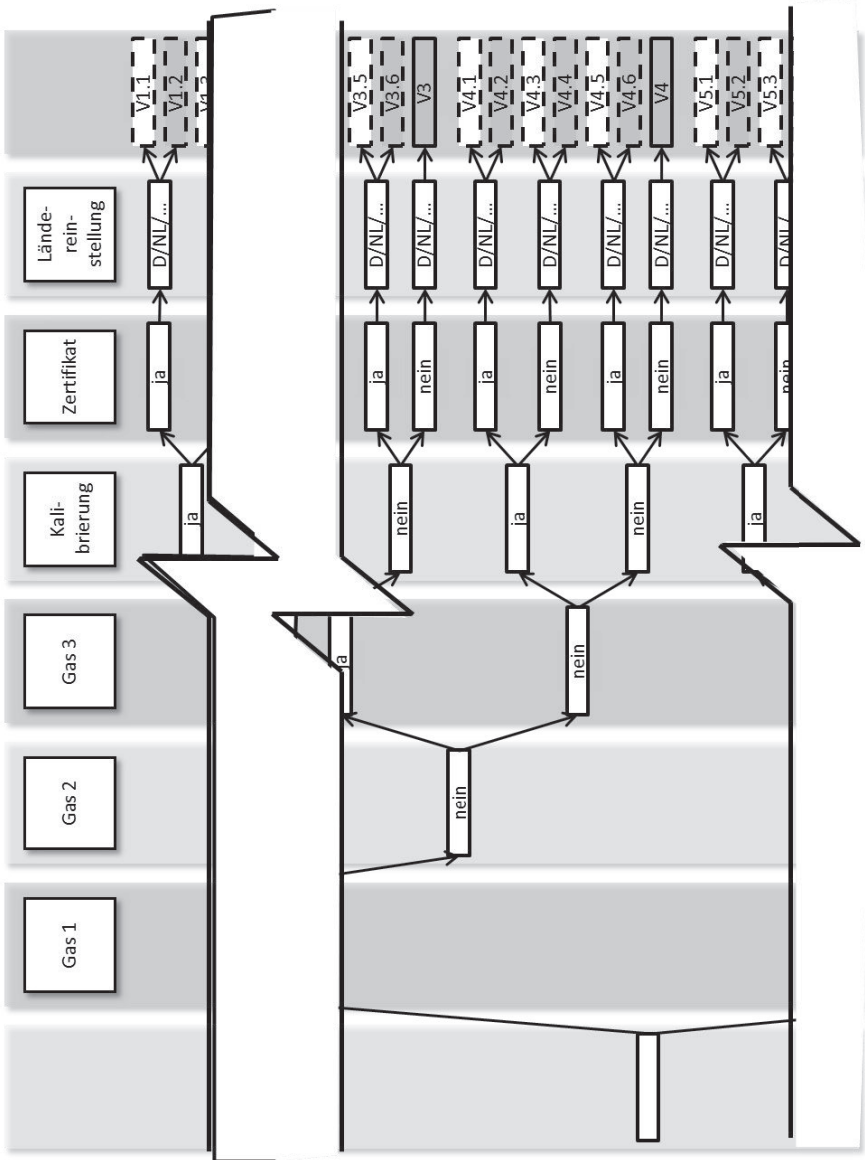


Bild 8.2 Erweiterter Vielfaltsbaum der existierenden Mehrgasmessgerät-Produktfamilie 2/4

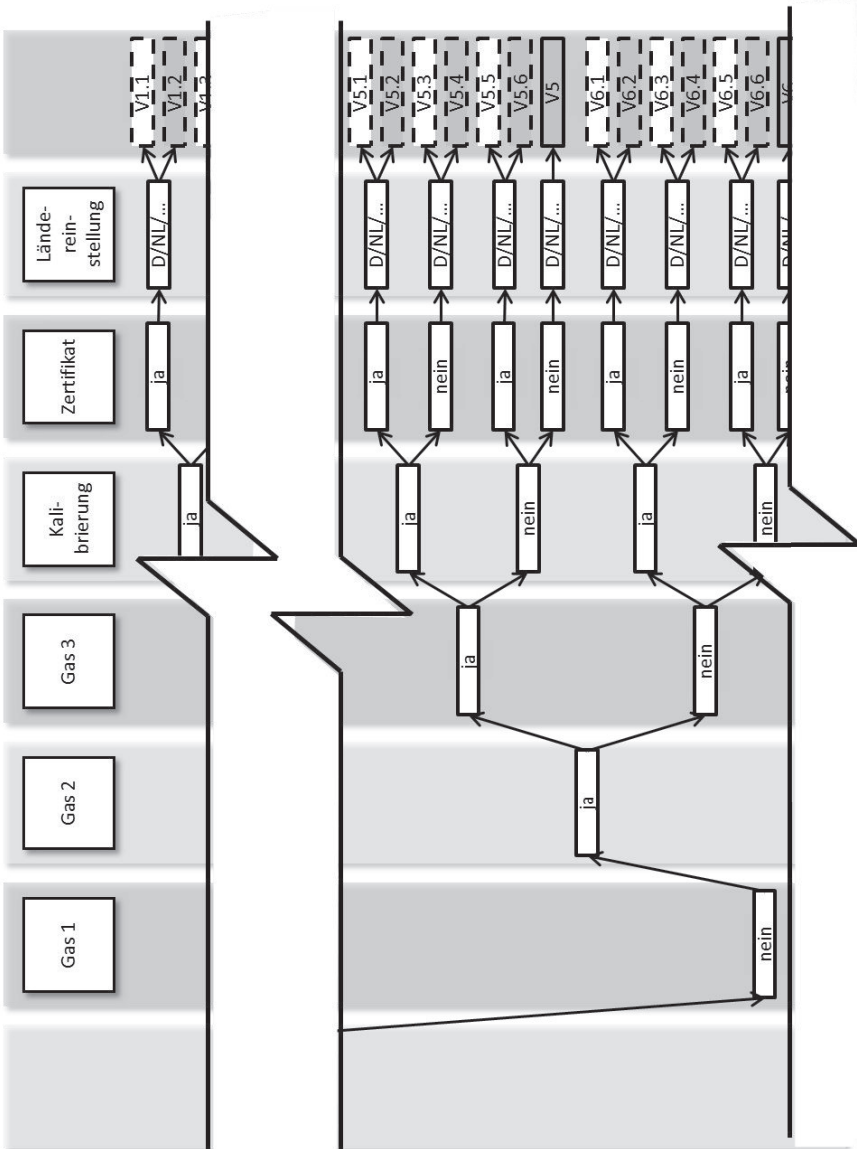


Bild 8.3 Erweiterter Vielfaltsbaum der existierenden Mehrgasmessgerät-Produktfamilie 3/4

E2 Erweiterter Vielfaltsbaum der geplanten Mehrgasmessgerät-Produktfamilie

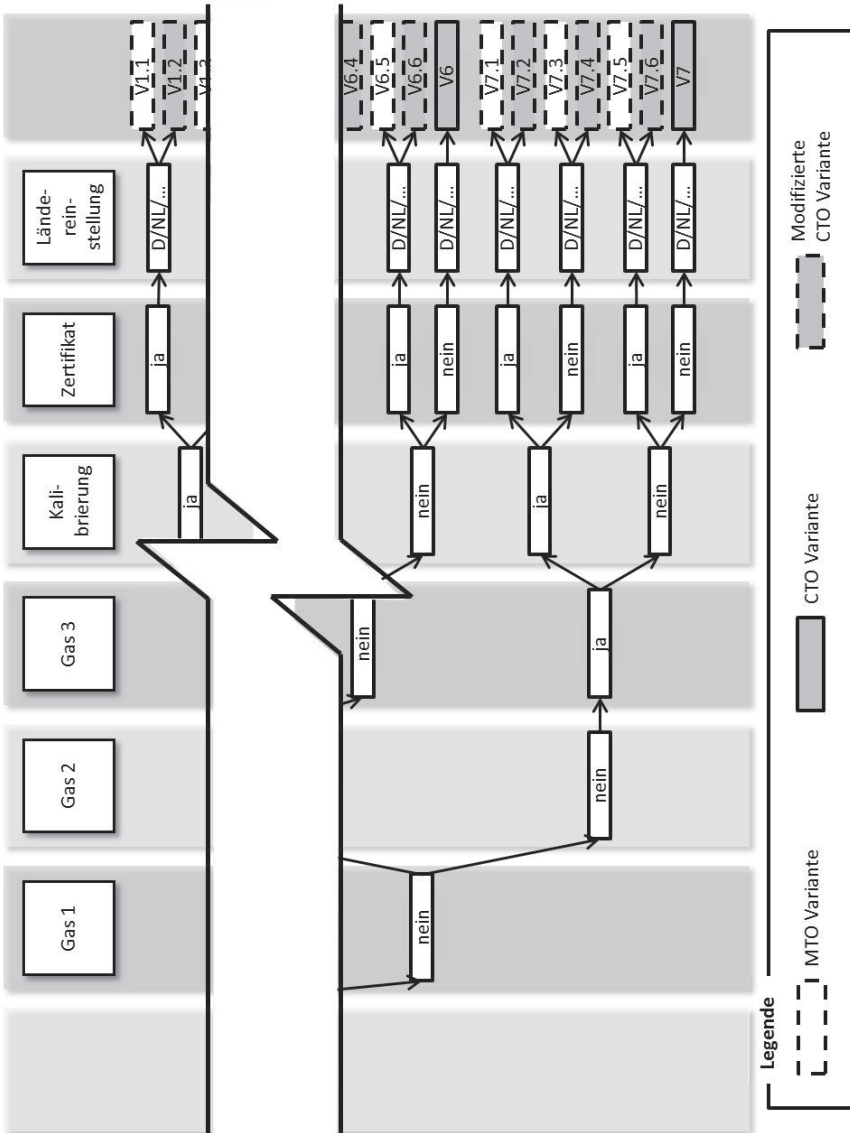


Bild 8.5 Erweiterter Vielfaltsbaum der geplanten Mehrgasmessgerät-Produktfamilie 1/4

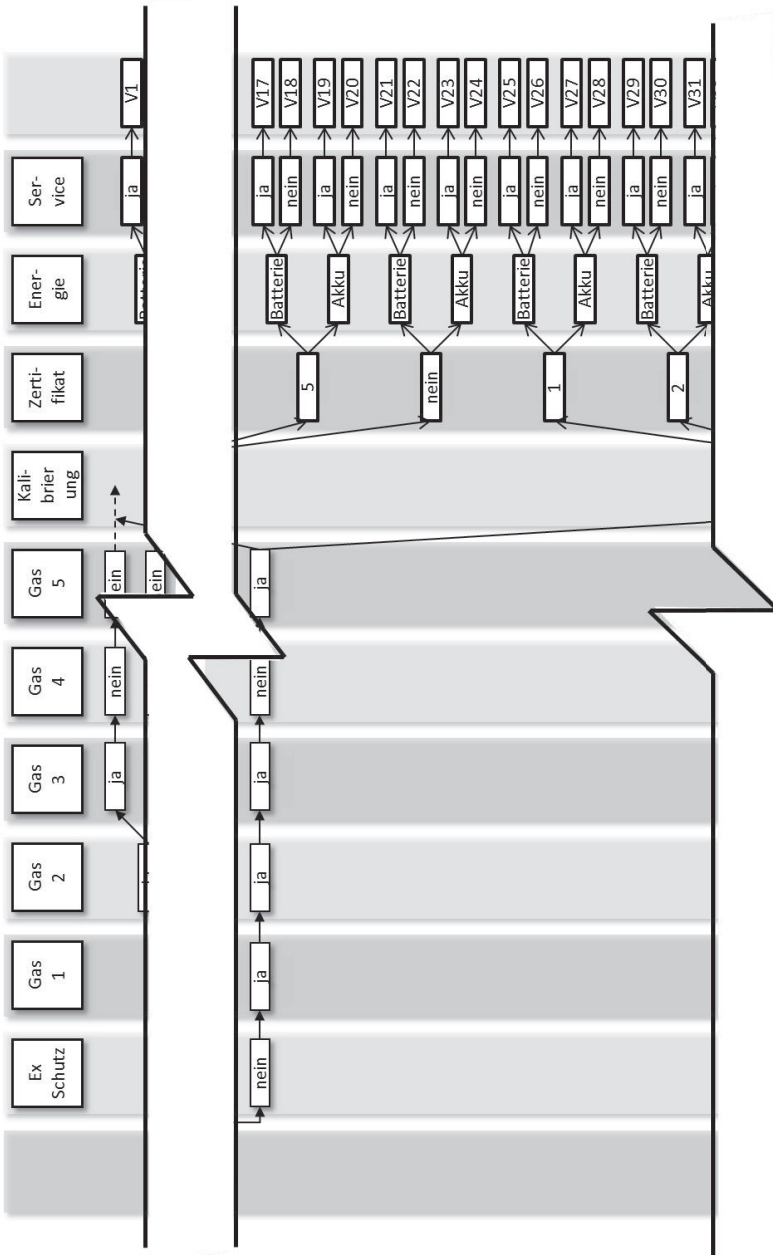


Bild 8.7 Erweiterter Vielfaltsbaum der geplanten Mehrgasmessgerät-Produktfamilie 3/4

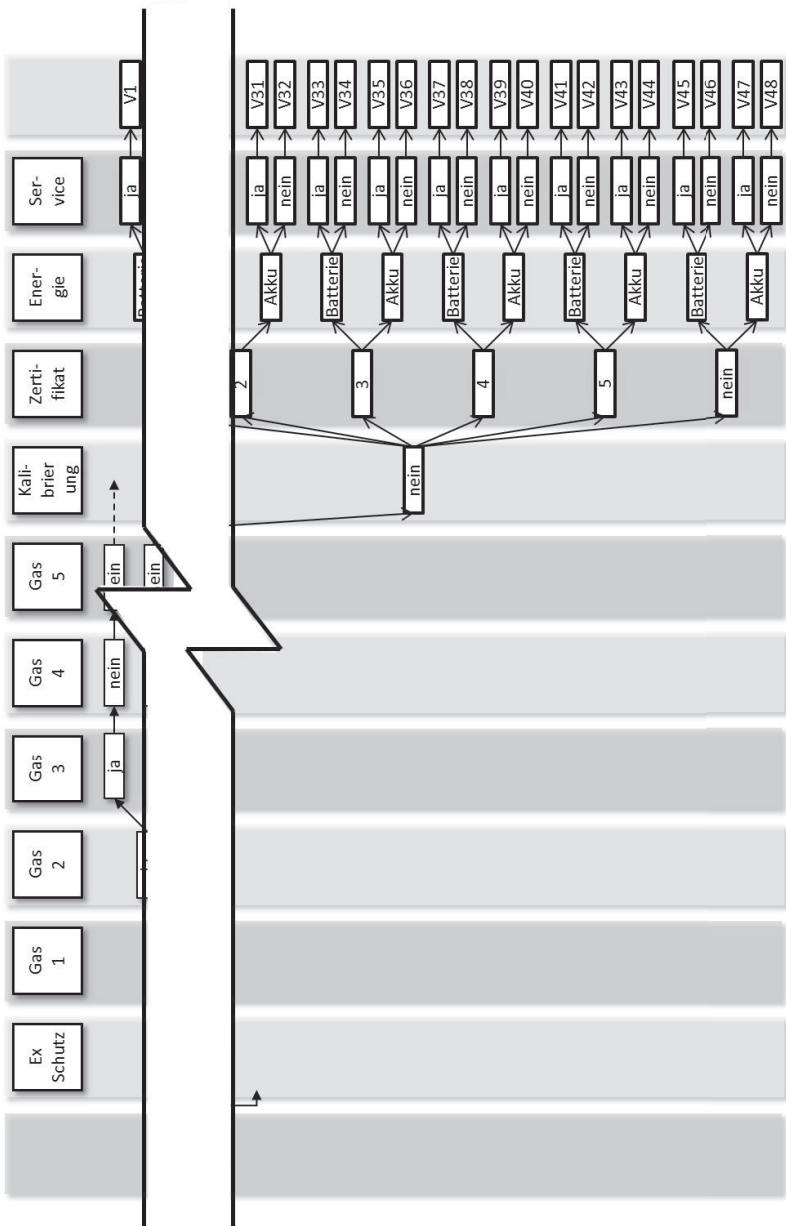


Bild 8.8 Erweiterter Vielfaltsbaum der geplanten Mehrgasmessgerät-Produktfamilie 4/4

E. Bewertungsspinnennetz

F1 Bewertung des Ist-Zustandes

Die Betriebsanleitungen in Landessprache werden bereits am Produktionsstandort beigelegt.

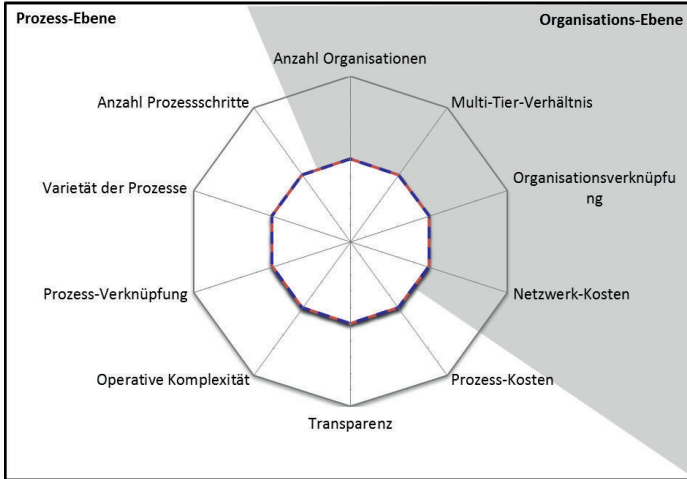


Bild 8.9 Bewertungsspinnennetz des Ist-Zustandes

F2 Bewertung des Konzept 1

Die Hubs werden dazu befähigt die Betriebsanleitungen in Landessprache auszudrucken und den Mehrgasmessgeräten beizulegen.

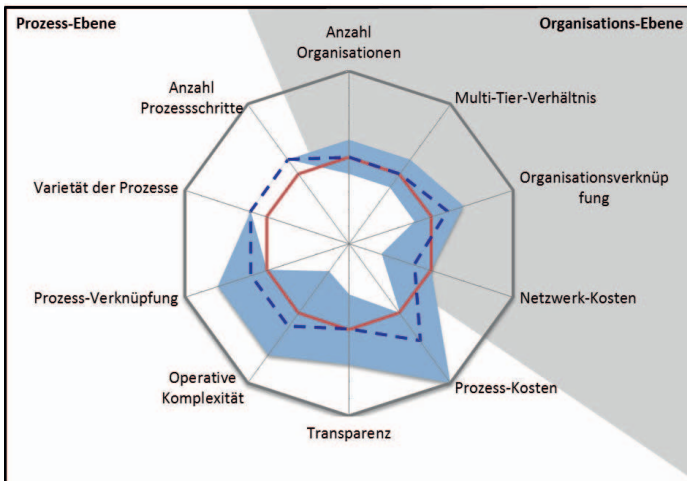


Bild 8.10 Bewertungsspinnennetz des Konzepts 1

F3 Bewertung des Konzept 2

Die Verpackung wird so geändert, dass die Dokumente in den Hubs beigelegt werden können, ohne die Verpackung erneut öffnen zu müssen.

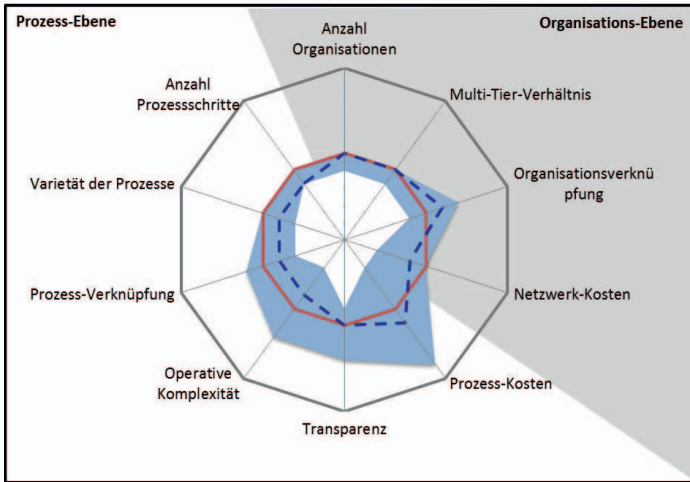


Bild 8.11 Bewertungsspinnennetz des Konzept 2

F4 Bewertung des Konzept 3

Die Beigabe der Betriebsanleitungen in Landessprache wird an einen externen Dienstleister vergeben.

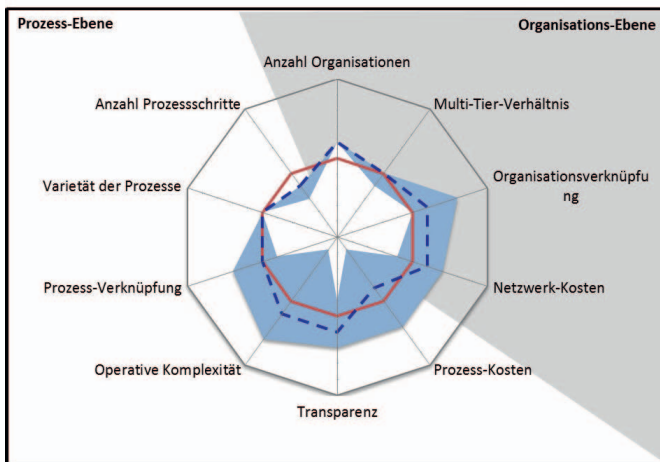


Bild 8.12 Bewertungsspinnennetz des Konzept 3

Literatur

- [Abd08] Abdelkafi, N.: „Variety-induced complexity in mass customization“, Dissertation. Erich Schmidt Verlag, Hamburg, 2008.
- [Aka04] Akao, Y.: „Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design“, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 2004.
- [And09] Andreasen, M. M.: „Complexity of Industrial Practice and Design Research Contributions: We Need Consolidation“, Design for X, Beiträge zum 20. Symposium, Erlangen, 2009; S. 1–9.
- [App04] Appelqvist, P.; Lehtonen, J.; Kokkonen, J.: „Modelling in product and supply chain design: literature survey and case study“, In Journal of manufacturing technology management, 2004, 15; S. 675–686.
- [App11] Appelfeller, W.; Buchholz, W.: „Supplier Relationship Management: Strategie, Organisation und IT des modernen Beschaffungsmanagements“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2011.
- [Ash85] Ashby, W. R.: „Einführung in die Kybernetik: An introduction to cybernetics“, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1985.
- [Bal01] Ballou, R. H.: „Unresolved issues in supply chain network design“, In Information Systems Frontiers, 3, 2001.
- [Bec04] Beckmann, H.: „Supply Chain Management: Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen“, Springer Verlag, Berlin, 2004.
- [Bec08a] Becker, T.: „Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren“, Springer Verlag, Berlin, 2008.
- [Bec08b] Becker, J.: „Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung“, Springer Verlag, Berlin, 2008.
- [Bec09] Becker, J.; Mathas, C.; Winkelmann, A.; Günther, O.: „Geschäftsprozessmanagement“, Springer Verlag, Berlin, 2009.
- [Ber73] Bertalanffy, L. von: „General system theory: Foundations, development, applications“, Penguin Books, Harmondsworth, 1973.
- [Ble04] Blecker, T.; Abdelkafi, N.; Kaluza, B.; Kreutler, G.: „Mass Customization vs. Complexity: A Gordian Knot?“, 2nd International Conference An Enterprise Odyssey: Building Competitive Advantage, Zagreb, Kroatien, 2004; S. 890–903.

- [Ble09] Blessing, L. T.; Chakrabarti, A.: „DRM, a Design Research Methodology“, Springer Verlag, London, 2009.
- [Ble10] Blees, C.; Kipp, T.; Beckmann, G.; Krause, D.: „Development of Modular Product Families: Integration of Design for Variety and Modularization“, Proceedings of norddesign, Göteborg, Schweden, 2010; S. 159 - 168.
- [Ble11] Blees, C.: „Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“, Dissertation. TuTech Verlag, Hamburg, 2011.
- [Blü98] Bliss, C.: „Management von Komplexität“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998.
- [Blo10] Blockus, M. O.: „Komplexität in Dienstleistungsunternehmen: Komplexitätsformen, Kosten- und Nutzenwirkungen, empirische Befunde und Managementimplikationen“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010.
- [Boo07] Boone, C.; Craighead, C.; Hanna, J.: „Postponement: an evolving supply chain concept“, In International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 37, 2007; S. 594–611.
- [Bre08] Bretzke, W.-R.: „Logistische Netzwerke“, Springer Verlag, Berlin, 2008.
- [Bro10] Brosch, M.; Krause, D.: „Beherrschung der durch Produktvielfalt induzierten Prozessvielfalt“, Design for X, Beiträge zum 21. DfX-Symposium, Hamburg, 2010; S. 193–205.
- [Bro11a] Brosch, M.; Beckmann, G.; Griesbach M.; Krause, D.; Dalhöfer, J.: „Design for Value Chain: Handlungsfelder zur ganzheitlichen Komplexitätsbeherrschung“, Design for X. Beiträge zum 22. DFX Symposium, Tutzing, 2011.
- [Bro11b] Brosch, M.; Beckmann, G.; Griesbach, M.; Dalhöfer, J.; Krause, D.: „Design for Value Chain: Ausrichtung des Komplexitätsmanagements auf globale Wertschöpfungsketten“, In ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fertigungsbetrieb, 106, 2011; S. 855–860.
- [Bro11c] Brosch, M.; Beckmann, G.; Krause, D.: „Approach to Visualize the Supply Chain Complexity Induced by Product Variety“, Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, Kopenhagen, Dänemark, 2011; S. 249–258.
- [Bro11d] Brosch, M.; Krause, D.: „Complexity from the Perspective of the Design for Supply Chain Requirements“, GIC-PRODESC Proceedings, Mailand, Italien, 2011.
- [Bro11e] Brosch, M.; Krause, D.: „Design for Supply Chain Requirements: An approach to detect the capabilities to postpone“, Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Washington DC, USA, 2011.
- [Bro12a] Brosch, M.; Beckmann, G.; Krause, D.: „Towards an Integration of Supply Chain Requirements into the Product Development Process“, Proceedings of the 12th International Design Conference, Dubrovnik, Kroatien, 2012; S. 23-32.
- [Bro12b] Brosch, M.; Beckmann, G.; Griesbach, M.; Dalhöfer, J.; Krause, D.: „Design for Value Chain: An Integration of Value Chain Requirements into the Product Development Process“, Proceedings of the 9th Norddesign Conference, Aalborg, Dänemark, 2012.

- [Bro12c] Brosch, M.; Beckmann, G.; Griesbach, M.; Dalhöfer, J.; Krause, D.: „Design for Value Chain: Towards an Evaluation of Global Value Chain Complexity“, In (Kersten, W.; Blecker, T.; Ringle, C. M. Hrsg.): *Managing the Future Supply Chain. Current Concepts and Solutions for Reliability and Robustness*, EULVerlag, 2012; S. 119–135.
- [Cae91] Caesar, C.: „Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte: Variant mode and effects analysis (VMEA)“, Dissertation. VDI Verlag, Düsseldorf, 1991.
- [Cho04] Chopra, S.; Meindl, P.: „Supply chain management: Strategy, planning, and operations“, Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2004.
- [Con95] Conenberg, A.; Prillmann, M.: „Erfolgswirkung der Variantenvielfalt und Variantenmanagement“, In *Journal Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 11, 1995; S. 1231–1253.
- [Coo88] Cooper, R.; Kaplan, R. S.: „Measure Costs Right: Make the Right decisions“, In *Harvard Business Review*. 1988, S. 96–103.
- [Cra01] Cramer, F.: „Chaos und Ordnung: Die komplexe Struktur des Lebendigen“, Insel Verlag, Frankfurt am Main, 2001.
- [Cri06] Crippa, R.; Bertacci, N.; Larghi, L.: „Representing and measuring flow complexity in the extended enterprise“, *Proceedings of the 6th international congress of logistics research*, Pontremoli, Italien, 2006.
- [Cro11] Crostack, H.-A.; Klute, S.; Refflinghaus, R.: „Holistic requirements management considering the degree of requirements' performance“, In *Total Quality Management & Business Excellence*, 22, 2011; S. 655–672.
- [Dal09] Dalhöfer, J.: „Komplexitätsbewertung indirekter Geschäftsprozesse“, Dissertation. Shaker Verlag, Hamburg, 2009.
- [Daw96] Dawkins, R.: „Der blinde Uhrmacher: Ein neues Plädoyer für den Darwinismus“, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1996.
- [Del06] Dellanoi, R.: „Kommunalitäten bei der Entwicklung variantenreicher Produktfamilien“, Dissertation, Difo-Druck GmbH, Bamberg, 2006.
- [DIN00] DIN 199: „Technische Produktdokumentation: Modelle, Zeichnungen und Stücklisten“, Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- [Ebe08] Ebert, C.: „Systematisches Requirements Engineering und Management: Anforderungen ermitteln, spezifizieren, analysieren und verwalten“, dpunkt Verlag, Heidelberg, 2008.
- [Ehr05] Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: „Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung“, Springer Verlag, Berlin, 2005.
- [Eil12] Eilmus, S.; Krause, D.: „An Approach for reducing Variety across Product Families“, *Proceedings of the 9th Norddesign Conference*, Aalborg, Dänemark, 2012.

- [Els12a] Elstner, S.; Krause, D.: „Towards an early consideration of ramp-up phase in the product development of complex products“, Proceedings of the 12th International Design Conference, Dubrovnik, Kroatien, 2012; S. 859–868.
- [Els12b] Elstner, S.; Krause, D.: „Methodical approach for an efficient transition from development to production“, Proceedings of the 9th Norddesign Conference, Aalborg, Dänemark, 2012.
- [Eri98] Erixon, G.: „Modular function deployment: A method for product modularisation“, Dissertation, Stockholm, 1998.
- [Eve93] Eversheim, W.; Kümper, R.: „Variantenmanagement durch ressourcenorientierte Produktbewertung“, In Kostenrechnungspraxis, 1993; S. 233–238.
- [Fei96] Feitzinger, E.; Lee, H. L.: „Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement“, In Harvard business review, 1996; S. 115–121.
- [Fin00] Fine, C.: „Clockspeed-based strategies for supply chain design“, In Production and Operations Management, 9, 2000; S. 213–221.
- [Fir03] Firchau, N. L.: „Variantenoptimierende Produktgestaltung“, Dissertation, Cuvillier Verlag, Göttingen, 2003.
- [Flo93] Flood, R. L.; Carson, E. R.: „Dealing with complexity: An introduction to the theory and application of systems science“, Plenum Press, New York, 1993.
- [Foe77] Von Foerster, H.: „The Curious Behavior of Complex Systems: Lessons from Biology“, In (Linstone, H. A.; Simmonds, W. H. C.; Bäckstrand, G. Hrsg.): Futures research. New directions. Addison-Wesley Pub., 1977; S. 104–113.
- [Fra01] Franke, H.-J.; Firchau, N. L.; Steinebrunner, E.: „Methodische Unterstützung für das Variantenmanagement“, In wt Werkstattstechnik online, 2001; S. 301–303.
- [Fra02] Franke, H.-J. Hrsg.: „Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung“, Hanser Verlag, München, 2002.
- [Fri95] Frizelle, G.; Woodcock, E.: „Measuring complexity as an aid to developing operational strategy“, In International Journal of Operations & Production Management, 15, 1995; S. 26–39.
- [Fri01] Frizelle, G.; Suhov, Y. M.: „An entropic measurement of queueing behaviour in a class of manufacturing operations“, In Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Vol. 457, 2001; S. 1579–1601.
- [Gad05] Gadatsch, A.; Knuppertz, T.; Schnägelberger, S.: „Geschäftsprozessmanagement: Umfrage zur aktuellen Situation in Deutschland, Österreich und der Schweiz“, Schriftenreihe des Fachbereiches Wirtschaft Sankt Augustin, Sankt Augustin, 2005.
- [Gad10] Gadatsch, A.: „Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis“, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010.
- [Gei05] Geimer, H.; Kühn, H.; Salje, R.: „Komplexitätsmanagement: Basis für erfolgreiches Supply Chain Management“, In Supply Chain Management: An International Journal, 5, 2005; S. 43–48.
- [Gel03] Gell-Mann, M.; Lloyd, S.: „Effective Complexity: In Nonextensive Entropy“, Oxford University Press, 2003; S. 387–398.

- [Gel94] Gell-Mann, M.: „Das Quark und der Jaguar: Vom Einfachen zum Komplexen - die Suche nach einer neuen Erklärung der Welt“, Piper Verlag, München, 1994.
- [Gra11] Grande, M.: „100 Minuten für Anforderungsmanagement: Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler“, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011.
- [Gro80] Grochla, E.: „Handwörterbuch der Organisation“, C.E. Poeschel, Stuttgart, 1980.
- [Hah08] Hahn, F.-J.; Knopp, I.; Ploch, A.; Schutz, C.-H.: „Eine Erfolgsgeschichte: Das RH-Vakuumverfahren nach 50 Jahren Entwicklung“, In Stahl und Eisen, 128, 2008; S. 61–76.
- [Hal12] Halfmann, N.; Krause, D.: „Assembly Target specific Structuring of modular Product Families“, Proceedings of the 9th Norddesign Conference, Aalborg, Dänemark, 2012.
- [Hau07] Hauptmann, S.: „Gestaltung des Outsourcings von Logistikleistungen: Empfehlungen zur Zusammenarbeit zwischen verladenden Unternehmen und Logistikdienstleistern“, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2007.
- [Hau09] Haubrock, A.; Öhlschlegel-Haubrock, S.: „Personalmanagement“, Kohlhammer Verlag, 2009.
- [He08] He, F.; Rao, Y.; Zhang, C.; Shao, X.: „Development of the Complexity Measure for Assembly Line Systems Using Entropy Concept“, Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008; S. 9037–9042.
- [Hei99] Heina, J.: „Variantenmanagement: Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt“, Dissertation, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1999.
- [Hin97] Hines, P.; Rich, N.: „The seven value stream mapping tools“, In International Journal of Operations & Production Management, 1997, 17; S. 46–64.
- [Hoe01] Van Hoek, R.: „The rediscovery of postponement, a literature review and directions for research“, In Journal of Operations Management, 2001.
- [Hoh06] Hohn, S.: „Public Marketing: Marketing-Management für den öffentlichen Sektor“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2006.
- [Hom03] Homfeldt, H. G.; Arnold, R.: „Handlungsfelder der sozialen Arbeit“, Schneider-Verlag, Baltmannsweiler, 2003.
- [Hoo04] Hoole, R.: „Can You Reduce Your Supply Chain Complexity? - Simplify your supply chain to cut costs and improve overall performance“, In PRTM Insight, 2004; S. 26–30.
- [Hou85] Houlihan, J. B.: „International Supply Chain Management“, In International Journal of Physical Distribution and Materials Management, 14, 1985; S. 22–38.
- [Hu08] Hu, S. J.; Zhu, X.; Wang, H.; Koren, Y.: „Product variety and manufacturing complexity in assembly systems and supply chains“, In CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57, 2008; S. 45–48.
- [Hub90] Hubka, V.; Eder, W. E.: „Design Knowledge: Theory in Support of Practice“, In Journal of Engineering Design, 1, 1990; S. 97–108.

- [Huc05] Huch, B.: „Produktportfoliooptimierung in Transportnetzwerken“, Dissertation, dissertation.de, Eichstätt-Ingolstadt, 2005.
- [Jan05] Jania, T.: „Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Produkt- und Prozessmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung“, Dissertation. HNI Verlag, Paderborn, 2005.
- [Jes97] Jeschke, A.: „Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion“, Dissertation, Braunschweig, 1997.
- [Jon10] Jonas, H.; Krause, D.: „Produktfamilienentwicklung im Rahmen des Variantenmanagements“, Design for X, Beiträge zum 21. DfX-Symposium, Hamburg, 2010; S. 169–180.
- [Kai95] Kaiser, A.: „Integriertes Variantenmanagement mit Hilfe der Prozesskostenrechnung“, Dissertation, Rosch-Buch Verlag, Hallstadt, 1995.
- [Kal06] Kaluza, B.; Bliem, H.; Winkler, H.: “Strategies and Metrics for Complexity Management in Supply Chains”, In (Blecker, T.; Kersten, K. Hrsg.): Complexity Management in Supply Chains: Concepts, Tools and Methods, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2006; S. 3–19.
- [Ker06] Kersten, W.; Rall, K.; Meyer, C. M.; Dalhöfer, J.: “Complexity Management in Logistics and ETO Supply Chains”, In (Blecker, T.; Kersten, K. Hrsg.): Complexity Management in Supply Chains: Concepts, Tools and Methods, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2006; S. 325–342.
- [Ker07] Kersten, W.; Held, T.; Meyer, C. M.; Hohrath, P.: “Komplexitäts- und Risikomanagement als Methodenbausteine des Supply Chain Managements“, In (Hausladen, I. Hrsg.): Management am Puls der Zeit. Strategien, Konzepte und Methoden, TCW Verlag, München, 2007; S. 1159–1181.
- [Kip08] Kipp, T.; Krause, D.: “Design for Variety: Efficient Support for Design Engineers”, Proceedings of the 10th International Design Conference, Dubrovnik, Kroatien, 2008; S. 425–432.
- [Kip10] Kipp, T.; Bleeß, C.; Krause, D.: „Anwendung einer integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“, Design for X, Beiträge zum 21. DfX-Symposium, Hamburg, 2010.
- [Kip12] Kipp, T.: „Methodische Unterstützung der Variantengerechten Produktgestaltung“, Dissertation, TuTech Verlag, Hamburg, 2012.
- [Kir03] Kirchhof, R.: „Ganzheitliches Komplexitätsmanagement: Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen“, Dissertation, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2003.
- [Kla79] Klaus, G.: „Wörterbuch der Kybernetik“, Fischer-Taschenbuch-Verlag, Frankfurt am Main, 1979.
- [Kla05] Klaus, P.: „Die Frage der optimalen Komplexität in Supply-Chains und Supply-Netzwerken“, In (Eßig, M. Hrsg.): Perspektiven des Supply Management: Konzepte und Anwendungen, Springer Verlag, Berlin, 2005.
- [Klu94] Kluge, J.: „Wachstum durch Verzicht: Schneller Wandel zur Weltklasse“, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1994.

- [Kot08] Kotler, P.; Keller, K. L.; Bliemel, F.: „Marketing-Management: Strategien für wertschaffendes Handeln“, Pearson Studium, München, 2008.
- [Kra11a] Krause, D.; Eilmus, S.: „Methodical Support for the Development of Modular Product Families“, In (Birkhofer, H. Hrsg.): The future of design methodology. Springer Verlag, London, 2011; S. 33–45.
- [Kra11b] Krause, D.; Eilmus, S.: „A Methodical Approach for Developing Modular Product Families“, Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, Kopenhagen, Dänemark, 2011; S. 299–308.
- [Kru00] Krusche, T.: „Strukturierung von Anforderungen für eine effiziente und effektive Produktentwicklung“, Dissertation, Verlag Mainz, Mainz, 2000.
- [Kru02] Krug, R.: „Aufbau eines Ideenmanagements: Mitarbeiterbeteiligung am Veränderungsprozess“, Ande Verlag, Kassel, 2002.
- [Kuh02] Kuhn, A.; Hellingrath, B.: „Supply Chain Management: Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette“, Springer Verlag, Berlin, 2002.
- [Lam98] Lambert, D. M.; Cooper, M.; Pagh, J.: „Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities“, In The international journal of logistics management, 9, 1998; S. 1–20.
- [Lam12] Lammers, T.: „Komplexitätsmanagement für Distributionssysteme: Konzeption eines strategischen Ansatzes zur Komplexitätsbewertung und Ableitung von Gestaltungsempfehlungen“, Dissertation, EUL Verlag, Hamburg, 2012.
- [Lee93] Lee, H. L.: „Design for Supply Chain Management: Concepts and Examples“, In (Sarin, R. K. Hrsg.): Perspectives in operations management: Essays in honor of Elwood S. Buffa. Kluwer Verlag, Boston, 1993; S. 45–66.
- [Lee94] Lee, H. L.; Billington, C.: „Designing Products and Processes for Postponement“, In (Dasu, S.; Eastman, C. Hrsg.): Management of design engineering and management perspectives. Kluwer Verlag, Boston, 1994; S. 105–122.
- [Lee97] Lee, H. L.; Tang, C. S.: „Modelling the Costs and Benefits of Delayed Product Differentiation“, In Management Science, 43, 1997; S. 40–53.
- [Lin94] Lingnau, V.: „Variantenmanagement: Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1994.
- [Mac10] Macharzina, K.; Wolf, J.: „Unternehmensführung: Das internationale Managementwissen“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010.
- [Mal96] Malik, F.: „Strategie des Managements komplexer Systeme: Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme“, Haupt Verlag, Bern, 1996.
- [Mau02] Maune, G.: „Möglichkeiten des Komplexitätsmanagements für Automobilhersteller auf Basis IT-gestützter durchgängiger Systeme“, Dissertation, Shaker Verlag, Aachen, 2002.
- [May07] Mayer, A.: „Modularisierung der Logistik“, Dissertation. Universitäts-Verlag der Technischen Universität Berlin, Berlin, 2007.

- [Mee07] Meepetchdee, Y.; Shah, N.: „Logistical network design with robustness and complexity considerations“, In *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37, 2007; S. 201–222.
- [Men01] Menge, M.: „Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte“, Dissertation, Vulkan-Verlag, Essen, 2001.
- [Mey06] Meyer, C. M.: „Integration des Komplexitätsmanagements in den strategischen Führungsprozess der Logistik“, Dissertation, Haupt Verlag, Bern, 2006.
- [Mil01] Milgate, M.: „Supply chain complexity and delivery performance: an international exploratory study“, In *Supply Chain Management: An International Journal*, 6, 2001; S. 106–118.
- [Möl11] Möller, P.; Hüfner, B.; Ketteniß, H.: „Internes Rechnungswesen“, Springer Verlag, Berlin, 2011.
- [Neu07] Neumann, K.: „Modelst Du schon, oder tappst Du noch im Dunkeln?“, Books on Demand, Norderstedt, 2007.
- [New03] New, S. Hrsg.: „Understanding supply chains: Concepts, critiques, and futures“, Oxford University Press, Oxford, 2003.
- [Pag98] Pagh, J.; Cooper, M.: „Supply chain postponement and speculation strategies: how to choose the right strategy“, In *Journal of Business Logistics*, 1998; S. 13–34.
- [Pah07] Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: „Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung“, Springer Verlag, Berlin, 2007.
- [Per89] Perrow, C.: „Normale Katastrophen: Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik“, Campus Verlag, Frankfurt am Main, 1989.
- [Per02] Persson, F.; Olhager, J.: „Performance simulation of supply chain designs“, In *International Journal of Production Economics*, 77, 2002; S. 231–245.
- [Per10] Pero, M.; Abdelkafi, N.; Sianesi, A.; Blecker, T.: „A framework for the alignment of new product development and supply chains“, In *Supply Chain Management: An International Journal*, 15, 2010; S. 115–128.
- [Pol07] Poluha, R. G.: „Application of the SCOR model in supply chain management“, Cambria Press, Youngstown, NY, 2007.
- [Pon11] Ponn, J.; Lindemann, U.: „Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte: Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltilösungen“, Springer Verlag, Berlin, 2011.
- [Por00] Porter, M. E.: „Wettbewerbsvorteile: Spitzenleistungen erreichen und behaupten“, Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2000.
- [Por08] Porter, M. E.: „Wettbewerbsstrategie: Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten“, Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2008.
- [Pro10] Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: „Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010.

- [Ran01] Randall, T.; Ulrich, K.: „Product Variety, Supply Chain Structure, and Firm Performance: Analysis of the U.S. Bicycle Industry“, In *Management Science*, 47, 2001; S. 1588–1604.
- [Rat93] Rathnow, P. J.: „Integriertes Variantenmanagement: Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt“, Dissertation, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1993.
- [Rau98] Raufeisen, M.: „Konzept zur Komplexitätsmessung des Auftragsabwicklungsprozesses“, Dissertation, TCW Verlag, München, 1998.
- [REF78] REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebswirtschaftsorganisation e.V.: „Methodenlehre der Planung und Steuerung“, Hanser Verlag, München, 1978.
- [Rei93] Reiss, M.: „Komplexitätsmanagement I“, In *WISU*, 1993; S. 54–59.
- [Rob10] Roberts, L.; Mosena, R.; Winter, E. Hrsg.: „Gabler Wirtschaftslexikon: A - Be.“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2010.
- [Röd11] Röder, B.; Birkhofer, H.; Bohn, A.: „Clustering Customer Dreams: An 'Approach for a more efficient Requirement Acquisition“, *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design*, Kopenhagen, Dänemark, 2011, S. 11-20.
- [Ros77] Ross, D. T.: „Structured Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas“, In *IEEE Transactions on Software Engineering*, 3, 1977; S. 16–34.
- [Saa02] Saatkamp, J.: „Business process reengineering von Marketingprozessen“, Dissertation. GIM Verlag, Erlangen-Nürnberg, 2002.
- [Sch85] Scheibl, H.-J.: „Wie dokumentiere ich ein DV-Projekt? Dokumentationsverfahren in Theorie und Praxis“, Expert Verlag, Sindelfingen, 1985.
- [Sch89a] Schuh, G.: „Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten: Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten“, Dissertation, VDI Verlag, Aachen, 1989.
- [Sch89b] Schuh, G.; Becker, T.; Caesar, C.: „Integrierte Beherrschung der Variantenvielfalt: Varianten vorbeugen vermeiden statt nachträglich abbauen“, In *Industrie-Anzeiger*, 1989; S. 84–90.
- [Sch95] Schulte, C.: „Komplexitätsmanagement“, In (Corsten, H. Hrsg.): *Handbuch Unternehmungsführung: Konzepte, Instrumente, Schnittstellen*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1995; S. 757–765.
- [Sch98] Scheer, A.-W.: „Wirtschaftsinformatik: Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse“, Springer Verlag, Berlin, 1998.
- [Sch03] Scherf, O.: „Komplexität aus systemischer Sicht“, Difo-Druck, Bamberg 2003.
- [Sch05] Schuh, G.: „Produktkomplexität managen: Strategien, Methoden, Tools“, Hanser Verlag, München, 2005.
- [Sch09] Schmidt, G.: „Organisation und Business Analysis: Methoden und Techniken“, Götz Schmidt Verlag, Gießen, 2009.
- [Sha48] Shannon, C. E.: „A Mathematical Theory of Communication“, In *The Bell System Technical Journal*, 27, 1948; S. 379–423.

- [Sha07] Shapiro, J. F.: „Modeling the supply chain“, Thomson-Brooks/Cole, Belmont, Calif, 2007.
- [Siv02] Sivadasan, S.; Efstathiou, J.; Frizelle, G.; Shirazi, R.; Calinescu, A.: „An information-theoretic methodology for measuring the operational complexity of supplier-customer systems“, In International Journal of Operations & Production Management, 22, 2002; S. 80–102.
- [Sta97] Stacey, R. D.: „Unternehmen am Rande des Chaos: Komplexität und Kreativität in Organisationen“, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1997.
- [Ste09] Stechert, C.; Franke, H.-J.: „Requirements models for collaborative product development“, Proceedings of the 19th CIRP Design conference, Cranfield, UK, 2009.
- [Stü03] Stüttgen, M.: „Strategien der Komplexitätsbewältigung in Unternehmen: Ein transdisziplinärer Bezugsrahmen“, Haupt Verlag, Bern, 2003.
- [Tre10] Trentin, A.; Forza, C.: „Design for form postponement: do not overlook organization design“, In International Journal of Operations & Production Management, 30, 2010; S. 338–364.
- [Twi98] Twigg, D.: „Managing product development within a design chain“, In International Journal of Operations & Production Management, 18, 1998; S. 508–524.
- [Ulr95] Ulrich, H.; Probst, G. J. B.: „Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: Ein Brevier für Führungskräfte“, Haupt Verlag, Bern, 1995.
- [VDI79] VDI: „Elektronische Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung und –steuerung: Begriffszusammenhänge, Definitionen“, VDI Verlag, Düsseldorf, 1979.
- [VDI94] VDI: „Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung“, VDI Verlag, Düsseldorf, 1994.
- [VDI01] VDI: „Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen: Erfahrungen, Methoden und Instrumente“, Tagung Kassel, VDI Verlag, Düsseldorf, 2001.
- [Ver04] Versteegen, G.; Heßeler, A.: „Anforderungsmanagement. Formale Prozesse, Praxiserfahrungen, Einführungsstrategien und Toolauswahl“, Springer Verlag, Berlin, 2004.
- [Wan98] Von Wangenheim, S.: „Planung und Steuerung des Serienanlaufs komplexer Produkte“ Lang Verlag, Frankfurt am Main, 1998.
- [War97] Warnecke, G.; Puhl, H.: „Komplexitätsmanagement“, In wt Werkstatttechnik, 1997; S. 359–363.
- [Wei79] Weinberg, G. M.; Weinberg, D.: „On the design of stable systems“, Wiley Verlag, New York, 1979.
- [Wes92] Westkämper, E.; Bartuschat, M.: „Methodik zur Reduzierung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung“, In Die Maschine - dima, 46, 1992; S. 51–55.
- [Wes00] Westphal, J. R.: „Komplexitätsmanagement in der Produktionslogistik“, Dissertation, Deutscher Universitäts-Verlag, Dresden, 2000.

- [Wil91] Wildemann, H.: „Zeit als Wettbewerbsfaktor durch Motivation und Qualifikation“, In (Milberg, J. Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Zeit in Produktionsunternehmen: Referate des Münchener Kolloquiums '91, Springer Verlag, Berlin, 1991; S. 339–355.
- [Wil94] Wildemann, H.: „Die modulare Fabrik: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung“, TCW Verlag, München, 1994.
- [Wil00] Wildemann, H.: „Komplexitätsmanagement: Vertrieb, Produkte, Beschaffung, F&E, Produktion, Administration“, TCW Verlag, München, 2000.
- [Wil09] Wildemann, H.: „Produkte und Services entwickeln und managen: Strategien, Konzepte, Methoden“, TCW Verlag, München, 2009.
- [Wil11] Wildemann, H.: „Supply Chain Management: Leitfaden für unternehmensübergreifendes Wertschöpfungsmanagement“, TCW Verlag, München, 2011.
- [Yib09] Yibin L.: „Quantifying Model of 3-Echelon Supply Chain Coordination Complexity Information Entropy Based“, Proceedings of the International Conference on Management and Service Science, 2009.
- [Yin03] Yin, R. K.: „Case study research: Design and methods“, Thousand Oaks, Calif, 2003.
- [Yu03] Yu, Z.; Yan, H.; Cheng, T.: „Modelling the benefits of information sharingbased partnerships in a two level supply chain“, In The Journal of the Operational Research Society, 53, 2003; S. 436–446.
- [Zim88] Zimmermann, G.: „Produktionsplanung variantenreicher Erzeugnisse mit EDV“, Springer Verlag, Berlin, 1988.

Zum Forschungsthema betreute Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten

Aufmkolk, Marie-Cecil: „Entwicklung eines übergreifenden Konzepts für das Variantenmanagement basierend auf Prozessen und Methoden“, Diplomarbeit am PKT, TUHH, 2009.

Burhop, Johannes: „Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur Zentralisierung oder Dezentralisierung der Wertschöpfung in global agierenden Unternehmen“, Diplomarbeit am PKT, TUHH, 2012.

Gorgas, Jan: „Entwicklung von Lösungsansätzen zur systematischen Aufnahme von Prozessen unter Berücksichtigung der Prozess- und Produktvielfalt“, Diplomarbeit am PKT, TUHH, 2011.

Greb, Tobias: „Untersuchung bestehender Methoden zur Bewertung der durch Produktvielfalt induzierten Komplexität innerhalb der Wertschöpfungskette“, Studienarbeit am PKT, TUHH, 2012.

Karrasch, Johannes: „Supply-Chain-gerechtes Konstruieren am Beispiel eines Staubsaugroboters“, Studienarbeit am PKT, TUHH, 2013.

Schmidt, Janne: „Entwicklung eines Lösungsansatzes zur Integration der Supply-Chain-spezifischen Anforderungen in den Produktentwicklungsprozess“, Diplomarbeit am PKT, TUHH, 2012.

Schöchtel, Andreas: „Lösungskonzept zur Beherrschung der produkt- und prozesseitigen Variantenvielfalt am Beispiel der Kabine des Airbus A330“, Masterarbeit am PKT, TUHH, 2011.

Stahl, Sebastian: „Visualisierung der Wechselwirkungen zwischen Produktvielfalt und Prozessvielfalt“, Studienarbeit am PKT, TUHH, 2011.

Trezeciok, Florian: „Entwicklung von Lösungsansätzen zur Aufnahme, Operationalisierung und Klassifizierung der Vielfalt in Produkten und Prozessen“, Diplomarbeit am PKT, TUHH, 2010.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Geboren am 23.2.1979 in Aachen

Verheiratet, 2 Kinder

Berufliche Tätigkeiten

- | | |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 08/2013 – heute | Entwicklungsingenieur bei der Jungheinrich AG, Norderstedt |
| 09/2007 – 12/2012 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der TU Hamburg-Harburg |

Hochschulstudium

- | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 06/2005 – 06/2007 | Studium an der TU Hamburg-Harburg
Studienrichtung: International Production Management
Abschluss: Master of Science |
| 09/2000 – 06/2006 | Studium an der TU Hamburg-Harburg
Studienrichtung: General Engineering Science
Abschluss: Bachelor of Science |

Wehrdienst und Schulausbildung

- | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------|
| 09/1999 – 06/2000 | Instandsetzungs- und Unterstützungskompanie, Aachen |
| 1989 – 1999 | Viktoria Gymnasium, Aachen
Abschluss: Abitur |
| 1985 – 1989 | Grundschule, Aachen |

