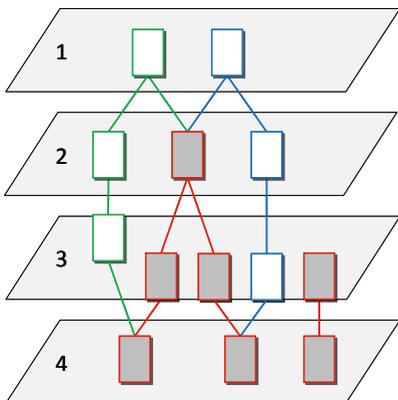


Thomas Kipp
**Methodische Unterstützung
der variantengerechten
Produktgestaltung**



Hamburger Schriftenreihe
Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

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

Thomas Kipp

Methodische Unterstützung der variantengerechten Produktgestaltung

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 76629-6559
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 2012
ISBN 978-3-941492-47-9

Methodische Unterstützung der variantengerechten Produktgestaltung

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg

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

genehmigte Dissertation

von
Thomas Kipp

aus
München

2012

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

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Tag der mündlichen Prüfung: 28. September 2012

Vorwort

Diese Dissertation ist das Ergebnis fünf spannender Jahre am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der TU Hamburg-Harburg. Ohne die Unterstützung meiner Kollegen und Freunde wäre diese Arbeit niemals gelungen. Deshalb möchte ich all jenen hier an dieser Stelle danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause. Er hat mir die Zeit am Institut ermöglicht und mit seinen kritischen und konstruktiven Kommentaren diese Dissertation wesentlich geprägt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Lindemann danke ich für seine Unterstützung als Zweitgutachter. Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Die Fallstudien sind für den Praxisbezug dieser Arbeit von zentraler Bedeutung. Deshalb danke ich den Mitarbeiter des „Tauchpumpenherstellers“ und der Firma Mantis, insbesondere Leif Clausen, für die freundliche und offene Zusammenarbeit.

Meinen Kollegen und Freunden am Institut möchte ich für den Zusammenhalt, sowie die fachliche und moralische Unterstützung danken. Hervorzuheben ist hier Dr. Christoph Blees als mein wichtigster Diskussionspartner und vielfacher Reisebegleiter. Ebenso danke ich Thomas Gumpinger, Dr. Marc Pein, Max Brosch, Steffen Elstner, Niklas Halfmann, Sandra Eilmus, Dr. Jens Schmidt und allen weiteren Kollegen.

Meinen Diplomanden und Studienarbeitern danke ich für die vielen spannenden Diskussionen, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Hervorheben möchte ich hier Nico Gebhardt, dessen Diplomarbeit erst eine echte Fallstudie ermöglicht hat.

Abschließend gilt mein Dank meiner Familie und allen Freunden, die mich bei der Arbeit unterstützt und angespornt haben.

Thomas Kipp

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Problemfeld	3
1.2	Zielsetzung.....	4
1.3	Aufbau der Arbeit	5
2	Problemfeld der Variantenvielfalt.....	9
2.1	Ursachen und Entwicklung der Vielfalt.....	9
2.2	Auswirkungen der Vielfalt	11
2.3	Ansätze des Variantenmanagements	12
3	Stand der Wissenschaft	17
3.1	Grundlagen der variantengerechten Gestaltung	17
3.1.1	Begriffliche Grundlagen.....	17
3.1.2	Grundlegende methodische Ansätze	21
3.2	Entwicklung modularer Produkte	22
3.2.1	Grundlagen der Entwicklung modularer Produkte.....	22
3.2.2	Methoden zur Entwicklung modularer Produkte	25
3.2.3	Bewertung der Methoden zur Entwicklung modularer Produkte	35
3.3	Entwicklung von Produktplattformen	37
3.3.1	Grundlagen der Entwicklung von Produktplattformen	37
3.3.2	Methoden zur Entwicklung von Produktplattformen.....	39
3.3.3	Bewertung der Methoden zur Entwicklung von Produktplattformen	44
3.4	Entwicklung variantengerechter Produkte	46
3.4.1	Grundlagen der Entwicklung variantengerechter Produkte.....	46
3.4.2	Methoden zur Entwicklung variantengerechter Produkte	46
3.4.3	Bewertung der Methoden zur Entwicklung variantengerechter Produkte	54

3.5	Die Postponement-Strategie	56
3.6	Die Prozess-Kommunalität.....	58
3.7	Forschungsbedarf	60
4	Idealbild variantengerechter Produktfamilien	63
4.1	Differenzierung	64
4.2	Reduzierung.....	66
4.3	Eins-zu-eins-Zuordnung	68
4.4	Entkopplung.....	70
5	Methode der variantengerechten Produktgestaltung	73
5.1	Definition der Ziele einer variantengerechten Produktgestaltung	75
5.2	Auswahl des zu betrachtenden Systems.....	76
5.3	Aufgabenklärung und Aufnahme der Variantenvielfalt des Systems	79
5.3.1	Aufnahme der Unterscheidungsmerkmale.....	80
5.3.2	Aufnahme der Variantenvielfalt der Funktionen.....	83
5.3.3	Aufnahme der Vielfalt auf Ebene der Wirkelemente und - prinzipien	87
5.3.4	Aufnahme der Vielfalt der Komponenten	89
5.3.5	Zusammenfassende Darstellung der Vielfalt im Variety- Allocation-Model	92
5.4	Suche nach alternativen variantengerechten Lösungsansätzen	95
5.4.1	Lösungssuche auf Ebene der varianten Komponenten	97
5.4.2	Lösungssuche auf Ebene der Wirkprinzipien	105
5.4.3	Lösungssuche auf Ebene der varianten Funktionen	108
5.4.4	Lösungssuche auf Ebene der Unterscheidungsmerkmale	115
5.4.5	Zusammenfassende Darstellung der Lösungskonzepte im VAM	121
5.5	Variantenorientierte Bewertung der Lösungsalternativen	123
5.5.1	Bewertung der Variantengerechtheit im Objektivschritt	123
5.5.2	Subjektivschritt zur vergleichenden Bewertung der Lösungsalternativen	127

5.6	Ergebnis der variantengerechten Produktgestaltung	128
6	Validierung der Methode der variantengerechten Produktgestaltung.....	131
6.1	Planung der Validierung	131
6.1.1	Auswahl der Forschungsmethode	131
6.1.2	Aufgabe, Erfolgsgrößen und grundlegende Thesen der Methode	133
6.1.3	Prüfungshypothesen	133
6.1.4	Operationalisieren der Prüfungshypothesen	134
6.2	Durchführung der Fallstudie.....	135
6.2.1	Vorstellung des Studienfalls	135
6.2.2	Definition der Ziele der variantengerechten Produktgestaltung.....	137
6.2.3	Auswahl des zu betrachtenden Systems	139
6.2.4	Aufgabenklärung und Aufnahme der Variantenvielfalt der Sprühgeräte.....	139
6.2.5	Suche nach alternativen variantengerechten Lösungsansätzen	146
6.2.6	Vorstellung der variantengerechten MANKAR-Roll-Konzepte	154
6.2.7	Variantenorientierte Bewertung der MANKAR-Roll-Konzepte.....	160
6.2.8	Ergebnis der variantengerechten Produktgestaltung.....	164
6.3	Auswertung der Fallstudie.....	166
7	Integration in den PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien	169
7.1	Vorstellung der Produktlebensphasen-Modularisierung.....	169
7.2	Konzept zur Integration der Methoden.....	172
7.3	Anwendung des integrierten Ansatzes.....	173
7.3.1	Vorstellung des Anwendungsfalls.....	173
7.3.2	Gemeinsame Definition der Ziele und Aufnahme des Ist-Zustands ..	173
7.3.3	Reduzieren der internen Vielfalt der Produktfamilie	174
7.3.4	Modularisieren der Produktfamilie	178
7.3.5	Bewertung des integrierten Ansatzes anhand des Anwendungsfalls	179
7.4	Ergebnis der Integration der Methoden.....	180

8 Zusammenfassung und Ausblick	181
8.1 Zusammenfassung	181
8.2 Ausblick.....	182
Anhang.....	185
Literatur	201

Abkürzungsverzeichnis

BWMI	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CI	Coupling Index
CI-S	Coupling Index – Supply
CI-R	Coupling Index – Receive
DMM	Domain Mapping Matrix
DSM	Design Structure Matrix
EVAPRO	Methoden zur Kostenreduktion bei der Einzel- und Kleinserienproduktion variantenreicher Produkte
GVI	Generational Variety Index
K_{Unt}	Durchschnittliche Anzahl der zusätzlichen Komponenten, die aufgrund eines Unterscheidungsmerkmals variant sind.
K_{Komp}	Durchschnittliche Anzahl der zusätzlichen Unterscheidungsmerkmale, die die Vielfalt einer Komponente verursachen.
KTH	Königlich Technische Hochschule in Stockholm
MDM	Multiple-Domain Matrix
METUS	Methodische Unterstützung der Systembildung
MFD	Modular Function Deployment
MIG	Module Interface Graph – Modell zur Visualisierung von Dekompositionen
MIM	Module Indication Matrix
MOFLEPS	Modeling flexible product structures
MPC	Module Process Chart
$N_{\text{Kop A}}$	Anzahl der varianten Komponenten mit starken Kopplungen
$N_{\text{Kop B}}$	Anzahl der varianten Komponenten mit mittleren Kopplungen
$N_{\text{Var A}}$	Anzahl der varianten Komponenten mit hohen anteiligen Kosten
$N_{\text{Var B}}$	Anzahl der varianten Komponenten mit mittleren anteiligen Kosten
$N_{\text{Var Ges}}$	Anzahl aller varianten Komponenten

PKT	Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg
PPCEM	Product Platform Concept Exploration Method
ProINNO II	Programm zur Förderung der Erhöhung der Innovationskompetenz mittelständischer Unternehmen
QFD	Quality Function Deployment
TUHH	Technische Universität Hamburg-Harburg
ULV	Ultra Low Volume
VAM	Variety Allocation Model – Modell zur Visualisierung der Varianz der Funktion, Wirkprinzipien und Komponenten
VMEA	Variety Mode and Effects Analysis

1 Einleitung

1.1 Problemfeld

In den vergangenen Jahrzehnten ist die Vielfalt der angebotenen Produkte in vielen Unternehmen stark angewachsen. Ein Beispiel ist das landwirtschaftliche Gerät, das in dieser Dissertation für eine Fallstudie genutzt wird. Hier ist in den letzten 20 Jahren aus einem Einzelprodukt eine Produktfamilie entstanden, die heute 32 Varianten umfasst. Das Angebot wird mit einer neuen Generation, die aktuell in Entwicklung ist, weiter individualisiert. Auch Unternehmen aus anderen Branchen wie dem Maschinen- und Anlagenbau oder der Sicherheitstechnik verzeichnen ähnliche Entwicklungen.



Bild 1-1: Zentrale Herausforderung der Entwicklung von Produktfamilien:
Die interne Vielfalt bei wachsender externer Vielfalt zu minimieren

Diese wachsende Produktvielfalt verursacht ohne entsprechende Maßnahmen eine zunehmende Bauteil-, Baugruppen- und Prozessvielfalt innerhalb der Unternehmen. Dadurch entsteht zusätzliche Komplexität in der gesamten Auftragsabwicklung, die negative Effekte auf Qualität, Lieferzeit und Kosten hat. Wie im Bild 1-1 dargestellt, ist es deshalb eine der zentralen Herausforderungen in der Entwicklung von

Produktfamilien, die interne Vielfalt zu vermeiden, während die externe Produktvielfalt weiter anwächst.

Weitere Herausforderungen resultieren aus neuen Anforderungen aus allen Lebensphasen der Produkte. Beispielsweise sind einerseits immer kürzere Markt- und Entwicklungszyklen erforderlich, während andererseits kontinuierlich neue gesetzliche Anforderungen an Werkstoff, Energieeffizienz und Recycling entstehen. Auch dies steigert die Komplexität der Entwicklungsaufgabe.

Produktfamilien zu entwickeln, die die erwünschte Produktvielfalt bereitstellen, eine minimale interne Vielfalt verursachen und den Anforderungen aller Produktlebensphasen gerecht werden, ist ein bisher unzureichend gelöstes Problem.

1.2 Zielsetzung

Die Forschung am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) zielt deshalb darauf ab, einen integrierten Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien bereitzustellen, der dieser Problemstellung gerecht wird.

Ziel dieser Dissertation ist es, ein Element zu dem integrierten Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien beizutragen. Fokus dieses Elements ist die Unterstützung der variantengerechten Gestaltung einer Produktfamilie. Entsprechend Bild 1-1 wird dabei unter variantengerechter Gestaltung verstanden, Produktfamilien mit minimierter interner Vielfalt zu entwickeln, ohne die Produktvielfalt zu beschränken.

Bestehende Methoden, die dieses Ziel verfolgen, nutzen stark unterschiedliche Gestaltungsprinzipien und Bauweisen, wie beispielsweise möglichst umfangreiche gemeinsame Plattformen oder entkoppelte Bausteine. Aus der resultierenden Unsicherheit, welche Gestaltungsprinzipien und Bauweisen anzustreben sind, resultiert die erste Forschungsfrage:

Wie ist eine Produktfamilie zu gestalten, um eine minimale interne Vielfalt zu verursachen, ohne die externe Vielfalt zu beschränken?

Diese Frage wird hier nicht auf die Gestaltung der Produktstruktur reduziert. Stattdessen wird die Frage für die gesamte Entwicklung einer Produktfamilie beantwortet, das heißt sowohl für die Gestaltung von Funktionsstruktur, Wirkprinzipien und Komponenten als auch für die Produktstrukturierung. Als Resultat wird ein Idealbild variantengerechter Produktfamilien angestrebt, das durch Integration konstruktiver und struktureller Aspekte bisher nicht erschlossene Potenziale zur Minimierung der internen Vielfalt aufzeigt.

So wie bestehende Methoden unterschiedliche Gestaltungsziele verfolgen, so beschreiben sie unterschiedliche Wege, um die Produktentwicklung zu unterstützen. Genutzt werden beispielsweise Gestaltungsrichtlinien, numerische Optimierungen oder Visualisierungen. Daraus ergeben sich große Unterschiede in der praktischen Nutzung und in der Verständlichkeit der Methoden. Hieraus ist die zweite Forschungsfrage abgeleitet, die im Zuge der Methodenentwicklung beantwortet wird:

Wie ist die Entwicklung von variantengerechten Produktfamilien bestmöglich methodisch zu unterstützen?

In den bisherigen Forschungsfragen wird das übergeordnete Ziel, einen Beitrag zu dem integrierten Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien des Instituts für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) zu leisten, noch nicht betrachtet. Um diesem Ziel gerecht zu werden, ist die separate Entwicklung und Validierung einer Methode zur variantengerechten Produktgestaltung nicht ausreichend. Zusätzlich ist ein Konzept zur Integration der Methode in den PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien zu entwickeln, was mit der dritten Forschungsfrage aufgegriffen wird:

Wie wird die variantengerechte Produktgestaltung bestmöglich in den PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien integriert?

Zielsetzung der Arbeit ist es, die drei oben definierten Forschungsfragen zu beantworten. Daraus leitet sich der nachfolgend beschriebene Aufbau der Arbeit ab.

1.3 Aufbau der Arbeit

Um die beschriebene Zielsetzung zu erreichen, ist die Arbeit wie in Bild 1-2 dargestellt aufgebaut. Das Bild stellt die Zusammenhänge der Gliederung bis zur zweiten Ebene dar.

In Kapitel 2, der Beschreibung des Problemfelds der Variantenvielfalt, wird ein Überblick über die Thematik gegeben. Hier werden einerseits Ursachen und Auswirkungen der wachsenden Vielfalt beschrieben und andererseits die grundlegenden Ansätze des Variantenmanagements dargestellt. Dadurch werden die Relevanz und die Rolle der variantengerechten Produktgestaltung aufgezeigt.

Kapitel 3 gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft hinsichtlich der variantengerechten Produktgestaltung. Hier werden die grundlegenden Begriffe und methodische Ansätze vorgestellt, bevor bestehende Methoden diskutiert werden, die einen Beitrag zu Vermeidung der internen Vielfalt leisten. Abschließend wird aus dem dargestellten Stand der Wissenschaft der Forschungsbedarf abgeleitet.

In Kapitel 4 wird auf Basis des Stands der Wissenschaft das Idealbild variantengerechter Produktfamilien eingeführt. Dieses beantwortet die erste Forschungsfrage nach der

geeigneten Gestaltung einer Produktfamilie mithilfe der vier Kriterien *Differenzierung, Reduzierung, Eins-zu-eins-Zuordnung und Entkopplung*.

Kapitel 5 gibt mit der *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* eine Antwort auf die zweite Forschungsfrage nach der bestmöglichen Unterstützung. Hier wird zuerst ein Überblick über die Methode geschaffen, bevor die einzelnen Schritte und ihre wesentlichen Modelle detailliert erläutert werden.

In Kapitel 6 wird die Methode mithilfe einer Fallstudie validiert. Als Studienfall dient die Familie eines landwirtschaftlichen Geräts, das im Rahmen eines geförderten Forschungsprojekts unter anderem variantengerecht gestaltet wird. Dieses Kapitel umfasst die Planung, die Durchführung und die wissenschaftliche Auswertung der Fallstudie. Damit ist die separate Entwicklung der *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* abgeschlossen.

Kapitel 7 beantwortet die dritte Forschungsfrage. Hierzu wird erst die Methode zur Produktlebensphasen-Modularisierung vorgestellt, die gemeinsam mit der variantengerechten Produktgestaltung die Basis *des integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien* bildet. Darauf basierend wird ein Konzept zur gemeinsamen Anwendung abgeleitet. Abschließend wird die Anwendung dieses Konzepts anhand eines weiteren Studienfalls beschrieben.

Kapitel 8 fasst die Arbeit kurz zusammen und zeigt im Rahmen eines Ausblicks weitere Forschungspotenziale auf.

1 Einleitung			
2 Problemfeld der Variantenvielfalt			
2.1 Ursachen und Entwicklung der Vielfalt			
2.2 Auswirkungen der Vielfalt			
2.3 Ansätze des Variantenmanagements			
3 Stand der Wissenschaft			
3.1 Grundlagen der variantengerechten Gestaltung			
3.2 Modularer Produkte	3.3 Produktplattformen	3.4 Variantengerechte Produkte	
3.5 Die Postponement-Strategie		3.6 Prozess-Kommunalität	
3.7 Forschungsbedarf			
4 Idealbild variantengerechter Produktfamilien			
4.1 Differenzierung	4.2 Reduzierung	4.3 Eins-zu-eins-Zuordnung	4.4 Entkopplung
5 Methode der variantengerechten Produktgestaltung			
5.1 Definition der Ziele einer variantengerechten Produktgestaltung			
5.2 Festlegung des zu betrachtenden Systems			
5.3 Aufgabenklärung und Aufnahme der Variantenvielfalt des Systems			
5.4 Suche alternativer variantengerechter Lösungsansätze			
5.5 Variantenorientierte Bewertung der Lösungsalternativen			
5.6 Ergebnis der variantengerechten Produktgestaltung			
6 Validierung der Methode der variantengerechten Produktgestaltung			
6.1 Planung der Validierung			
6.2 Durchführung der Fallstudie			
6.3 Auswertung der Fallstudie			
7 Integration in den PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien			
7.1 Vorstellung der Produktlebensphasen-Modularisierung			
7.2 Konzept zur Integration beider Methodenbausteine			
7.3 Vorstellung der integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien			
7.4 Ergebnis der Integration der Methoden			
8 Zusammenfassung und Ausblick			

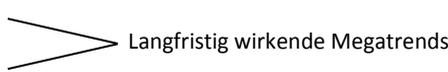
Bild 1-2: Aufbau der vorliegenden Arbeit

2 Problemfeld der Variantenvielfalt

In diesem Kapitel werden die Ursachen und die Entwicklung der Vielfalt sowie ihre Auswirkungen erläutert. Hieraus wird eine geeignete Strategie im Umgang mit der Vielfalt abgeleitet, die die Ausrichtung der folgenden Methodenentwicklung vorgibt.

2.1 Ursachen und Entwicklung der Vielfalt

Der Anstieg der Produktvielfalt wird sowohl von langfristig wirkenden Megatrends als auch von zeitlich begrenzten gesellschaftlichen Entwicklungen verursacht. Die folgenden Gründe weisen starke Interdependenzen auf, jeder einzelne Punkt verbessert aber das Verständnis der Entwicklung der Produktvielfalt:

- Globalisierung
 - Individualisierung
 - Wandel der Märkte
 - Technische Innovation
- 
- Langfristig wirkende Megatrends

Die *Globalisierung* der Volkswirtschaften beschreibt die Zunahme des freien Handels zwischen den Nationen und den Aufstieg der asiatischen Märkte [Nai92]. Dieser Megatrend dauert bis heute an und erhält durch die Entwicklung neuer Kommunikationsmittel weiteren Schwung. Gleichzeitig wird eine globale Vermarktung häufig ökonomisch notwendig, um trotz steigender Entwicklungsaufwände und kürzere Zeitspannen, in denen Produkte am Markt erfolgreich sind, ausreichende Mengen zu erzielen. Durch verschiedene Präferenzen und Unterschiede in den technischen Anforderungen verursacht dies eine große Variantenvielfalt [Rat93].

Die *Individualisierung* der Gesellschaft entspringt der in vielen Ländern gewachsenen Freiheit. Den Menschen wird es dadurch möglich, selbstbestimmt zu leben und eigenverantwortlich Entscheidungen zu treffen. Dieser „Aufstieg des Individuums hat zu

einer Vorrangstellung des Verbrauchers geführt“ [Nai92]. Hieraus resultiert ein klar erkennbarer Trend zur Individualisierung der Nachfrage [Rat93], die wiederum zu einer Ausweitung des Produktprogramms führt [Hei99].

Der *Wandel der Märkte* von Anbieter- zu Käufermärkten beschreibt eine Situation, die von zunehmender Marktsättigung und geringem Wachstum geprägt ist, wie dies aktuell in den Binnenmärkten der Industrienationen zu beobachten ist. Die Bedingungen haben sich damit zu Ungunsten der Anbieter gewandelt [Hei99]. Unter diesen Bedingungen werden Absatzmärkte ausgeweitet, indem latente Nischen mit zusätzlichen Produkten besetzt werden. Um innerhalb der Absatzmärkte Marktanteile zu sichern, versuchen Anbieter sich von Wettbewerbern abzugrenzen [Hei99]. Diese Differenzierungsstrategie verfolgt das Ziel, etwas Einzigartiges innerhalb einer Branche zu schaffen. Damit werden Abnehmer an die Marke gebunden, was ihre Preisempfindlichkeit verringert [Por08]. Der Versuch der Differenzierung führt zu immer genauer angepassten Problemlösungen [Rat93] und somit zu weiteren Produktvarianten.

Auch *technische Innovationen* insbesondere der Kommunikations- und Transportmittel sowie der Fertigungstechnologie haben zum Anwachsen der Vielfalt beigetragen. Beispielsweise hat das Internet neue Formen der Distribution ermöglicht. Diese verursachen nur Bruchteile der Kosten der konventionellen Distribution mithilfe von Warenhäusern und Regalen, das Besetzen von Nischenmärkten ist dadurch vielfach rentabel geworden. Zusätzlich verbindet das Internet Angebot und Nachfrage miteinander, indem es Abnehmern die Suche erleichtert. Auch dies verschiebt den Bedarf in Richtung der Nischenprodukte [And06].

Auch die Fertigungstechnologie wird zunehmend flexibler. Serienfertigung wird es dadurch möglich eine hohe Variantenvielfalt anzubieten [Hei99]. In Zukunft ist eine weitere Flexibilisierung der Produktion zu erwarten. Potenzial hierfür bieten beispielsweise die als „Rapid Manufacturing“ bekannten generativen Fertigungsverfahren, mit deren Hilfe Teile direkt auf Basis der CAD-Daten ohne formgebenden Werkzeuge erstellt werden können. Die Einführung neuer Teilevarianten verursacht dann nur noch minimale Kosten.

In Zukunft ist aufgrund der fortschreitenden Globalisierung, Individualisierung und Flexibilisierung der Produktionsmittel ein Andauern des Trends zu individuellen Produkten zu erwarten. Die Variantenvielfalt wird somit kontinuierlich weiter anwachsen. Damit nehmen auch die nachfolgend beschriebenen Auswirkungen auf die Unternehmen weiter zu.

2.2 Auswirkungen der Vielfalt

Die Kenntnis der Auswirkungen der Variantenvielfalt auf die Auftragsabwicklung ist erforderlich, damit die Produktentwicklung zur Minimierung der negativen Auswirkungen beitragen kann. Diese Auswirkungen und die Art ihres Auftretens können mithilfe folgender Merkmale charakterisiert werden:

- Funktionsübergreifendes Auftreten
- Auseinanderfallen von Ursache und Wirkung
- Zeitverzögertes Auftreten
- Asymmetrische Dynamik des Verhaltens

Unter *funktionsübergreifendem Auftreten* ist zu verstehen, dass nahezu alle Unternehmensfunktionen über den gesamten Produktlebenszyklus von der Vielfalt betroffen sind. Während die einmaligen Aufwände noch einzelnen Funktionen im Unternehmen zuzuordnen sind, breiten sich laufende Kosten im gesamten Lebenszyklus aus [Sch01].

Das *Auseinanderfallen von Ursache und Wirkung* ist eine weitere Herausforderung im Umgang mit der Variantenvielfalt. Ein typisches Beispiel ist das Erfüllen von Sonderwünschen, die durch den Vertrieb zugesagt werden. Dies verursacht Mindermengenzuschläge und zusätzlichen Konstruktions- oder Rüstaufwand [Fra02a, Hic85]. Die Ursache liegt hier im Vertrieb, während der Mehraufwand in Entwicklung, Einkauf und Produktion anfällt.

Ein weiteres Beispiel ist das Konstruieren neuer Teile ohne vorhergehende Suche nach möglichen Gleichteilen. Hier spart der Konstrukteur den Aufwand der Suche ein. In der Produktion entsteht dagegen zusätzlicher Aufwand durch vermehrte Planung und neue Werkzeuge oder Vorrichtungen. Diese Diskrepanz schafft Situationen, in denen Verantwortliche die Situation ihres Bereichs optimieren und damit die Gesamtsituation des Unternehmens verschlechtern [Rat93].

Das *zeitverzögerte Anfallen* der Kosten entsteht dadurch, dass bei kleiner Zunahme der Vielfalt zunächst kein relevanter Kostenzuwachs festzustellen ist [Sch01]. Wird aber eine bestimmte Schwelle erreicht, werden Investitionen, wie beispielsweise das Erweitern des Lagers oder das Einstellen zusätzlicher Mitarbeiter, erforderlich. Die Entscheidung für eine zusätzliche Variante hat somit selten direkt erkennbare Auswirkungen; die Summe mehrerer Entscheidungen führt jedoch zeitverzögert zu einem erheblichen Mehraufwand.

Die *asymmetrische Dynamik* des Verhaltens der Kosten der Vielfalt ist darin begründet, dass wesentliche Teile der Kosten auf langfristige Investitionen in flexible Produktionssysteme zurückzuführen sind. Damit sind Investitionen in teurere Maschinen oder

aufwendigere Informationssysteme verbunden [Sch01]. Aufgrund der resultierenden Fixkosten ist mithilfe einer Verringerung der Vielfalt nicht mehr die Kostensituation erzielbar, die vor dem Anwachsen der Vielfalt bestand.

Die Auswirkungen der Vielfalt sind demnach erheblich, betreffen alle Bereiche der Unternehmen und sind kurzfristig nicht reversibel. Bei einem fortdauernden Trend zu individuellen Produkten ist es somit unerlässlich, geeignete Maßnahmen des Variantenmanagements zu ergreifen, um die Produktvielfalt nachhaltig wirtschaftlich bereitstellen zu können.

2.3 Ansätze des Variantenmanagements

Zielsetzung des Variantenmanagements ist es, die vom Produkt ausgehende Komplexität (Anzahl der Teile, Komponenten, Varianten usw.) wie auch die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktdiversifikation, Produktionsabläufe usw.) mittels geeigneter Instrumente zu beherrschen. Dazu umfasst das Variantenmanagement die Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produkten, Dienstleistungen und Produktsortimenten im Unternehmen [Sch01].

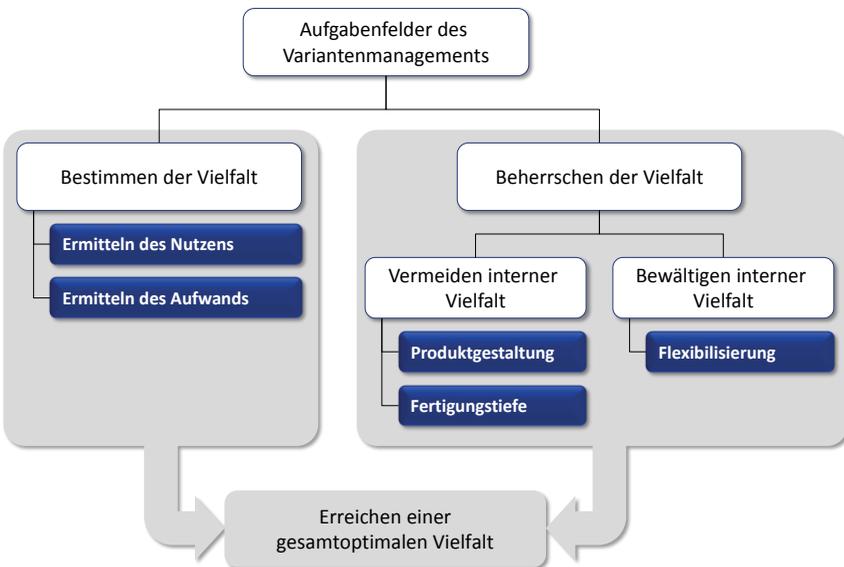


Bild 2-1: Aufgaben und Handlungsfelder des Variantenmanagements vgl. RATHNOW [Rat93]

Wie in Bild 2-1 dargestellt, wird diese Zielsetzung vielfach auf zwei Fragestellungen reduziert:

- Welche Variantenvielfalt soll angeboten werden?
- Wie kann diese Vielfalt in der Auftragsabwicklung bestmöglich beherrscht werden?

Da das Bestimmen und das Beherrschen der Vielfalt starke Wechselwirkungen aufweisen, kann ein Gesamtoptimum nur durch das Zusammenwirken von Maßnahmen beider Handlungsfelder erreicht werden. Zur Vereinfachung werden die Handlungsfelder im Folgenden dennoch separat erläutert.

Das *Bestimmen der Vielfalt* verfolgt das Ziel, ein Produktprogramm zu definieren, das zur Maximierung des Ergebnisses des Unternehmens beiträgt [Rat93]. Wie Bild 2-2 zu entnehmen ist, weist die theoretisch optimale Vielfalt die maximale Differenz zwischen dem degressiv ansteigenden Gesamtumsatz und den linear oder progressiv ansteigenden Gesamtkosten auf.

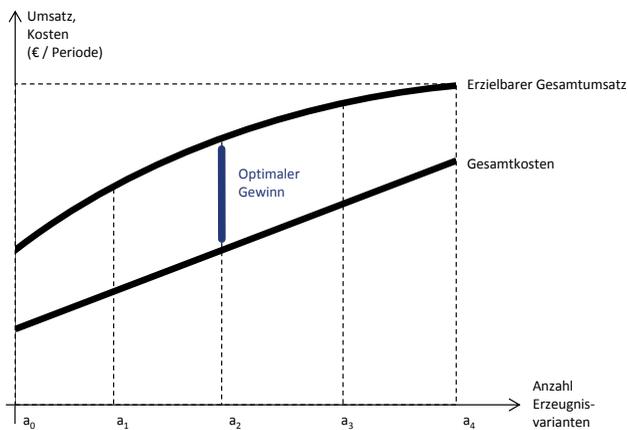


Bild 2-2: Bestimmen der optimalen Variantenvielfalt [Hic86b]

Das Bestimmen der Vielfalt bedeutet also immer „zwischen der Kostenersparnis durch den Verzicht auf Varianten und dem zu erwartenden Umsatzausfall abzuwägen. Zudem sind mögliche Substitutionseffekte und Nachteile für das Marketing zu berücksichtigen“ [Hei99].

Aufgrund des anhaltenden Trends zu individuellen Produkten steht das Bestimmen der optimalen Vielfalt heute nicht mehr allein im Fokus des Variantenmanagements. Wie in Bild 2-3 qualitativ dargestellt, bedeutet dieser Trend eine kontinuierliche Verringerung des Umsatzes, der mit einer definierten Variantenzahl erzielbar ist. Ohne Maßnahmen,

die es erlauben, die Vielfalt bestmöglich zu erstellen und damit auszubauen, sinken der erzielbare Umsatz und Gewinn in dieser Situation kontinuierlich.

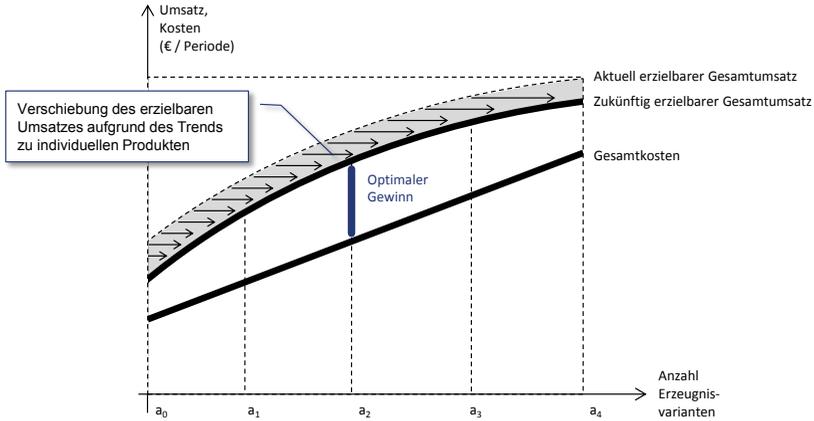


Bild 2-3: Auswirkung des Trends zu individuellen Produkten auf den erzielbaren Umsatz vgl. [Hic86b]

Werden entsprechende Maßnahmen zum *Beherrschen der Vielfalt* ergriffen, verringert sich der Anstieg der Kosten mit der Anzahl der Erzeugnisvarianten. Dadurch verschiebt sich das wirtschaftliche Optimum hin zu einer größeren Anzahl der Erzeugnisvarianten (siehe Bild 2-4).

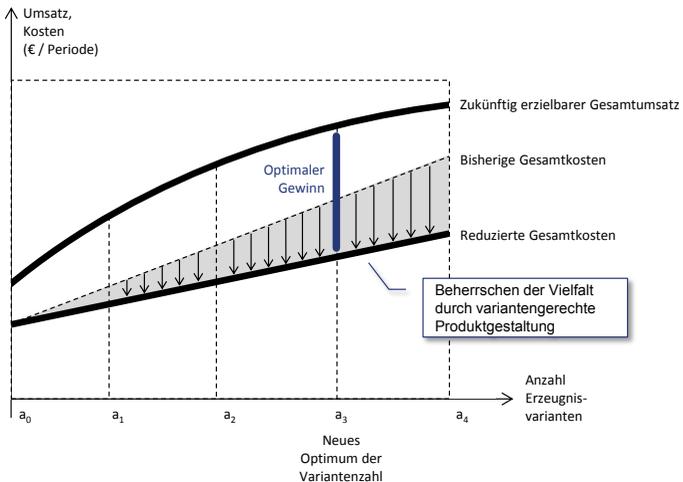


Bild 2-4: Wirkung von Maßnahmen zum Beherrschen der Vielfalt vgl. [Hic86b, Rat93]

Eine ursprünglich überhöhte Produktvielfalt muss dann nicht mehr auf ein wirtschaftliches Optimum reduziert werden, stattdessen wird eine höhere Produktvielfalt wirtschaftlich optimal. Damit wird es möglich dem Trend zu individuellen Produkten gerecht zu werden und dadurch Umsatz und Gewinn zu erhalten oder auszubauen.

Innerhalb der Maßnahmen zum *Beherrschen der Vielfalt* wird zwischen dem Vermeiden und dem Bewältigen der internen Vielfalt differenziert (siehe Bild 2-1) [vgl. Rat93].

Das *Vermeiden der internen Vielfalt* ist im Wesentlichen Aufgabe der Produktentwicklung, denn sie kann mithilfe einer variantengerechten Produktgestaltung das Verhältnis von externer zu interner Vielfalt optimieren. Damit wird sowohl die Vielfalt der Baugruppen und -teile als auch die Vielfalt der Erstellungsprozesse relativ zur Produktvielfalt reduziert. Hiermit können die Bedingungen für eine partielle Massenproduktion geschaffen werden [Rat93].

Varianten auf Baugruppen- und Teileebene werden durch modulare Produktstrukturen oder Produktplattformen vermieden. Unterschiedliche Erstellungsprozesse werden durch eine Produktgestaltung vermieden, die die Erstellungsprozesse der Varianten angleicht (*Prozess-Kommunalität*) oder die Variantenbildung an das Ende des Erstellungsprozesses verlagert (*Postponement*).

Eine weitere Maßnahme zum Vermeiden der internen Vielfalt ist das *Anpassen der Fertigungstiefe*. Hierbei werden Eigenfertigungsvolumen zugunsten eines gezielten Fremdbezugs bereinigt, um die Komplexität innerhalb des Unternehmens trotz großer Produktvielfalt gering zu halten [Rat93].

Das *Bewältigen der Vielfalt* bedeutet im Wesentlichen eine Flexibilisierung der Produktionsmittel. Hierbei werden Produktionsschritte flexibilisiert, die der Individualisierung des Produktes dienen. Zur Erstellung von Standardmodulen oder für Produktionsschritte, die vor der Variantenbildung liegen, werden weiterhin starre Produktionsmittel (z.B. Transferstraßen mit Bearbeitungsstationen) genutzt, sofern die Seriengröße ihren wirtschaftlichen Einsatz erlaubt [vgl. Sch01].

Trotz der Potenziale einer solchen Flexibilisierung sind zuerst die Möglichkeiten zum Vermeiden der internen Vielfalt auszuschöpfen. Erst im Anschluss sind Maßnahmen zur Bewältigung der Vielfalt im Erstellungsprozess zu ergreifen, da diese mit erheblichen Investitionen verbunden sind. Variantengerechte Produktgestaltung oder Fremdbezug sind einer Flexibilisierung der Produktionsmittel vorzuziehen [vgl. Rat93], weshalb die Produktentwicklung hinsichtlich des Beherrschens der Vielfalt eine zentrale Rolle einnimmt.

Zielsetzung der Arbeit ist es, hierfür eine Unterstützung der Produktentwicklung in Form einer Methode zur *variantengerechten Produktgestaltung* zu entwickeln. Im

folgenden Kapitel werden hierzu die begrifflichen Grundlagen erläutert und bestehende Methoden und Prozessstrategien vorgestellt, die einen Beitrag zur Reduzierung der internen Vielfalt leisten.

3 Stand der Wissenschaft

In diesem Kapitel werden einleitend die begrifflichen Grundlagen der Vermeidung interner Vielfalt in der Produktentwicklung geklärt und die unterschiedlichen methodischen Ansätze voneinander abgegrenzt. Anschließend werden die bestehenden Produktentwicklungsmethoden vorgestellt und diskutiert. Daraus wird zum Abschluss des Kapitels der Forschungsbedarf für die Entwicklung der Methode der variantengerechten Produktgestaltung abgeleitet.

3.1 Grundlagen der variantengerechten Gestaltung

3.1.1 Begriffliche Grundlagen

Produkt, Produktprogramm und Produktfamilie

Als *Produkt* werden die Güter bezeichnet, die ein Unternehmen durch Kombination oder Umwandlung anderer Güter produziert [Wöh05].

Die Gesamtheit der von einem Unternehmen angebotenen Produkte wird als *Produktprogramm* bezeichnet. Dieses kann sich aus dem Produktionsprogramm des Unternehmens und zugekauften Produkten zusammensetzen, die ohne substantielle Änderungen am Markt angeboten werden [Rup80].

Das Produktprogramm bzw. Produktionsprogramm kann sich des Weiteren aus *Produktfamilien* zusammensetzen. Diese stellen eine Menge verschiedener Produkte dar, die auf einer gemeinsamen Basis aufbauen. Diese Produkte verfügen über ähnliche Funktionsprinzipien, gleiche Anwendungsbereiche oder gleiche Produktionsverfahren [Rup80].

Produktstruktur

Die *Produktstruktur* wird auch als Baustuktur bezeichnet. Sie beschreibt „die physische Zusammensetzung eines Produkts aus seinen Komponenten“ und bestimmt damit auch

„die physischen Beziehungen zwischen den Komponenten eines Produkts“ [Göp98]. Nach SCHUH wird die Produktstruktur als die strukturierte Zusammensetzung eines Produkts aus seinen Komponenten definiert. Baugruppen und Einzelteile bilden dabei Strukturstufen, indem sie Komponenten auf tieferer Ebene der Produktstruktur zusammenfassen [Sch05]. Für die Variantenbildung ist die Art der Produktstruktur entscheidend. Die unterschiedlichen Ansätze zur variantengerechten Gestaltung der Produktstruktur werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

Variante

Im Allgemeinen beschreibt der Begriff *Variante* Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit in der Regel hohem Anteil identischer Gruppen oder Teile [DIN02]. In dieser Arbeit wird der Begriff konkreter aus Sicht der Produktentwicklung definiert: Varianten sind demnach technische Systeme gleichen Zwecks, die sich in mindestens einer Beziehung oder einem Merkmal unterscheiden [Fra02a]. Die Ausprägungen dieser absatz- oder produktionswirtschaftlich relevanten Merkmale beschreiben die Varianten [Hei99].

Der Begriff *Variante* wird weiter über die Differenzierung zwischen Produkt- und Prozessvarianten konkretisiert. *Produktvarianten* werden über funktionelle und strukturelle Merkmale des Produkts differenziert. *Prozessvarianten* werden dagegen über die unterschiedliche Beanspruchung der Unternehmensressourcen voneinander abgegrenzt [Fra02a]. In dieser Arbeit werden nur Produktvarianten und ihre Auswirkungen auf die Prozesse betrachtet, da die Produktentwicklung auf die Entstehung reiner Prozessvarianten keinen Einfluss nimmt. Zur Vereinfachung wird deshalb der Begriff *Variante* hier synonym zum Begriff *Produktvariante* verwendet.

Komplexität und Variantenvielfalt

Komplexität beschreibt die Vielfalt und die Veränderlichkeit eines Systems [Sch01]. Der Begriff *Variantenvielfalt* beschreibt Anzahl und Verschiedenheit der Varianten eines Bauteils, einer Baugruppe oder eines Produkts [Fra02a]. Die Variantenvielfalt ist damit ein Teilaspekt der Komplexität einer Produktfamilie. Innerhalb der Variantenvielfalt wird weiter zwischen externer und interner, sowie bestehender und generationsübergreifender Vielfalt unterschieden, wie dies nachfolgend beschrieben wird.

Externe und interne Vielfalt

Die *externe Vielfalt* beschreibt die Vielfalt der Produkte, die den Kunden angeboten wird. Damit sie umsatzwirksam wird und zur Erfüllung der Kundenwünsche beitragen kann, muss sie für den Kunden erkennbar sein [Fra02a]. Somit erweitern Produktvarianten die externe Vielfalt, wenn sie sich zumindest in einem aus Sicht der Kunden wichtigen Merkmal erkennbar unterscheiden. Diese Merkmale, deren Ausprägungen

die Kunden zur Auswahl zwischen den Produktvarianten nutzen, werden als *Unterscheidungsmerkmale* bezeichnet [Rob98]. Die externe Vielfalt kann also mithilfe der Unterscheidungsmerkmale und ihrer Ausprägungen beschrieben werden.

Die *interne Vielfalt* dient im Wesentlichen der Bereitstellung der externen Vielfalt. Sie beschreibt die Vielfalt an Bauteilen, Baugruppen, Produkten und Prozessen, die in der Auftragsabwicklung auftritt. Sie steigert die Komplexität und reduziert die Transparenz in den Abläufen der indirekt und direkt beteiligten Bereiche der Unternehmen [Fra02a]. Die interne Vielfalt steigert somit Gemeinkosten und Herstellungsaufwand. Soweit sie nicht zur Bereitstellung der externen Vielfalt erforderlich ist, sollte sie somit vermieden werden.

Die externe Vielfalt tritt somit auf Ebene der Produkte auf, während die interne Vielfalt vornehmlich auf Baugruppen- und Teileebene vorliegt [Hei99]. Es ist eine zentrale Zielsetzung der Entwicklung variantenreicher Produktfamilien, die externe Vielfalt mit geringer interner Vielfalt bereitzustellen.

Bestehende und generationsübergreifende Vielfalt

Neben dieser Differenzierung wird die Vielfalt noch anhand ihres zeitlichen Auftretens unterteilt. Hierbei wird zwischen gleichzeitig bestehender und generationsübergreifender Vielfalt unterschieden (siehe Bild 3-1).

Die *bestehende Vielfalt* beschreibt die Produktvielfalt eines Unternehmens zu einem definierten Zeitpunkt. Sie wird genutzt, um verschiedene Marktsegmente zu bedienen [Mar99].

Die *generationsübergreifende Vielfalt* entsteht dagegen im zeitlichen Verlauf, wenn durch Überarbeiten oder Erneuern eine nachfolgende Produktgeneration geschaffen wird. Auslöser dafür sind zumeist kaum zu beeinflussende externe Faktoren, wie neue Kundenanforderungen, Kostendruck oder neue Vorschriften. Produktstrukturen sollten deshalb zukünftige Änderungen minimieren und die Verwendung gemeinsamer Komponenten über Produktgenerationen hinweg ermöglichen [Mar99].

In der Entwicklung von Produktfamilien sind alle Arten der Vielfalt zu betrachten, sowohl die interne und die externe, als auch die bestehende und die generationsübergreifende. Die externe Vielfalt, sowohl die gleichzeitig bestehende als auch die im zeitlichen Verlauf entstehende, ist in einem wirtschaftlich sinnvollen Maß bereitzustellen. Jegliche Form der internen Vielfalt ist dagegen soweit möglich zu minimieren.

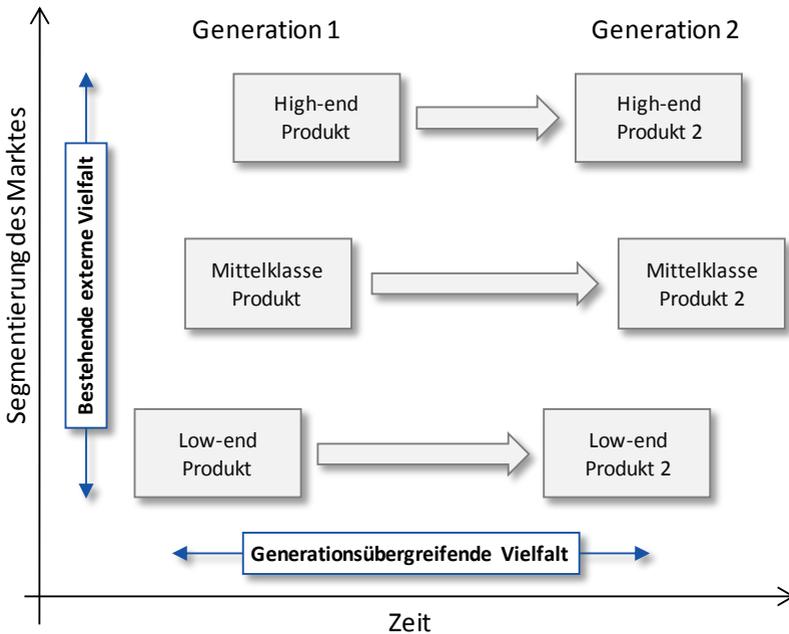


Bild 3-1: bestehende und generationsübergreifende Vielfalt nach [Mar99]

Variantengerechte Produktgestaltung

Zum Abschluss dieses Kapitels soll der Begriff der variantengerechten Produktgestaltung geklärt werden. Der Begriff wird in dieser Dissertation wie folgt definiert:

Die variantengerechte Produktgestaltung beschreibt alle Aktivitäten in der Entwicklung einer Produktfamilie, die die interne Vielfalt minimieren ohne die externe Vielfalt zu beschränken. Sie kann damit sowohl eine entsprechende Produktstrukturierung als auch eine entsprechende Gestaltung von Funktionsstruktur, Wirkprinzipien und Komponenten umfassen.

Eine so weitreichende Definition wird hier genutzt, da sich Produktstruktur und -gestalt stark gegenseitig bedingen [vgl. Fra02a, Pah07]. Eine Festlegung auf eine ausschließliche Betrachtung der Produktstruktur erscheint somit nicht sinnvoll.

Im folgenden Abschnitt werden die grundlegenden methodischen Ansätze vorgestellt, die einen Beitrag zur variantengerechten Gestaltung leisten.

3.1.2 Grundlegende methodische Ansätze

Die Ansätze können, wie in Bild 3-2 dargestellt, in produkt- als auch prozessbasierte Ansätze differenziert werden.

Innerhalb der produktbasierten Ansätze wird zwischen Methoden zur Entwicklung modularer Produkte, Methoden zur Entwicklung von Produktplattformen und Ansätzen zur variantengerechten Gestaltung unterschieden. In der Literatur wird die Produktstrukturierung, das heißt die Entwicklung von modularen Produkten und Produktplattformen, als zentraler Ansatzpunkt der Produktentwicklung zur Vermeidung der internen Vielfalt angesehen [Fra02, Sch01, Rat93, Ulr91].

Als Ansätze zur variantengerechten Produktgestaltung werden hier Methoden abgegrenzt, die im Sinne der vorhergehenden Definition neben der Produktstrukturierung auch die konstruktive Gestaltung der Produkte betrachten. Diese Methoden erweitern zumeist einen Ansatz zur Strukturierung der Produkte um die Betrachtung konstruktiver Aspekte. Sie werden deshalb im Anschluss an die Methoden zur Produktstrukturierung vorgestellt.

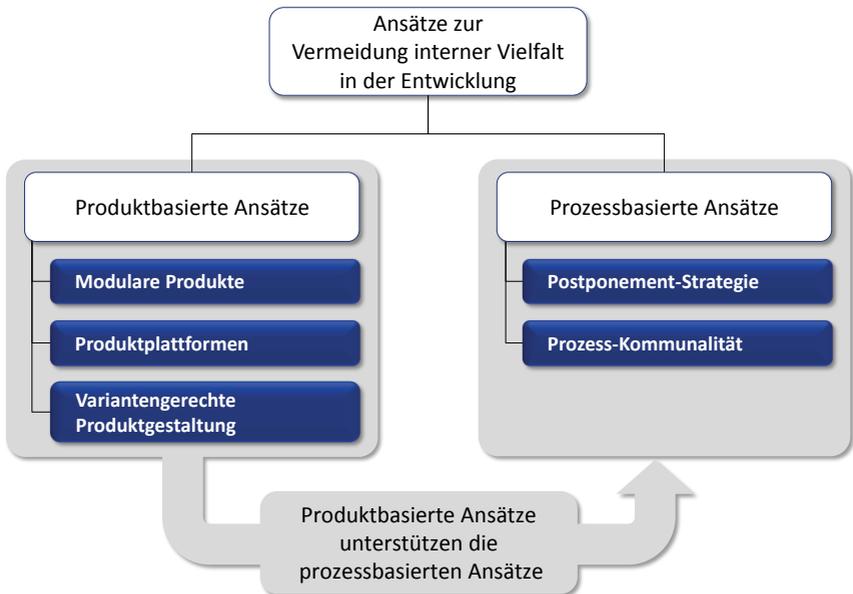


Bild 3-2: Einteilung der Methoden zur Vermeidung der internen Vielfalt in der Produktentwicklung

Neben den produktbasierten Ansätzen bestehen die Prozessstrategien *Postponement* und *Prozess-Kommunalität*, deren Ziel die Vermeidung der internen Prozessvielfalt ist. Für die Entwicklung einer Methode zur variantengerechten Produktgestaltung ist im

Hinblick auf diese Ansätze relevant, welche Anforderungen sie an Struktur und Gestalt der Produkte stellen, da diese Anforderungen bei der variantengerechten Gestaltung zu berücksichtigen sind.

3.2 Entwicklung modularer Produkte

3.2.1 Grundlagen der Entwicklung modularer Produkte

Der Begriff der Modularisierung wird in der industriellen Praxis und wissenschaftlichen Literatur auf vielfältige Weise genutzt. So beschreiben PILLER und WARINGER ein Modul als eine „nach Montageaspekten abgrenzbare und einbaufertige Einheit deren Bausteine physisch miteinander verbunden sind“ [Pil99]. Dagegen definiert ULRICH Modularität als eine Produktarchitektur, die eine „Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Funktionen und Komponenten“ und „entkoppelte Schnittstellen zwischen den Komponenten“ aufweist. Dabei gelten die Schnittstellen als entkoppelt, wenn die Änderung einer Komponente keine Anpassung anderer erfordert [Ulr95]. ERIXON definiert Modularisierung wesentlich abstrakter aus produktstrategischer Sicht als eine „Dekomposition des Produkts in Bausteine (Module) mit spezifizierten Schnittstellen, die von unternehmensspezifischen Gründen getrieben ist“ [Eri98].

Die Vielfalt der Definitionen ist bis heute nicht abschließend wissenschaftlich aufgearbeitet [Pah07]. Trotzdem besteht in der Literatur ein Konsens, dass Modularität keine binäre sondern eine graduelle Eigenschaft ist. Es ist auch nicht Ziel der Produktentwicklung, diese Eigenschaft zu maximieren, sondern vielmehr sie der jeweiligen Situation optimal anzupassen [Göp98, Höl07, Pah07, Ulr95].

Dennoch ist es nahezu unmöglich zu bestimmen, ob oder wie modular ein Produkt ist. GERSHENSON zeigte dies in einem Experiment, in dem Testgruppen – Studenten, erfahrene Ingenieure oder Manager – zehn Produkte nach ihrer Modularität in eine Reihenfolge bringen sollten. Obwohl die Produkte nach Ansicht des Autors einen stark unterschiedlichen Modularitätsgrad aufwiesen, konnte sich keine der Testgruppen auf eine Reihenfolge einigen [Ger03].

Aufgrund dieser begrifflichen Unsicherheit hat SALVADOR versucht, die Definitionen zu vereinheitlichen. Dabei fand er in 100 verschiedenen Publikationen zum Thema Modularität 40 verschiedene Definitionen, denen er fünf gemeinsame Merkmale entnommen hat. Diese bilden die Basis für die schematische Darstellung einer modularen Produktfamilie in Bild 3-3. Diese fünf Merkmale der Modularität sind [Sal07]:

- *Gemeinsame Module*: In mehreren Produkten der Familie werden identische Module genutzt (in Bild 3-3 grau dargestellt), wodurch Skaleneffekte erzielt werden.

- *Kombinierbarkeit Module:* Diese Eigenschaft bewirkt, dass verschiedene Produkte durch Konfiguration bestehender Module erzeugt werden können.
- *Funktionsbindung:* Dieses Merkmal beschreibt die Eigenschaft von Modulen, eine Funktion vollständig zu erfüllen, welche ULRICH als Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Funktionen und Komponenten beschrieben hat [ULr91].
- *Standardisierung der Schnittstellen:* Dieses Merkmal der Modularisierung wird in der IT-Branche konsequent umgesetzt, in der standardisierte Schnittstellen die freie Kombinierbarkeit der Module sicherstellen.
- *Entkopplung:* Hierdurch sollen Komplexität und Abstimmungsaufwand in der Produktentwicklung gesenkt werden. Dem liegt die These zugrunde, dass alle Kopplungen (Material-, Energie- und Informationsflüsse) zwischen Modulen Abstimmungsaufwand in der Entwicklung erfordern.

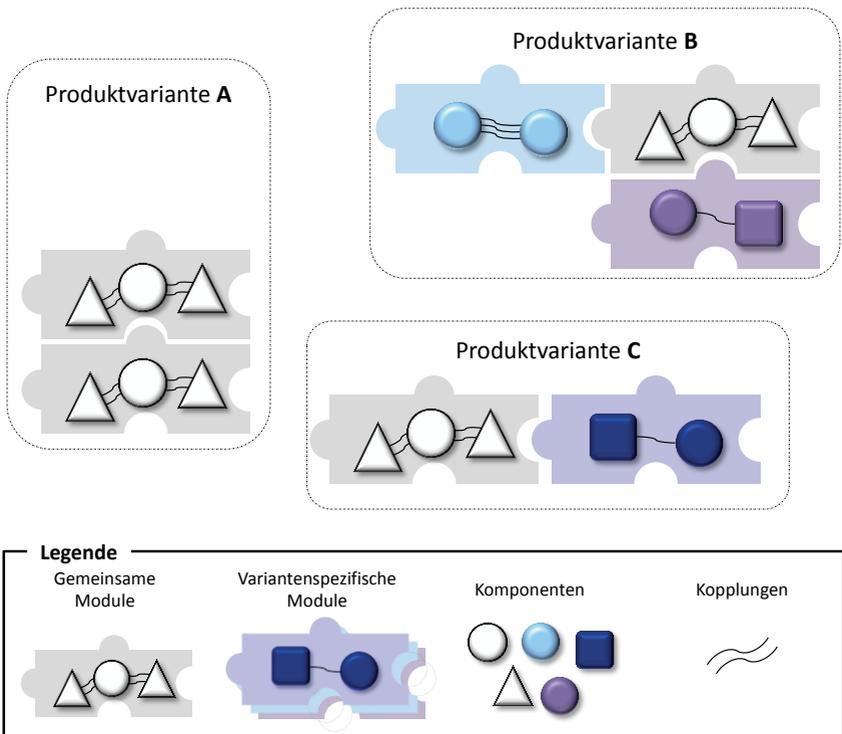


Bild 3-3: Schematische Darstellung einer modularen Produktfamilie

Auf diesen Merkmalen basierend wird Modularität in dieser Arbeit wie folgt definiert:

Modularität ist eine graduelle Eigenschaft, die durch die fünf Merkmale gemeinsame Module, Kombinierbarkeit von Modulen, Funktionsbindung, Schnittstellenstandardisierung und Entkopplung charakterisiert wird.

Die verschiedenen Vorgehensweisen zur Modularisierung von Produkten weisen zumeist die drei charakteristischen Schritte *Dekomposition des Systems in Elemente (Funktionen oder Komponenten), Verstehen und Dokumentieren der Beziehungen der Elemente* und *Analyse der Potenziale zur Reintegration der Elemente* auf [Bro01]. Im Schritt der Dekomposition findet dabei vielfach die Faustregel nach ULRICH Verwendung, nach der Produkte mit weniger als 30 Elementen abzubilden sind, um sich nicht in Details zu verlieren [Ulr04].

Modularisierte Produkte bieten in der Praxis eine Reihe von Vorteilen. Sie zeichnen sich insbesondere durch eine *reduzierte Komplexität* aus, da die Entkopplung der Module den Abstimmungsaufwand in der Entwicklung reduziert und die Funktionsbindung das Verständnis des Systems erleichtert [Bal02, Göp98, Pim99, Ulr91].

Modulare Produkte erlauben es zudem, eine *große Produktvielfalt auf Basis weniger Module* bereitzustellen, was in diesem Kontext besonders von Interesse ist. Diese Möglichkeit wird durch die freie Kombinierbarkeit der Module und ihre produktübergreifende Nutzung geschaffen. Dies führt wiederum zu *Skalen- und Lernkurveneffekten* in der Produktion, wodurch die Kosten der Produktvielfalt sinken [Eri99, Göp98, Ulr91].

Weitere Vorteile der Modularität sind ein vereinfachtes Ändern der Produkte, ein separates Testen oder eine parallele Entwicklung, Produktion und Montage der Module. Zusätzlich wird in den späten Phasen des Produktlebens, die Erweiterbarkeit der Produkte oder die Wiederverwendung einzelner Bausteine bei Rücknahme und Recycling erleichtert [Eri99, Muk04, Ulr91].

Diesen Vorteilen stehen allerdings auch Nachteile gegenüber. So resultiert aus der Erhöhung der Modularität eine *Zunahme von Größe und Gewicht* durch zusätzliche Schnittstellen und redundante Strukturen. Zudem birgt die reduzierte Komplexität die Gefahr des *Reverse Engineerings*, wodurch es Konkurrenten erleichtert wird, Produkte oder deren Module zu kopieren. Letztlich kann die Verwendung gemeinsamer Module auch zu einer *geringen Vielfalt des Designs* führen, welche die Kaufentscheidung der Kunden negativ beeinflussen kann [Göp98, Ulr91, Pah07].

Da bei variantenreichen Produkten die Vorteile der Modularität eindeutig überwiegen, wird diese als notwendige Bedingung für eine *Mass Customisation*-Strategie gesehen [Pin92]. Aufgrund dieser Relevanz werden nachfolgend grundlegende Modularisierungsmethoden vorgestellt.

3.2.2 Methoden zur Entwicklung modularer Produkte

Integration Analysis Methodology nach Pimmler und Eppinger [Pim94]

Diese von PIMMLER und EPPINGER am Massachusetts Institute of Technology erarbeitete Methode greift auf die von STEWARD entwickelte *Design Structure Matrix (DSM)* [Ste81] zurück. Sie unterstützt die Erzeugung und Auswahl alternativer Produktstrukturen, um die damit verbundenen Organisationsstrukturen zu optimieren. Dabei wird die Grundidee verfolgt, dass der Koordinationsaufwand zwischen den Entwicklungsteams, direkt von den Interaktionen der Komponenten eines zu entwickelnden Produkts abhängt. Um parallele Entwicklung mit geringem Koordinationsaufwand zu ermöglichen, zielt die Methode darauf ab, Module zu generieren, die minimale Interaktionen aufweisen.

Die Methode nutzt dazu ein Vorgehen, das auf den drei grundlegenden Schritten der Modularisierung basiert:

- Dekomposition des Systems zu Elementen
- Dokumentation der Interaktionen der Elemente
- Gruppieren der Elemente zu Blöcken (Modulen)

Je nach Stand der Entwicklung wird der erste Schritt - die Dekomposition des Systems - auf Basis von Funktionen oder Komponenten durchgeführt. Sie sollte eine Ebene tiefer gehen, als es für die zu entwickelnde Produktstruktur angestrebt wird.

Im zweiten Schritt werden die Interaktionen zwischen den Elementen aufgenommen und mithilfe der DSM dokumentiert. Hierbei werden vier Arten von Interaktionen unterschieden: Räumliche Interaktionen, Energie-, Informations- und Materialflüsse. Diese Interaktionen werden in der DSM mit Punkten zwischen -2 (Interaktion ist zu vermeiden) und +2 (Interaktion ist erforderlich) bewertet (siehe Bild 3-4). Daraus ergibt sich eine zur Diagonalen symmetrische Matrix, deren Diagonale selbst unbesetzt bleibt.

Im dritten Schritt werden die Elemente zur Gruppen zusammengefasst, die untereinander nur geringe Interaktionen aufweisen. Dazu werden vier separate DSM für die unterschiedlichen Interaktionsarten abgeleitet. Mithilfe von Vertauschungsalgorithmen werden deren Elemente so umgruppiert, dass Elemente mit starken Interaktionen zur Diagonalen verschoben werden. Dadurch werden stark interagierende Elemente als Blöcke erkennbar (siehe Bild 3-4). Die anschließende Bildung der Produktstruktur erfolgt manuell auf Basis der vier separat ermittelten Blockstrukturen.

		K	J	L	D	M	A	B	E	F	I	H	C	P	O	G	N
Luftregelung	K		0 0	0 0		1 0				0 0					0 0		0 0
			2 0	2 0		0 0				2 0					2 0		2 0
Regelung der Kühlung	J	0 0				1 0				0 0	1 0						
		2 0				0 0				2 0	0 0						
Sensoren	L	0 0				1 0											
		2 0				0 0											
Heizungsschläuche	D																
Steuersignalverteilung	M	1 0	1 0	1 0				1 0		1 0				1 0	1 0		1 0
		0 0	0 0	0 0				0 0		0 0				0 0	0 0		0 0
Kühler	A							2 0	2 -2								
								0 2	0 0								
Lüfter-Motor	B					1 0	2 0		2 0								
						0 0	0 2		0 2								
Kondensator	E						2 -2	2 0		0 2		-2 2					
							0 0	0 2		0 2		0 2					
Kompressor	F	0 0	0 0			1 0			0 2		1 0	0 2					
		2 0	2 0			0 0			0 2		0 2	0 2					
Akkumulator	I		1 0		-1 0					1 0		1 0					
			0 0		0 0					0 2		0 2					
Kernelement des Verdampfers	H								-2 2	0 2	1 0		-1 0	0 0		2 0	
									0 2	0 2	0 2		0 0	0 2		0 0	
Kernelement der Heizung	C				1 0								-1 0			2 0	
					0 0								0 0	0 2		0 0	
Gebläse-Motor	P					1 0							0 0	0 0		2 0	2 0
						0 0							0 2	0 2		0 2	0 2
Gebläse-Steuerung	O	0 0				1 0								2 0		2 0	
		2 0				0 0								0 2		0 0	
Verdampfergehäuse	G												2 0	2 0	2 0		2 0
													0 0	0 0	0 2	0 0	0 0
Aktuatorik	N	0 0				1 0											2 0
		2 0				0 0											0 0

Legende
 Räumliche Interaktion R E Energiefluss
 Informationsfluss I M Materialfluss

Bild 3-4: Gruppierter Design Structure Matrix am Beispiel einer Klimaanlage [Pim94]

Aufgrund des hergeleiteten Zusammenhangs zwischen den Interaktionen der Module und dem Koordinationsaufwand in ihrer Entwicklung strebt die Methode eine Entkopplung der Module an. Die entstehenden Produktstrukturen werden in Organisationsstrukturen überführt, wodurch der Koordinationsaufwand in der Entwicklung minimiert wird. Damit ermöglichen sie eine effiziente Arbeitsteilung. Ziel der Methode ist die Vermeidung von Komplexität im Entwicklungsprozess, jedoch nicht die Vermeidung von interner Vielfalt.

Structural Complexity Management nach Lindemann et al. [Lin09]

Diese Methodik wurde am Institut für Produktentwicklung der Technischen Universität München entwickelt und greift - ähnlich wie der vorhergehend beschriebene Ansatz - die *Design Structure Matrix* auf. Im Gegensatz zur *Integration Analysis Methodology*, die nur die Beziehungen von Funktionen oder Komponenten betrachtet, ist das *Structural Complexity Management* nicht nur auf eine Domäne beschränkt. Vielmehr ermöglicht dieser Ansatz das Modellieren der Beziehungen von Elementen innerhalb

einer und zwischen unterschiedlichen Domänen (z.B. Team, Funktionen und Komponenten). Damit wird das Gestalten komplexer Strukturen unter Beachtung dieser Beziehungen möglich.

Die Methode ist als generischer Ansatz ausgeführt, der weder die Auswahl der Domänen noch ein konkretes Ziel für die Gestaltung der Strukturen vorgibt. Dadurch eignet sich der Ansatz sowohl zum Lösen von Problemen in der Abwicklung des Entwicklungsprozesses als auch zur Lösung von konstruktiven Problemen, die aus der Komplexität der beteiligten Strukturen resultieren.

Zentrales Hilfsmittel der Methode ist die *Multiple-Domain Matrix (MDM)*, deren Prinzip Bild 3-5 veranschaulicht. Hierin ist links das System skizziert, welches rechts mithilfe einer schematischen MDM modelliert wird. Das System besteht aus Elementen unterschiedlicher Domänen, hier durch Kreise, Drei- und Vierecke symbolisiert. Die Pfeile stellen die Beziehungen dieser Elemente dar, sowohl innerhalb als auch zwischen den Domänen. Unterschiedliche Strichtypen bilden hier unterschiedliche Arten von Beziehungen ab.

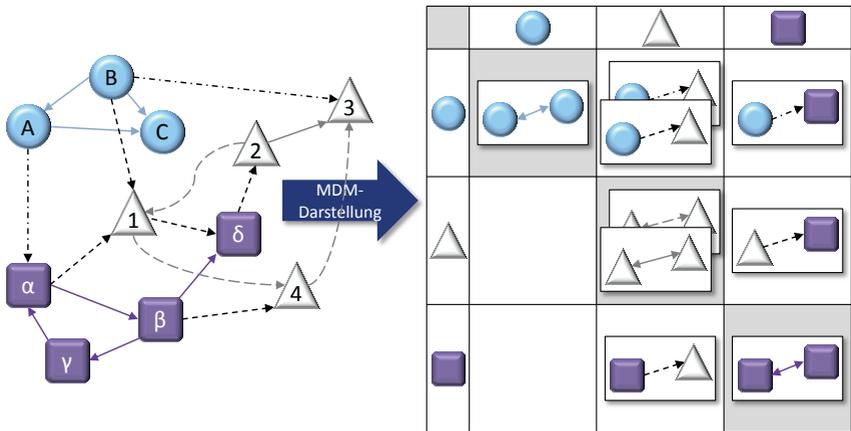


Bild 3-5: Darstellung von Beziehungen in der Multiple-Domain Matrix (MDM) nach [Lin09]

In der MDM werden Beziehungen innerhalb der Domänen mithilfe von mehreren DSM modelliert. Diese bilden in Bild 3-5 die grau hinterlegte Diagonale der MDM. Domänenübergreifende Beziehungen werden in *Domain Mapping Matrices (DMM)* abgebildet. Deren Aufbau entspricht weitestgehend einer DSM, jedoch bilden Elemente unterschiedlicher Domänen die Zeilen und Spalten der Matrix.

Die Modellierung der Beziehungen zwischen unterschiedlichen Domänen ermöglicht es innerhalb einer Domäne zusätzlich, indirekte Beziehungen zwischen den Elementen zu identifizieren. So weisen in Bild 3-5 die dreieckigen Elemente 1 und 2 neben der

direkten auch eine indirekte Beziehung über das Element δ auf. Damit wird eine umfassendere Analyse der Beziehungen der Elemente eines komplexen Systems möglich.

Die MDM wird innerhalb des *Structural Complexity Management* in einem Vorgehen angewendet, das die folgenden fünf Schritte umfasst:

1. *System Definition.* Ausgehend von der jeweiligen Problemstellung wird in diesem Schritt das zu betrachtende System definiert. Hierbei wird festgelegt, welche Domänen und Arten von Beziehungen mithilfe der MDM analysiert werden.
2. *Informationsbeschaffung.* Im zweiten Schritt werden die direkten Beziehungen zwischen den Systemelementen auf Basis bestehender Daten oder mithilfe von Experteninterviews ermittelt und in der MDM dokumentiert.
3. *Ableitung indirekter Beziehungen.* Zur Vorbereitung einer Analyse der Struktur innerhalb einer Domäne (z.B. den Komponenten eines Produkts) werden in diesem Schritt die indirekten Beziehungen der Elemente dieser Domäne ermittelt. Diese indirekten, domänenübergreifenden Beziehungen entstehen beispielsweise, wenn die Gestaltung einer Komponente die Anforderungen an andere Komponenten beeinflusst.
4. *Analyse der Struktur.* In diesem Schritt werden relevante Konstellationen innerhalb des Systems ermittelt. Hierzu zählen beispielsweise Feedback-Schleifen, bei denen sich die Änderung eines Elements über mehrere Stationen wiederum auf das Element selbst auswirkt.
5. *Anwendung auf die Gestaltung des Systems.* Basierend auf den vorhergehenden Analysen werden in diesem Schritt Ansätze zur Verbesserung des Systems ermittelt. Beispielsweise wird hier abgeleitet, welche Elemente zusammenzufassen oder welche Beziehungen zu eliminieren sind, um eine Feedbackschleife zu eliminieren. Ziel hierbei ist es, das System so zu verändern, dass es das erwünschte Systemverhalten aufweist.

Das *Structural Complexity Management* ist somit im eigentlichen Sinne keine Modularisierungsmethode, sondern ein generisches Werkzeug zur Analyse und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systeme. Wie die Autoren am Beispiel einer Hochdruckpumpe für Common-Rail-Systeme aufzeigen, ist die Modularisierung eine mögliche Anwendung. Konkrete Inhalte der Modularisierung oder eine Zielvorstellung für die Produktgestaltung sind im *Structural Complexity Management* nicht verankert, da dies der generischen Ausrichtung widersprechen würde.

Theory of Modular Design nach Stone [Sto97]

Diese Methode wurde an der University of Texas in Austin von STONE entwickelt. Ihr Ziel ist es, ein Produkt frühzeitig in der Entwicklung auf Basis der Funktionsstruktur zu modularisieren, um eine effiziente Arbeitsteilung im Entwicklungsprozess zu ermöglichen.

Zentrale Hilfsmittel der Methode sind die folgenden Heuristiken (siehe Bild 3-6), deren Ziel die Identifikation von Modulen in umsatzorientierten Funktionsstrukturen ist:

- *Dominanter Umsatz* - Entsprechend dieser Heuristik werden Funktionen zu Modulen zusammengefasst, die ein gemeinsamer relevanter Umsatz verbindet.
- *Verzweigender Umsatz* - Bilden Funktionen eines Umsatzes parallele Funktionsketten, werden diese in einzelne Module separiert.
- *Wandlung und Übertragung* – Funktionen, die die Umsatzart wandeln, z. B. von elektrischer zu mechanischer Energie, und die nachfolgenden Übertragungsfunktionen sind zu Modulen zusammenzufassen.

Die Modularisierung nach Stone erfolgt mithilfe der folgenden fünf Schritte:

1. *Ermittlung von Kundenanforderungen.* In diesem Schritt werden die Kundenanforderungen geklärt und entsprechend ihrer Relevanz in eine Rangfolge gebracht.
2. *Zerlegung des Problems.* Hier wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen zerlegt und daraus eine umsatzorientierte Funktionsstruktur erarbeitet. Die einzelnen Umsätze dieser Struktur werden anschließend entsprechend ihrer Relevanz zur Erfüllung der Kundenanforderungen in eine Rangfolge gebracht.
3. *Anwendung der Heuristiken.* In diesem Schritt werden obige Heuristiken angewendet, um potenzielle Module in der Funktionsstruktur zu identifizieren.
4. *Durchführung einer quantifizierten Modulbewertung.* Ermittelte potenzielle Module können sich überschneiden, wodurch ihre gleichzeitige Realisierung ausgeschlossen ist. Um die zu realisierenden Module auszuwählen, werden die potenziellen Module hinsichtlich ihres Beitrags zu Erfüllung von Kundenanforderungen bewertet; weiterverfolgt werden Module mit hoher Wertung.
5. *Erzeugung von Konzepten.* Im letzten Schritt wird ein grobes geometrisches Layout erzeugt, auf dessen Basis nach bestehenden Komponenten zur Realisierung des Produkts gesucht wird.

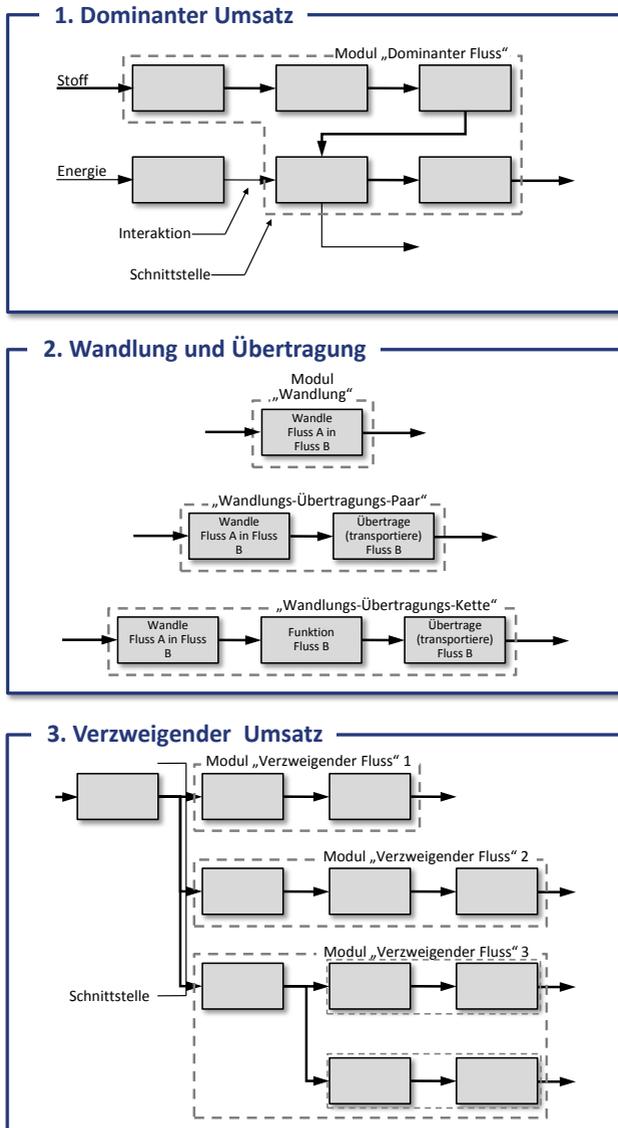


Bild 3-6: Heuristiken zur Identifikation von Modulen in Funktionsstrukturen nach [Sto97]

Die *Theory of Modular Design* nach Stone dient der frühzeitigen Modularisierung auf Basis von Funktionsstrukturen. Die resultierende Modularisierung soll die Arbeitsteilung in der Entwicklung unterstützen. In einem Anwendungsversuch konnten einfach

Module gebildet werden, ein Beitrag zur Vermeidung interner Vielfalt war allerdings nicht feststellbar.

Methodische Unterstützung der Systembildung (METUS) nach Göpfert [Göp98]

Dieses Vorgehen zur Modularisierung wurde an der Ludwig-Maximilian-Universität München am Institut von Prof. Picot erarbeitet und nachfolgend als Beratungsansatz weiterentwickelt. Ziel ist die gemeinsame Modularisierung von Produkt- und Organisationsstruktur [Göp98, Göp00, Göp01].

Hierbei zielt die technische Modularisierung darauf ab, funktional und physisch unabhängige Module zu schaffen. Funktionale Unabhängigkeit wird als gegeben erachtet, wenn ein Modul eine Funktion unabhängig von anderen Modulen erfüllt. Physische Unabhängigkeit liegt vor, wenn die Module aufgrund der Gestaltung der Schnittstellen leicht voneinander zu trennen sind. Diese technische Modularisierung soll es ermöglichen, neue Produkte durch Kombination bestehender Module nach dem Baukastenprinzip abzuleiten, wodurch Produktvarianten oder ganze Produktfamilien mit relativ geringem Entwicklungsaufwand zu erzeugen sind.

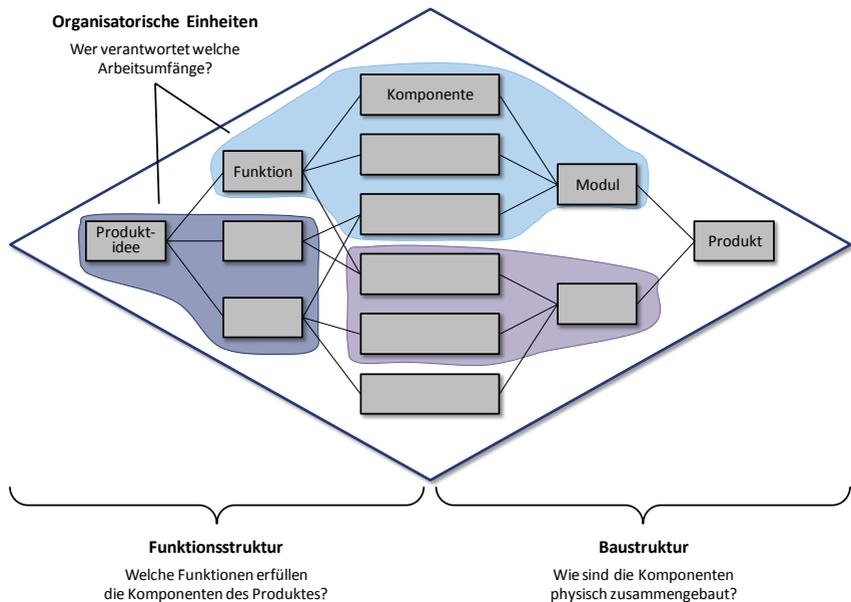


Bild 3-7: Darstellung von Produktarchitektur und Projektorganisation in METUS [Göp00][Göp01]

Ziel der organisatorischen Modularisierung ist es, abgeschlossene Aufgabenumfänge zu schaffen, die weitestgehend autonom zu bearbeiten sind. Da jede Schnittstelle der technischen Module Koordinationsaufwand zwischen den verantwortlichen Organisationseinheiten erzeugt, stehen die technische und organisatorische Modularisierung in direktem Zusammenhang. Um diesen zu minimieren, soll die Organisationsstruktur die modulare Produktstruktur widerspiegeln. Die gemeinsame Modularisierung von Produkt- und Organisationsstruktur wird durch die Bild 3-7 dargestellte Visualisierung unterstützt.

Das Vorgehen der METUS-Methode zur Modularisierung besteht aus folgenden fünf Schritten:

1. *Definition der Prämissen.* Hierbei wird ermittelt, welche Anforderungen bekannt sind, welche Schnittstellen und Baugruppen bereits vorgegeben sind und inwieweit die bestehende Organisation in Frage gestellt werden kann.
2. *Bildung technischer Gestaltungsalternativen.* In diesem Schritt werden verschiedene Produktarchitekturen entwickelt, die aus Funktions- und Baustruktur, sowie deren Relationen bestehen.
3. *Bewertung und Auswahl einer Gestaltungsalternative.* Hier wird mithilfe einer Nutzwertanalyse auf Basis technischer Kriterien eine der Alternativen ausgewählt, die als Basis für die Entwicklung der Organisationsstruktur genutzt wird.
4. *Bildung organisatorischer Gestaltungsalternativen.* In diesem Schritt werden alternative Organisationsstrukturen erarbeitet, indem größere Einheiten der Produktarchitektur auf unterschiedliche Arten zu Tätigkeitsumfängen zusammengefasst werden.
5. *Gesamtbewertung und Auswahl einer technischen und organisatorischen Gesamtlösung.* Hier wird wiederum auf eine Nutzwertanalyse zurückgegriffen, um eine Gesamtlösung auszuwählen. Jedoch werden in diesem Schritt technische und organisatorische Kriterien zur Bewertung genutzt.

Um eine gemeinsame Gestaltung der Produkt- und Organisationsstruktur sicherzustellen, wird dieses Vorgehen nicht sequentiell abgearbeitet, sondern in mehreren Iterationen unterschiedlichen Ausmaßes durchlaufen.

Der Fokus der METUS-Methode ist die Vermeidung organisatorischer Komplexität. Wie Anwendungen der Methode in der Schienenfahrzeug- und Automobilbranche zeigen, leisten die funktional und physisch unabhängigen Module zudem einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung interner Vielfalt [Göp00, Göp01].

Modular Function Deployment nach Erixon [Eri98]

Die Methode *Modular Function Deployment (MFD)* wurde an der Königlichen Technischen Hochschule (KTH) in Stockholm von ERIXON entwickelt. Während die vorhergehend beschriebenen Methoden die Module anhand von technisch-funktionalen Aspekten bilden, nutzt Erixon produktstrategische Gründe zur Modulbildung. So entstehen Module, die aus unternehmensspezifischen Gründen sinnvoll sind, weshalb die Methode ebenfalls auf die Unterstützung der Entwicklung modularer Produktfamilien abzielt [Eri98, Eri99].

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

Bild 3-8: Ausgefüllte Module Indication Matrix (MIM) am Beispiel eines Staubsaugers

Zentrale Hilfsmittel der Methode sind das *Modultreiber*-Konzept und die *Module Indication Matrix (MIM)*. Die Modultreiber sind zwölf produktstrategische Faktoren, die die Modulbildung beeinflussen. Sie entstammen den Bereichen *Produktentwicklung*, *Styling*, *Varianz*, *Produktion*, *Qualität*, *Einkauf* und *After-Sales* und bilden die Zeilen der MIM (siehe Bild 3-8). Den Bereich *Varianz* decken die Modultreiber *Technical Specification* und *Styling* ab. Demnach soll beispielsweise eine Komponente, die der Erzeugung von Styling-Varianten dient, entweder ein eigenes Modul bilden oder mit Komponenten zu einem Modul zusammengefasst werden, die ebenfalls der Erzeugung der Styling-Varianten dienen. Zur Vermeidung der internen Vielfalt tragen darüber hinaus weitere

Modultreiber aus den Bereichen Produktentwicklung und Produktion bei, z.B. *Carry Over* (Generationsübergreifende Nutzung).

Mithilfe der MIM werden die Modultreiber den Komponenten gegenüber gestellt. Hierin wird bewertet, in wie weit die Modultreiber auf die Komponenten zutreffen (siehe Bild 3-8). Dazu werden entweder 0 Punkte (kein Zusammenhang), 1 Punkt (geringer Zusammenhang), 3 Punkte (mittlerer Zusammenhang) oder 9 Punkte (starker Zusammenhang) vergeben. Diese Punkte werden in der unteren Zeile der MIM summiert. Ein hoher Wert der Summe wird als Grund gewertet, eine Komponente in ein eigenes Modul abzutrennen.

Die Modularisierung mithilfe des Modultreiber-Konzepts und der MIM erfolgt in fünf Schritten. Die beiden ersten Schritte sind hierbei optional und können durch eine einfache Dekomposition ersetzt werden. Dieses Vorgehen wird im Folgenden beschrieben.

1. *Bestimmen der Kundenanforderungen.* In diesem Schritt werden mithilfe einer QFD technische Merkmale aus Kundenanforderungen abgeleitet. Zudem wird bewertet inwieweit Modularität der Erfüllung dieser Kundenanforderungen dienlich ist.
2. *Bestimmen technischer Lösungen.* Aus den Anforderungen werden Funktionen abgeleitet, um diesen Funktionsträger oder technische Lösungen zuzuordnen.
3. *Erzeugung von Modulkonzepten.* Unter Verwendung des Modultreiber-Konzepts und der MIM werden alternative Modulkonzepte erzeugt. Dazu werden Komponenten mit hohen Modultreibersummen in eigene Module abgetrennt und Komponenten mit ähnlichen Modultreiberprofilen zu Modulen gruppiert. Die Anzahl der Module sollte in etwa der Quadratwurzel der Anzahl der Einzelteile in der Montage entsprechen, um eine maximale Verkürzung der Durchlaufzeit zu erzielen.
4. *Bewerten der Konzepte.* In diesem Schritt wird die Schnittstellenstruktur der Module gestaltet. Dabei wird angestrebt, die Module entweder sequentiell an das vorhergehende (*Hamburger assembly*) oder alle Module an ein Basismodul zu montieren (*Base-Part assembly*).
5. *Verbessern der Module.* Im letzten Schritt werden die Module unter Verwendung von Design for Manufacturing oder Design for Assembly Prinzipien im Detail verbessert.

Das Separieren und Integrieren von Komponenten anhand von Modultreibern erscheint auch zur Vermeidung der internen Vielfalt zielführend. Experimentelle Anwendungen am Institut PKT haben jedoch gezeigt, dass Modultreiber wie *Carry-Over* oder

Technical Specification zu unspezifisch sind, um eine deutliche Reduzierung der internen Vielfalt zu bewirken.

3.2.3 Bewertung der Methoden zur Entwicklung modularer Produkte

Obwohl Modularisierung vielfach als der zentraler Ansatzpunkt zur Vermeidung der internen Vielfalt angesehen wird, streben viele Modularisierungsmethoden dieses Ziel nicht an. Dies ist Tabelle 1 zu entnehmen, in der die Methoden anhand ihrer Zielsetzung, der unterstützten Entwicklungsschritte und der Qualität ihrer Unterstützung verglichen werden.

Tabelle 1: Vergleich und Einordnung der Methoden zur Entwicklung modularer Produkte

	Vergleichskriterien							
	Die Zielsetzung umfasst die Reduzierung der internen Vielfalt	Variantengerechte Gestaltung der...					Visuelle Unterstützung	Verständlichkeit der Methode
...Unterscheidungsmerkmale und Ausprägungen		...Funktionsstruktur	...Wirkprinzipien	...Komponenten (konstruktiv)	...Produktstruktur			
Methoden zur Entwicklung modularer Produkte								
Integration Analysis Methodology [Pim94]		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Structural Complexity Management [Lin09]	(✓)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Theory of Modular Design [Sto97]		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Methodische Unterstützung der Systembildung (METUS) [Göp98]	✓	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Modular Function Deployment [Eri98]	✓	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

✓ trifft zu (✓) trifft teilweise zu ● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt

Sowohl die *Integration Analysis Methodology* nach PIMMLER und EPPINGER als auch die *Theory of Modular Design* nach STONE zielen auf die Minimierung des Koordinationsaufwands in der Produktentwicklung ab. Die Gestaltung der Produktstruktur orientiert sich jeweils an diesem Ziel. Eine umfassende Unterstützung der variantengerechten Produktstrukturierung bieten diese Methoden somit nicht.

Dagegen ist es erklärtes Ziel der Methoden *METUS* und *Modular Function Deployment*, die interne Vielfalt zu reduzieren. Im Hinblick auf die variantengerechte Gestaltung der Produktstruktur steht in beiden Methoden die Differenzierung zwischen Varianten- und Standardmodulen im Vordergrund. *METUS* differenziert etwas genauer nach der Art der Varianz in Varianten- und Standardkomponenten, sowie optionale Komponenten. *Modular Function Deployment* unterscheidet nach der Ursache der Varianz zwischen unterschiedlicher Spezifikation und Styling. Die Betrachtung der Variantenvielfalt bleibt damit in beiden Fällen unspezifisch, weshalb auch diese Methoden keine umfassende Unterstützung der variantengerechten Produktstrukturierung bieten. Beide Methoden zeichnen sich aber durch ihre gute Verständlichkeit aus, dabei profitiert insbesondere die Methode *METUS* von ihrer Unterstützung durch einfache und leicht nachvollziehbare Visualisierungen.

Das *Structural Complexity Management* nach LINDEMANN et al. grenzt sich stark, von den anderen vorgestellten Methoden ab. Als generischer, systemtheoretisch geprägter Ansatz gibt diese Methode weder ein konkretes Ziel noch ein Gestaltungsobjekt vor. Damit bietet der Ansatz das Rahmenwerk für eine bewusste, zielgerichtete Gestaltung der Produktstruktur. Eine konkrete Unterstützung der Entwicklung variantengerechter Produktstrukturen bietet der Ansatz in dieser Form nicht, eine entsprechende Unterstützung könnte jedoch auf Basis dieses Ansatzes entwickelt werden.

3.3 Entwicklung von Produktplattformen

3.3.1 Grundlagen der Entwicklung von Produktplattformen

Die Grundidee von Produktplattformen ist es, eine gemeinsame Basis für eine Produktfamilie zu schaffen, wie sie in Bild 3-9 hellgrau dargestellt ist.

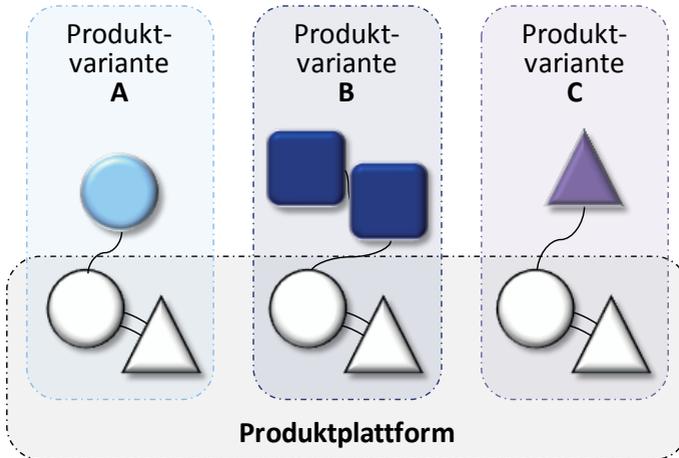


Bild 3-9: Schematische Darstellung der Grundidee einer Produktplattform

Auch der Begriff der Produktplattform wird in der Literatur auf unterschiedliche Art definiert. Hierbei liegen die maßgeblichen Unterschiede im Betrachtungsrahmen. Der Fokus einiger Definitionen beschränkt sich auf das Produkt, während andere den Begriff im Rahmen der Wertschöpfungskette definieren [Jia07]. Beispielsweise nutzt SCHUH eine produktbezogene Definition, indem er Produktplattformen als „Zusammenfassung derjenigen Komponenten, Schnittstellen und Funktionen, die über eine ganze Produktfamilie zu vereinheitlichen, das heißt zeitlich stabil sind“ beschreibt [Sch01]. Eine Vielzahl der Elemente, die eine gemeinsame Plattform umfassen, wie beispielsweise gemeinsame Fertigungsprozesse oder Technologien werden mittels

einer solchen Definition allerdings nicht abgedeckt. In dieser Arbeit soll der Begriff deshalb wie folgt weitergefasst definiert werden:

Eine Produktplattform ist die gemeinsame Basis einer Produktfamilie, die sowohl Komponenten, Prozesse, Wissen als auch Menschen und Beziehungen umfassen kann. Sie ermöglicht es, eine Reihe von Produktvarianten effizient abzuleiten und zu produzieren (vgl. [Rob98, Mey97]).

Eine solche Plattform schafft als Basis einer Produktfamilie eine Reihe von Vorteilen im gesamten Produktlebenszyklus. Sie verbessert die Möglichkeit spezifische Marktbefürfnisse zu erfüllen, da aus der Plattform einfach Produktvarianten für unterschiedliche Kundengruppen oder Marktsegmente abgeleitet werden können. Die Entwicklung bleibt auf wenige Komponenten beschränkt, die zur Differenzierung der Produktvarianten im Markt dienen. Des Weiteren werden Entwicklungskosten und -zeiten für die Einführung neuer Varianten reduziert, da eine weitgehende Nutzung bestehender Komponenten und Prozesse möglich ist. Dadurch vermindern sich auch die erforderlichen Investitionen in die Produktionsmittel. Zusätzlich verringern Produktplattformen das Risiko der Entwicklung neuer Produkte, da die erforderlichen Investitionen auf eine Reihe von Produktvarianten für verschiedene Kundengruppen, Leistungskategorien und Marktsegmente verteilt werden.

Die Entwicklung von Produktplattformen ist jedoch mit einem zentralen Risiko behaftet: Ein Ungleichgewicht zwischen Differenzierung und Kommunalität innerhalb der Produktfamilie. Dies tritt häufig auf, wenn der Abstimmungsprozess von Vertrieb oder Produktion dominiert wird. Resultat ist entweder übertriebene Differenzierung, die überhöhte Kosten verursacht, oder überhöhte Standardisierung, die das Abdecken verschiedener Marktsegmente unmöglich macht.

Trotz des Risikos zeigen viele Praxisbeispiele den erfolgreichen Einsatz einer Plattformstrategie. So ist das Ford Model T entgegen der Legende eine der ersten erfolgreich eingesetzten und bekannten Produktplattformen. Auf Basis dieser Plattform wurden gleichzeitig bis zu elf unterschiedliche Karosserievarianten sowie individuell gestaltete Karosserien angeboten. Diese wurden auf Basis einer Plattform realisiert, die Motor, Getriebe, Tank, Aufhängungen, Räder, Lenksäule, Steuerrad und Lichter umfasste. Das kostengünstige Angebot dieser Vielfalt war nur aufgrund der Massenfertigung dieser standardisierten Plattform möglich. Dadurch konnte Ford mit dem Modell T über 19 Jahre den amerikanischen Automobilmarkt dominieren [Ali08].

Weitere Beispiele erfolgreicher Produktplattformen sind die Einwegkameras der Firma Kodak oder der Sony Walkman. Im erstgenannten Beispiel konnte die Firma Kodak als Fast Follower mit einer Plattformstrategie bereits nach wenigen Jahren den Markt beherrschen [Rob98]. Im zweiten Beispiel dominierte Sony mit dem Walkman über ein

Jahrzehnt den weltweiten Markt der tragbaren Abspielgeräte für Musikkassetten auf Basis von vier Produktplattformen. Die hieraus abgeleiteten Varianten waren durchschnittlich doppelt solange am Markt erfolgreich wie vergleichbare Konkurrenzprodukte, da sie exakt die Bedürfnisse des jeweiligen Marktsegments erfüllten [San95].

Im Folgenden werden drei grundlegende Methoden zur Planung und Entwicklung von Produktplattformen vorgestellt.

3.3.2 Methoden zur Entwicklung von Produktplattformen

Platform-Planning Process nach Robertson und Ulrich [Rob98]

Der gemeinsam von ROBERTSON und PROF. ULRICH an der University of Pennsylvania entwickelte *Platform-Planning Process* ist eine Methode zur Planung von Produktplattformen, die auf folgenden drei Grundgedanken basiert:

- Kunden ist die Differenzierung der Produktvarianten wichtig. Die Kosten der Produktvarianten werden dagegen vom Anteil gemeinsamer Elemente bestimmt.
- Bei einer gegebenen Produktstruktur muss ein Kompromiss zwischen Differenzierung der Produktvarianten und dem Anteil gemeinsamer Elemente gefunden werden.
- Die Art dieses Kompromisses wird von der Produktstruktur bestimmt. Eine integrale Struktur erlaubt bei starker Differenzierung nur einen geringen Anteil gemeinsamer Elemente, eine modulare Struktur ermöglicht einen wesentlich höheren Anteil.

Auf Basis dieser drei Thesen wird ein Vorgehen zur Planung von Produktplattformen abgeleitet, das auf der Erstellung des Produkt-, Differenzierungs- und Vereinheitlichungsplans basiert (siehe Bild 3-10). Diese drei Pläne systematisieren die Bildung des Kompromisses zwischen der Differenzierung und dem Anteil gemeinsamer Elemente der Produktvarianten.

Im ersten Schritt wird der Produktplan erstellt, der dokumentiert, welche Produktvarianten wann in den Markt eingeführt werden. Anschließend wird der Differenzierungsplan erarbeitet. Dieser beschreibt, welche Unterscheidungsmerkmale die Produktvarianten voneinander abgrenzen, und welche Ausprägungen sie jeweils annehmen. Daraus wird abgeleitet, welche gemeinsamen Komponenten die Produktvarianten aufweisen, und welche Kosten die Differenzierung verursacht. Dies wird im Vereinheitlichungsplan dokumentiert.

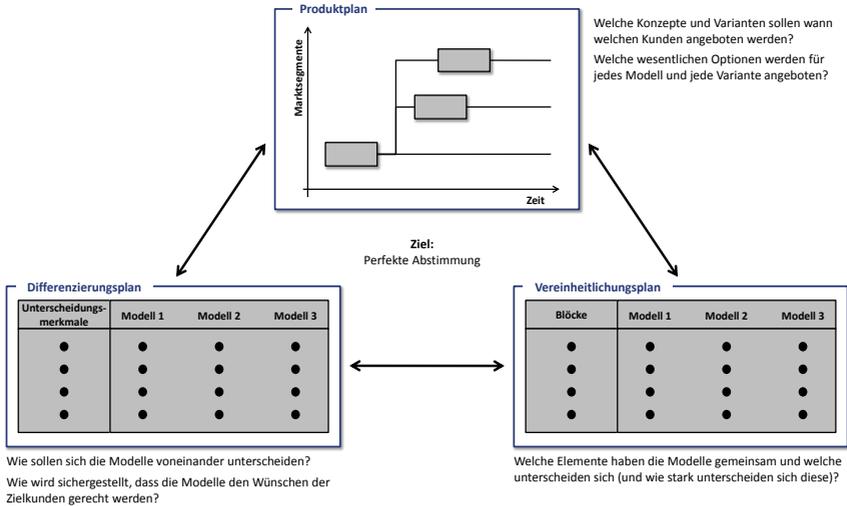


Bild 3-10: Iteratives Vorgehen im *Platform-Planning Process* nach [Rob98]

Nach dem Erstellen der Pläne werden diese in einem iterativen Vorgehen abgestimmt und detailliert. Gleichzeitig wird die Produktstruktur optimiert, wozu die Unterscheidungsmerkmale den Bausteinen gegenübergestellt werden. Kostengünstige Bausteine mit Bezug zu wichtigen Unterscheidungsmerkmalen gelten als ideal zur Differenzierung, kostenintensive Bausteine mit Bezug zu wenig relevanten Unterscheidungsmerkmalen sind dagegen rigoros zu standardisieren. Problematisch sind dagegen kostenintensive Bausteine mit Bezug zu wichtigen Unterscheidungsmerkmalen. Diese sind konstruktiv umzugestalten, um eine kostengünstige Differenzierung zu ermöglichen. Innerhalb der Methode wird dies allerdings nicht unterstützt.

Fokus der Methode ist demnach die systematische Kompromissbildung zwischen der Differenzierung der Produktvarianten und dem Anteil gemeinsamer Elemente. Zusätzlich wird die Verbesserung der Produktstruktur angestrebt, da sie die Art des Kompromisses bestimmt. Ziel ist es, eine Produktstruktur zu schaffen, die wichtige Unterscheidungsmerkmale durch günstige Bausteine abbildet und in der kostenintensive Bausteine standardisiert sind.

Power Tower nach Meyer und Lehnerd [Mey97]

MEYER – heute Professor an der Northeastern University – und LEHNERD beschreiben die Organisation, das Management und die Denkweisen, die zur erfolgreichen Entwicklung von Produktfamilien auf Basis von Produktplattformen erforderlich sind. Daraus leiten sie einen Prozess zur Entwicklung von Produktplattformen ab.

Dieser Prozess startet mit der Vorbereitung der Einführung einer neuen Plattform. Dazu soll ein interdisziplinäres Team die bisherige Produktlinie aus Produktfamilien- und Produktplattform-Perspektive verstehen und analysieren. Die zentralen Fragestellungen dieser Vorbereitungsphase sind:

- Welche bisherigen Plattformen bestehen in diesem Geschäftsfeld?
- Welche Produkte wurden bisher aus diesen Plattformen abgeleitet?
- Wurden diese abgeleiteten Produkte effizient entwickelt?

Diese Analyse schafft ein gemeinsames Verständnis für den Bedarf zur Erneuerung der Produktlinie und für ihre Ausrichtung. Die nachfolgende Planung des Plattform-Projekts unterstützt der Power Tower als Denk-Werkzeug, das durch den gesamten Planungsprozess führen soll (siehe Bild 3-11).

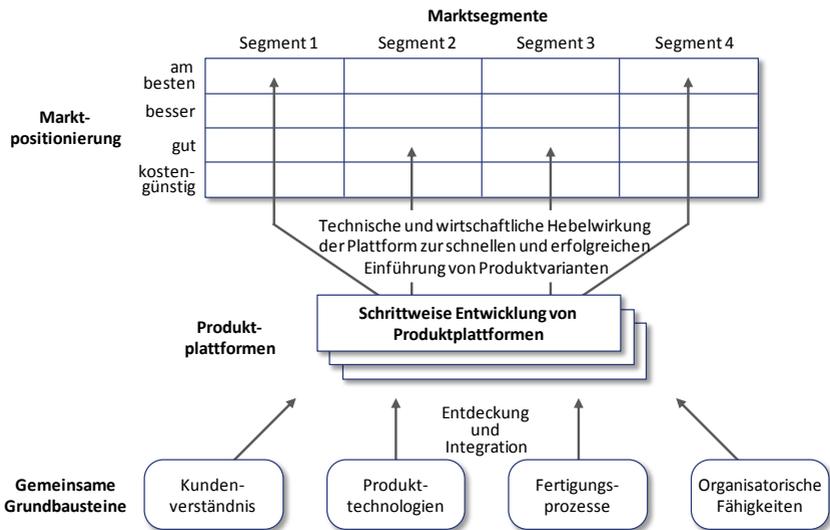


Bild 3-11: Der Power Tower, ein Modell des Plattform-Planungs-Prozesses [Mey97]

Dieser Planungsprozess besteht aus folgenden fünf Schritten:

1. *Definition der Plattformstrategie.* In diesem Schritt wird festgelegt, ob die Plattform auf den High- oder Low-End-Bereich ausgerichtet wird, und welche Marktsegmente und -nischen damit bedient werden sollen.
2. *Definition der zentralen Bausteine der Plattform.* Diese Bausteine setzen sich aus Marktkenntnissen, Produkttechnologien, Produktionsprozessen und Distributionswegen zusammen. Ihre Erfassung und ein objektiver Abgleich mit den Kompetenzen des Unternehmens ermöglicht es, die beste Strategie zur Einführung der Plattform und der abgeleiteten Produkte zu bestimmen.
3. *Aufbau des Composite Designs und Zusammenstellen der Grundbausteine.* Der Aufbau des sogenannten Composite Designs umfasst die Identifikation von Subsystemen und ihren Schnittstellen, ihre Analyse hinsichtlich Funktion und Kosten und ihre Integration zu einem harmonischen Gesamtsystem.
4. *Entwicklung eines Einführungsplans für die abgeleiteten Produkte.* In diesem Schritt werden für jedes Marktsegment die Basisprodukte und ihre Erweiterungen beschrieben. Zusätzlich wird die Ausweitung und Weiterentwicklung der Plattform geplant.
5. *Organisation des Plattform-Entwicklungs-Teams.* Im letzten Schritt wird das Team zur Entwicklung der Plattform zusammengestellt. Darin sollten alle beteiligten Organisationseinheiten des Unternehmens und gegebenenfalls andere beteiligte Unternehmen (z.B. Systemlieferanten) vertreten sein. Um das Team zur Entwicklung der Produktplattform zu befähigen, muss das Management des Unternehmens unbedingt dazu bereit sein, die Finanzierung des mehrjährigen, mehrere Produkte und Märkte umfassenden Projekts sicherzustellen.

Meyer und Lehnerd sehen somit das zentrale Problem hinsichtlich der internen Vielfalt in Organisationen, Strukturen und Denkweisen, die auf einzelne Produkte ausgerichtet sind. Sie beschreiben deshalb den organisatorischen Rahmen für eine erfolgreiche Entwicklung von Produktplattformen und -familien. Der Fokus ihres vorgeschlagenen Prozesses ist die Planung und nicht die eigentliche Entwicklung von Produktplattformen.

Product Platform Concept Exploration Method (PPCEM) nach Simpson et al. [Sim01]

Die Methode *PPCEM* wurde an der Pennsylvania State University durch PROF. SIMPSON entwickelt. Im Gegensatz zu den vorhergehend beschriebenen Ansätzen unterstützt sie nicht die Planung von modular konfigurierbaren, sondern die Entwicklung von

skalierbaren Produktplattformen. Produktvarianten, die auf einer solchen Plattform basieren, unterscheiden sich in den Werten der sogenannten *Skalier-Variablen* [Sim01].

Die Methode ist als Top-Down-Ansatz ausgeführt, sie unterstützt die strategische Einführung von Plattformen, nicht aber die Konsolidierung bestehender Produktfamilien (Bottom-Up). Diese Ausrichtung ist aus der These abgeleitet, dass die konsequente Anwendung von Top-Down-Ansätzen eine spätere Konsolidierung überflüssig macht.

Ziel der Methode ist es, skalierbare Produktplattformen und die resultierenden Produktfamilien zu modellieren, zu analysieren und zu gestalten. Die Methode PPCEM stellt dazu ein Vorgehen bereit, das in fünf Schritten aus den allgemeinen Anforderungen die Spezifikationen der Plattform und der Produktfamilie ableitet (siehe Bild 3-12).

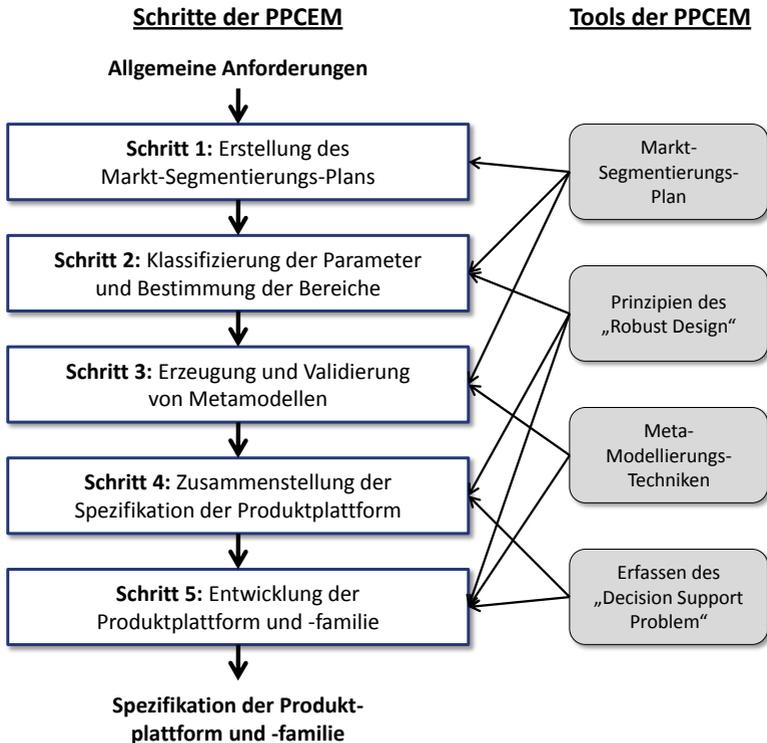


Bild 3-12: Vorgehen und Werkzeuge der *Product Platform Concept Exploration Method* nach [Sim01]

Im ersten Schritt wird ein Markt-Segmentierungs-Plan erstellt. Dieser legt fest, welche Marktsegmente und Leistungskategorien die Produktfamilie abdecken soll. Im zweiten

Schritt werden die Gestaltungsparameter, die Einflussfaktoren, die Randbedingungen, die Zielgrößen und die Skalier-Variablen festgelegt. Da eine solche a priori Festlegung der Skalier-Variablen die Ergebnisqualität negativ beeinflussen kann, können diese alternativ auch im Rahmen einer Optimierungsrechnung bestimmt werden [Sim06]. Im dritten Schritt werden Meta-Modelle (z.B. Antwortflächen) eingeführt, um den Aufwand zur numerischen Berechnung der Zusammenhänge zwischen Gestaltungsparametern, Skalier-Variablen und Zielgrößen zu minimieren. Im vierten Schritt wird aus den bisherigen Ergebnissen eine Optimierungsaufgabe abgeleitet, mit deren Hilfe die Größen der Gestaltungsparameter und der Skalier-Variablen für die einzelnen Produktvarianten ermittelt werden können. Im fünften Schritt wird diese Optimierungsrechnung unter Beachtung der allgemeinen Anforderungen durchgeführt.

Die Methode zielt darauf ab, die Entwicklung von Produktplattformen zu unterstützen, die durch Änderung einzelner Parameter verschiedene Marktsegmente oder Leistungsklassen abdecken können. Das Vorgehen interpretiert die Entwicklungsaufgabe als Optimierungsrechnung, weshalb es auf Aufgaben begrenzt ist, die eine mathematische Beschreibung ermöglichen. Innerhalb dieses Anwendungsfelds kann das Vorgehen gute Ergebnisse erzielen, wie die Autoren am Beispiel von Flugzeugen und Elektromotoren zeigen [Sim01, Sim06].

3.3.3 Bewertung der Methoden zur Entwicklung von Produktplattformen

Im Gegensatz zur Entwicklung modularer Produkte zielt die Entwicklung von Produktplattformen immer auf eine Reduzierung der internen Vielfalt ab.

Die Methode *The Power Tower* beschreibt die Organisation, das Management und die Denkweisen, die zur erfolgreichen Entwicklung von Produktfamilien auf Basis von Produktplattformen erforderlich sind. Eine konkrete Unterstützung der variantengerechten Gestaltung einer Produktfamilie ist nicht das Ziel dieser Methode.

Wie in Tabelle 2 dargestellt, unterstützen die Methoden *Platform-Planning Process* und die *Product Platform Concept Exploration Method* direkt die Entwicklung von Produktplattformen, wobei sie jedoch grundsätzlich unterschiedliche Arten von Produktplattformen betrachten.

Die *Platform-Planning Process* nach ROBERTSON und ULRICH beschreibt die Entwicklung von modular konfigurierbaren Produktplattformen. Im Mittelpunkt der Methode steht die Bildung des Kompromisses zwischen Differenzierung der Produktvarianten und dem Anteil gemeinsamer Elemente. Dabei wird während der Produktstrukturierung ermittelt, welche Komponenten zu standardisieren oder konstruktiv umzugestalten sind. Die Methode leitet somit Aufgaben für eine konstruktive variantengerechte Gestaltung der Komponenten ab, unterstützt diese aber nicht.

Tabelle 2: Vergleich und Einordnung der Methoden zur Entwicklung von Produktplattformen

Vergleichskriterien								
Die Zielsetzung umfasst die Reduzierung der internen Vielfalt	Variantengerechte Gestaltung der...						Visuelle Unterstützung	Verständlichkeit der Methode
	...Unterscheidungsmerkmale und Ausprägungen	...Funktionsstruktur	...Wirkprinzipien	...Komponenten (konstruktiv)	...Produktstruktur			
Methoden zur Entwicklung von Produktplattformen								
Platform-Planning Process [Rob98]	✓	◐	○	○	◐	◐	◐	●
The Power Tower [Mey97]	(✓)	○	○	○	○	○	○	○
Product Platform Concept Exploration Method (PPCEM) [Sim01]	✓	◐	○	○	◐	◐	○	○

✓ trifft zu (✓) trifft teilweise zu ● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt

Die Methode *Product Platform Concept Exploration Method* nach SIMPSON unterstützt die Entwicklung von skalierbaren Produktplattformen und interpretiert die Plattformentwicklung als Optimierungsaufgabe. Die abgeleiteten Produktvarianten unterscheiden sich nur in den Werten der sogenannten *Skalier-Variablen*. Durch das Bestimmen der Skalier-Variablen und ihrer Ausprägungen beeinflusst die Methode sowohl Gestalt als auch Struktur der Produkte. Durch den spezifischen Fokus auf skalierbaren Produktplattformen ist die Methode nur zur Gestaltung eines sehr begrenzten Anteils von Produktfamilien geeignet. Auch sie bietet damit keine umfassende Unterstützung der variantengerechten Gestaltung von Produktfamilien.

3.4 Entwicklung variantengerechter Produkte

3.4.1 Grundlagen der Entwicklung variantengerechter Produkte

Die vorhergehend vorgestellten Ansätze betrachten die Planung und Entwicklung von Produktstrukturen. Demgegenüber werden im folgenden Abschnitt Methoden vorgestellt, die neben der Produktstrukturierung auch die konstruktive Gestaltung von Produktfamilien unterstützen.

3.4.2 Methoden zur Entwicklung variantengerechter Produkte

Variantenoptimierte Gestaltung nach Franke, Firchau et al. [Fra02a, Fra02b, Fir03]

Die *Variantenoptimierte Produktgestaltung* ist ein Vorgehen zur Entwicklung variantenreicher Produkte, das an der Technischen Universität Braunschweig von PROF. FRANKE ET AL. entwickelt wurde [Fra02a]. Die letzte Detaillierung des Vorgehens wurde durch FIRCHAU veröffentlicht [Fir03].

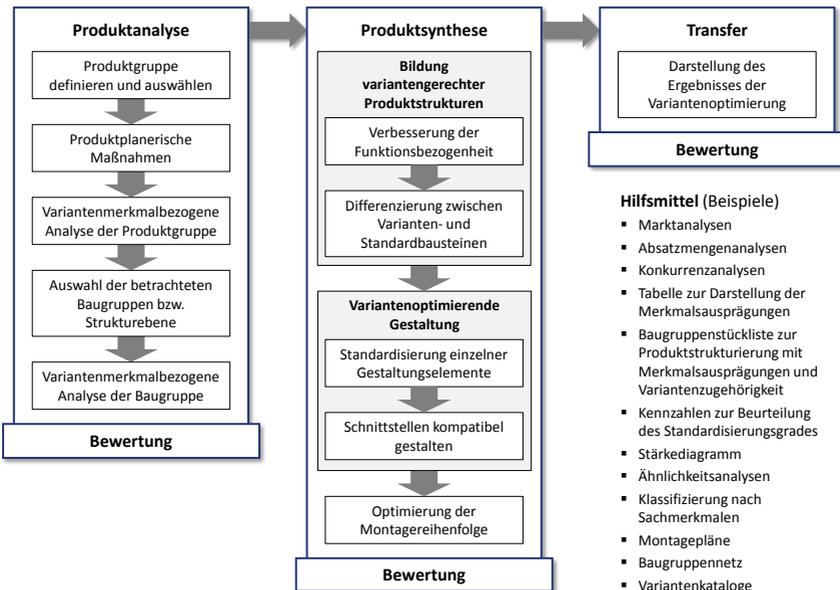


Bild 3-13: Überblick über einen variantenoptimierenden Entwicklungsablauf [Fra02a, Fir03]

Der Fokus auf die Entwicklung eines Vorgehens resultiert aus dem Projekt EVAPRO [Fra02b]. Hier zeigte sich, dass nicht die theoretische Bekanntheit variantenoptimierender

Produktstrukturen das eigentliche Problem darstellt, sondern deren Realisierung in der Praxis.

Dieses Problem soll ein detailliertes Vorgehen lösen, für dessen einzelne Schritte Methoden hinterlegt sind. Deren gute Zugänglichkeit soll durch die Nutzung von Methodenkatalogen sichergestellt werden. Das Bild 3-13 zeigt einen Überblick über das Vorgehen, das durch Firchau weiter systematisiert und detailliert wurde [Fir03].

Im dargestellten Stand ist das Vorgehen in die drei Schritte Produktanalyse, Produktsynthese und Transfer gegliedert. Die Analyse dient dazu, relevante Produktgruppen und deren zu betrachtende Baugruppen zu identifizieren. Diese werden in der anschließenden Produktsynthese variantengerecht strukturiert und variantenoptimierend gestaltet. Zur Unterstützung dieses Schritts werden Methoden wie das Stärkediagramm nach Franke [Fra93] oder das Modular Function Deployment [Eri98] vorgeschlagen. Das gesamte Vorgehen soll durch eine kontinuierliche Kosten-Nutzen-Bewertung begleitet werden. Um den Aufwand einer Prozesskostenrechnung zu vermeiden, wird die Verwendung einer Methode zur variantenorientierten Prozesskostenschätzung nach JESCHKE empfohlen [Fra02a, Jes97].

Hinsichtlich der variantengerechten Umgestaltung der Produktfamilie werden im Wesentlichen zwei Kriterien genannt.

Das erste Kriterium ist die „unabhängige Kombinierbarkeit von Merkmalen und Funktionen“ [Fra02a]. Diese soll erreicht werden, indem Merkmale (z.B. Länge, Durchmesser, Gewicht) und Funktionen möglichst in einzelnen abtrennbaren Baueinheiten enthalten sind.

Das zweite Kriterium ist der Aufbau der Produktfamilie aus Elementen, die eindeutig als Standard- und Variantenbausteine zu identifizieren sind. Die Standardbausteine sollen sich durch eine hohe Verwendungshäufigkeit in der Produktgruppe und einen möglichst hohen anteiligen Wert auszeichnen. Dieser wird nicht nur von den Herstellkosten sondern auch von der Beschaffungszeit oder dem benötigten Lagerraum bestimmt.

Variantenbausteine weisen eine geringe Verwendungshäufigkeit auf und sollen im Vergleich zu Standardbausteinen einen geringen Wert haben; das heißt sie sollen kostengünstig zu fertigen, leicht zu beschaffen und mit geringem Aufwand zu lagern sein [Fra93]. Um dies zu erreichen, gibt die variantenoptimierten Produktgestaltung folgende Richtlinien für die konstruktive Gestaltung der Komponenten vor:

- Modulare Konzepte sind besser als integrale Konzepte dazu geeignet, die unabhängige Kombinierbarkeit von Merkmalen und Funktionen zu ermöglichen.

- Gestaltungsprinzipien mit höherer Symmetrie sind besser als Variantenträger geeignet.
- Überdimensionierung kann auf vielfältige Art zur Variantenreduzierung genutzt werden.
- Bestehende Gestaltungsalternativen können unterschiedlich gut zur Abbildung der Produktvielfalt geeignet sein, dies sollte bei ihrer Auswahl berücksichtigt werden [Fra02a].

Die *Variantenoptimierte Produktgestaltung* ist somit ein Vorgehen, dessen einzelnen Schritten vielfältige Methoden zugeordnet sind. Die konstruktive Gestaltung der Komponenten wird mit vier Maßnahmen unterstützt.

Variety Mode and Effect Analysis (VMEA) nach Caesar und Schuh [Sch89, Cae91, Sch01]

Die VMEA wird als eine kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte bezeichnet, die eine geeignete Festlegung der Angebotsvielfalt und eine optimale Gestaltung der Einzelteil- und Baugruppenvielfalt unterstützen soll. Die VMEA wurde von CAESAR und PROF. SCHUH an der RWTH Aachen entwickelt.

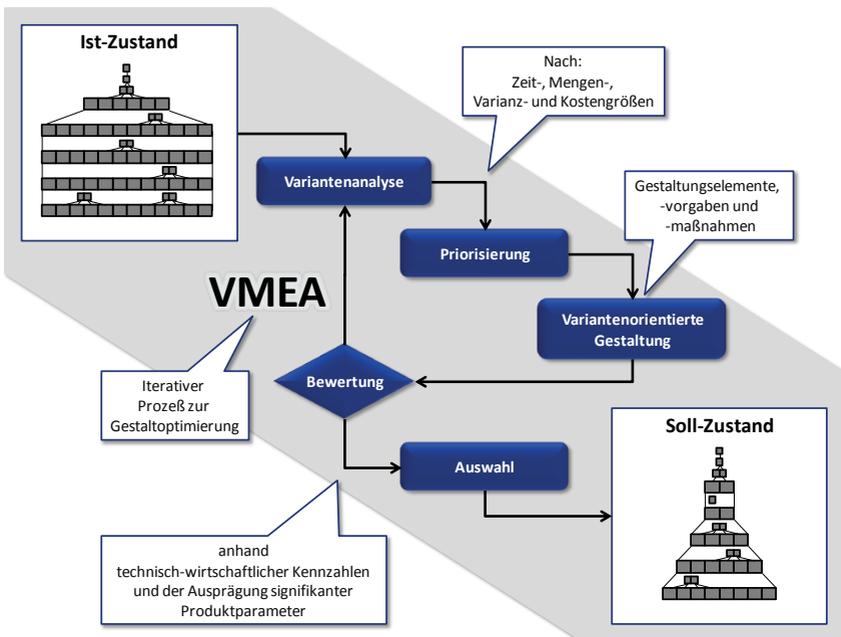


Bild 3-14: Gestaltungsmethodik der Variety Mode and Effects Analysis (VMEA) nach CAESAR [Cae91]

Die Methodik greift auf den Variantenbaum nach Schuh [Sch89] zurück und nutzt ihn als Analyseinstrument und zur Visualisierung der Vielfalt. Der Variantenbaum stellt horizontal die Vielfalt und vertikal die Montagereihenfolge dar. Er ermöglicht eine Prognose der Vielfalt auf Teile-, Baugruppen- und Produktebene unabhängig vom Konstruktionsfortschritt. Ein schlanker Variantenbaum, wie er im Bild 3-14 als Soll-Zustand dargestellt ist, bedeutet damit eine kleine Vielfalt auf jeder dieser Ebenen und eine späte Variantenbildung in der Montage [Sch89, Cae91, Sch01].

Die VMEA nutzt den Variantenbaum innerhalb eines iterativen Vorgehens, das die vier Schritte *Marktorientierte Ermittlung und Gestaltung der Produktfunktionen*, *Ableiten der Gestaltungsalternativen*, *Bewerten der alternativen Lösungen* und *Schlanker Vertrieb für komplexe Produkte* umfasst [Sch01].

Wie im Bild dargestellt, zielt die Entwicklung der Gestaltungsalternativen darauf ab, den Variantenbaum der betrachteten Produktfamilie in den Soll-Zustand zu überführen. Dazu werden die folgenden zehn Maßnahmen vorgeschlagen. Die Reihenfolge der Aufzählung entspricht hierbei dem Potenzial zur Variantenreduzierung; die Begrifflichkeiten wurden zum besseren Verständnis geringfügig angepasst.

- Beschränke den Einfluss von Spezifikationsmerkmalen auf einen Umfang.
- Überführe optionale Umfänge in sich ersetzende variante Umfänge.
- Grenze sich ersetzende variante Umfänge gegenüber optionalen Umfängen in einem Montageumfang ab.
- Integriere oder differenziere miteinander verbaute Einzelteilvarianten in Umfänge, die vom gleichen Spezifikationsmerkmal abhängen.
- Reduziere die Anzahl der unterschiedlichen Ausprägungen der Spezifikationsmerkmale sich ersetzender varianter Umfänge.
- Betrachte zuerst Umfänge mit der geringsten Anzahl an Ausprägungen der Spezifikationsmerkmale.
- Grenze Funktionsbaugruppen in einem Montageumfang ab.
- Isoliere funktionsunabhängige Spezifikationsmerkmale (Farben, Sprachen, etc.).
- Reduziere zuerst die Anzahl der Ausprägungen des Spezifikationsmerkmals mit der geringsten Anzahl an Ausprägungen.
- Übernehme optionale Umfänge vor varianten Umfängen in Serienumfänge.

Aufgrund dieser zehn Maßnahmen bietet die VMEA die umfangreichste Unterstützung zur Vermeidung der Vielfalt während der konstruktiven Gestaltung einer Produktfamilie. Die Methodik unterstützt sowohl die Optimierung der externen als auch die Minimierung der internen Vielfalt.

Design for Variety nach Martin und Ishii [Mar00]

Die Methode *Design for Variety* wurde an der Stanford University durch MARTIN und PROF. ISHII entwickelt. Ziel dieser Methode ist die Unterstützung der Entwicklung von Produktplattformen, die gegenüber zukünftigen Produktänderungen stabil sind [Mar99]. Dazu werden sowohl die Strukturierung als auch die Gestaltung der Produkte betrachtet. Die Methode soll speziell zur Vermeidung jener internen Vielfalt beitragen, die durch generationsübergreifende Produktvielfalt entsteht. Daraus resultieren die beiden folgenden zentralen Fragen, die mithilfe der Methode beantwortet werden sollen [Mar00]:

- Welche Komponenten müssen voraussichtlich geändert werden, um zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden?
- Welche Komponenten verursachen, wenn sie geändert werden, die Änderung anderer Komponenten?

Um diese Fragestellungen für ein zu entwickelndes Produkt zu beantworten, werden der *Generational Variety Index (GVI)* und der *Coupling Index (CI)* genutzt.

Der GVI gibt an, welcher Umfang von Änderungen zu erwarten ist, um eine Komponente an zukünftige Anforderungen anzupassen (siehe Bild 3-15) [Mar99]. Um den GVI zu berechnen, werden die zu erwartenden Änderungen der technischen Spezifikationsmerkmale ermittelt und den Komponenten in einer Matrix gegenüber gestellt. In dieser Matrix werden anschließend ihre Auswirkungen auf die Komponenten mit Punkten von 0 (keine Änderung) bis 9 (erhebliche Änderungen) bewertet. Der GVI ist die Summe dieser Punkte für eine Komponente und damit ein Maß für Wahrscheinlichkeit und Umfang zukünftiger Änderungen einer Komponente.

Der CI bewertet die Stärke der Kopplungen zwischen den Komponenten eines Produkts. Je stärker diese Kopplungen sind, desto wahrscheinlicher erfordert die Änderung einer Komponente die Änderung anderer [Mar99]. Zur Berechnung des CI wird für jede Komponente ermittelt, welche Anforderungen sie an andere Komponenten stellt, und welche Anforderungen diese an sie stellen. Die Sensitivität der betroffenen Komponente hinsichtlich Änderungen dieser Anforderungen wird wiederum mit Punkten von 0 bis 9 bewertet. Die Summe dieser Punkte für die Anforderungen an andere Komponenten wird als *Coupling Index – Supply (CI-S)* bezeichnet und ist ein Maß für den Einfluss der Komponente. Die Summe dieser Punkte für die Anforderungen von

anderen Komponenten wird als *Coupling Index – Receive (CI-R)* bezeichnet und misst die Beeinflussung der Komponente (siehe Bild 3-15).

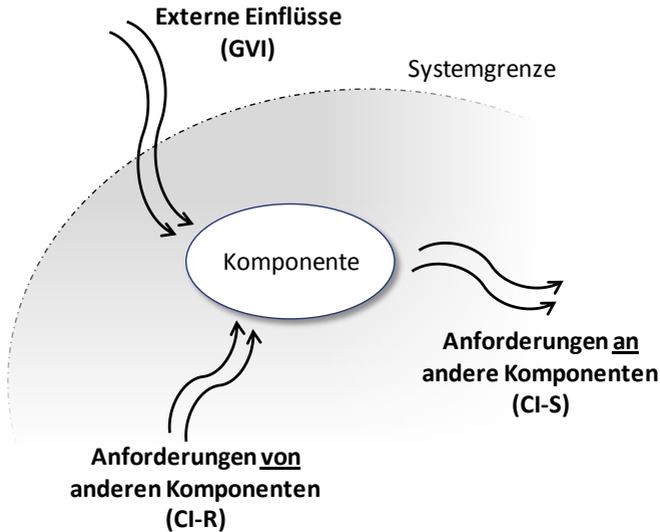


Bild 3-15: Überblick über die Indizes der Methode Design for Variety nach [Mar00]

Basierend auf diesen beiden Indizes haben Martin und Ishii ein methodisches Vorgehen zur Entwicklung generationsübergreifend stabiler Produktplattformen abgeleitet. Im ersten Schritt dieses Vorgehens werden die oben beschriebenen Indizes berechnet. Im Anschluss werden die Komponenten entsprechend der ermittelten Werte sortiert und daraus Prioritäten für die Umgestaltung, das heißt für die Standardisierung und Modularisierung der Komponenten abgeleitet. Im letzten Schritt erfolgt die eigentliche Entwicklung der Produktplattform, wobei versucht wird GVI und CI der relevanten Komponenten zu minimieren. Dazu werden die folgenden zwei Maßnahmen vorgeschlagen, um den Einfluss anderer Komponenten oder externer Anforderungen zu eliminieren:

- *Ändern der Zuordnungsstruktur zwischen Funktionen und Komponenten.* Dazu werden beispielsweise Funktionen, deren Änderung zukünftig erwartet wird, aus Komponenten ausgelagert.
- *Einfrieren einer Spezifikation.* Damit wird für einzelne Merkmale festgelegt, dass sie in der Lebensdauer der Plattform nicht geändert werden.

Zusätzlich werden folgende zwei Maßnahmen vorgeschlagen, um die Sensitivität dieser Komponenten gegenüber Änderungen zu minimieren:

- *Reduzieren interner Kopplungen.* Hierzu sollen Komponenten beispielsweise in Differential- statt Integralbauweise aufgebaut werden, um den Aufwand der erwarteten Änderungen zu minimieren.
- *Überdimensionieren von Komponenten.* Dadurch erfordert eine erwartete Änderung der Spezifikation keine Änderung von Komponenten.

Die Methode Design for Variety zielt darauf ab, die Entwicklung von Produktplattformen zu unterstützen, die sich im zeitlichen Verlauf durch Stabilität auszeichnen. Innerhalb dieses begrenzten Fokus stellt sie mit den Indizes GVI und CI Hilfsmittel zum Identifizieren der zu optimierenden Komponenten bereit. Die konstruktive Umgestaltung der Komponenten wird mit den vier Maßnahmen *Ändern der Zuordnungsstruktur zwischen Funktionen und Komponenten, Einfrieren einer Spezifikation, Reduzieren interner Kopplungen* und *Überdimensionieren von Komponenten* unterstützt.

Entwicklung von Baukästen nach Pahl und Beitz [Pah07]

Der Ansatz zur Entwicklung von Baukästen bildet das Kapitel 10.2 der siebten Ausgabe des Standardwerks „Konstruktionstechnik“ von PAHL und BEITZ.

Die Methode unterstützt die Entwicklung von Baukastensystemen. Unter Baukästen werden dabei Maschinen, Baugruppen und Einzelteile verstanden, „die als Bausteine durch Kombination verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen“ [Pah07].

In der Entwicklung von Baukästen steht die Entwicklung einer entsprechenden Funktionsstruktur im Vordergrund, „da sich in einem Baukasten die Gesamtfunktion durch Kombination von diskreten Funktionsbausteinen ergibt“ [Pah07]. Dazu werden die Funktionen entsprechend der in Bild 3-16 dargestellten Baukastensystematik als Grund-, Hilfs-, Sonder- und Anpassfunktionen oder als auftragsspezifische Funktionen klassifiziert. Diesen Funktionsklassen werden in der Entwicklung des Baukastens entsprechende Bausteine hinterlegt.

Das eigentliche Vorgehen zum Entwickeln von Baukästen umfasst die folgenden sechs Schritte:

1. *Klären der Aufgabenstellung.* In der Aufgabenklärung werden die zu erfüllenden Gesamtfunktionsvarianten festgelegt. Um eine wirtschaftliche Auslegung sicherzustellen, wird anhand der marktseitig erwarteten Häufigkeit der Varianten festgelegt, hinsichtlich welcher Varianten der Baukasten optimiert wird.
2. *Aufstellen von Funktionsstrukturen.* In diesem Schritt werden Funktionsstrukturen aufgestellt, die die geforderten Gesamtfunktionsvarianten durch Kombination möglichst weniger und einfach realisierbarer

Funktionen ermöglichen. Die Varianten mit hohem Bedarf sollen nur mit Grundfunktionen, und die seltenen Varianten zusätzlich mit Anpassfunktionen erstellt werden können.

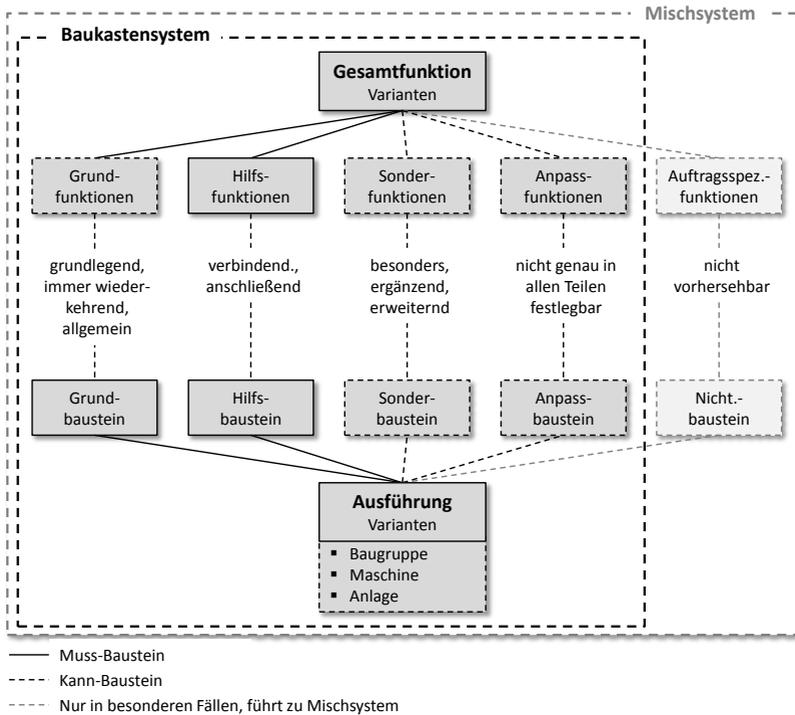


Bild 3-16: Baukastensystematik nach Pahl und Beitz [Pah07]

3. *Suchen von Wirkprinzipien und Lösungsvarianten.* In diesem Schritt wird nach Wirkprinzipien gesucht, die unter Beibehaltung des gleichen Wirkprinzips und der grundsätzlich gleichen Gestaltung die Bildung der Gesamtfunktionsvarianten ermöglichen.
4. *Auswählen und Bewerten.* Im vierten Schritt werden die Lösungsvarianten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien beurteilt. Um die grundsätzlich günstigste prinzipielle Lösung auszuwählen, werden die einzelnen „Funktionskosten“, das heißt die Kosten der Funktionsbausteine, bestimmt. Daraus werden die Kosten der Gesamtfunktionsvarianten abgeleitet. Unter Beachtung der Häufigkeiten wird darauf basierend die günstigste Lösung gewählt.

5. *Erstellen der Gesamtentwürfe.* In diesem Schritt werden die erforderlichen Bausteine nicht nur funktions- sondern auch fertigungsgerecht gestaltet. Dabei ist zu beachten, dass die Anzahl der gleichen und wiederkehrenden Werkstücke groß ist.
6. *Ausarbeiten der Fertigungsunterlagen.* Die Fertigungsunterlagen sind in der Baukastenentwicklung so zu gestalten, dass ein einfaches Zusammenstellen der gewünschten Gesamtfunktionsvarianten möglich ist. Dafür ist eine zweckmäßige Sachnummerung und Klassifizierung zu schaffen.

Hier ist zu erkennen, dass das beschriebene Vorgehen alle Schritte der Produktentwicklung mit einbezieht. Der Ansatz zeigt dabei insbesondere die Relevanz der Funktionsstrukturen und Wirkprinzipien für eine variantengerechte Produktgestaltung auf.

Das Vorgehen unterwirft jedoch die gesamte Produktstruktur und -gestalt dem Ziel, unterschiedliche Gesamtfunktionsvarianten bereitzustellen. Da dies jedoch häufig nur ein Teilaspekt ist, bietet der Ansatz keine allgemeingültige Unterstützung der Entwicklung von Produktfamilien.

3.4.3 Bewertung der Methoden zur Entwicklung variantengerechter Produkte

Abgesehen von der Methode *Design for Variety* nach MARTIN und ISHII, zielen alle Methoden explizit auf die Reduzierung der internen Vielfalt ab. Design for Variety soll dagegen die Entwicklung von Produktplattformen unterstützen, die im zeitlichen Verlauf stabil bleiben. Die Methode trägt aber ebenfalls zur Reduzierung der internen Vielfalt bei.

Wie Tabelle 3 zu entnehmen, unterscheidet sich die Ausrichtung der Methoden der variantengerechten Gestaltung nur wenig von den Methoden zu Entwicklung von Produktplattformen. Obwohl hier nur Methoden aufgeführt sind, die konstruktive Maßnahmen zur variantengerechten Gestaltung beinhalten, steht hier weitestgehend die Gestaltung der Produktstruktur im Fokus.

Die Methoden *Design for Variety* und *Variantenoptimierte Gestaltung* unterstützen die variantengerechte Gestaltung der Komponenten jeweils mit vier konkreten Maßnahmen. Die *Variety Mode and Effect Analysis* nach CAESAR und SCHUH bietet mit zehn Maßnahmen die umfangreichste Unterstützung an. Alle drei Methoden beinhalten jedoch neben der Produktstrukturierung nur die Gestaltung der Komponenten. Eine umfangreiche Unterstützung der variantengerechten Gestaltung in allen Schritten der Entwicklung bieten sie somit ebenfalls nicht.

Die *Entwicklung von Baukästen* nach PAHL und BEITZ fokussiert die Entwicklung von Baukästen, aus denen Produkte unterschiedlicher Funktion abgeleitet werden können. Entsprechend der üblichen methodischen Vorgehensweise in der Produktentwicklung zeigt sie hierfür auf, wie Funktionsstruktur, Wirkprinzipien und Komponenten zu gestalten sind. Zusätzlich unterstützt der Ansatz die Entwicklung einer geeigneten Produktstruktur.

Tabelle 3: Vergleich und Einordnung der Methoden zur Entwicklung variantengerechter Produkte

Vergleichskriterien der Methoden								
Die Zielsetzung umfasst die Reduzierung der internen Vielfalt	Variantengerechte Gestaltung der...						Visuelle Unterstützung	Verständlichkeit der Methode
	...Unterscheidungsmerkmale und Ausprägungen	...Funktionsstruktur	...Wirkprinzipien	...Komponenten (konstruktiv)	...Produktstruktur			
Methoden zur variantengerechten Produktgestaltung								
Variantenoptimierte Gestaltung [Fra02a, Fra02b, Fir03]	✓	◐	○	○	◐	◐	◐	◐
Variety Mode and Effect Analysis (VMEA) [Sch89, Cae91, Sch01]	✓	●	○	○	●	●	◐	◐
Design for Variety [Mar00]	(✓)	◐	○	○	◐	◐	○	◐
Entwicklung von Baukästen [Pah07]	✓	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●

✓ trifft zu (✓) trifft teilweise zu ● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt

Die Methode zeigt damit die Relevanz aller Schritte der Entwicklung für die variantengerechte Produktgestaltung auf. Aufgrund des Fokus auf Baukästen zur Bereitstellung unterschiedlicher Produktfunktionen strebt die Methode eine spezifische Gestaltung der Produktstruktur an. Sie ist somit nicht als allgemeine Methode zur variantengerechten Gestaltung in der Entwicklung von Produktfamilien geeignet.

3.5 Die Postponement-Strategie

Unter *Postponement* wird eine Prozess-Strategie verstanden, die jede Differenzierung der Produkte auf den letztmöglichen Prozessschritt und jeden räumlichen Transfer in Richtung der Kunden auf den letztmöglichen Zeitpunkt aufschiebt.

In Bild 3-17 wird eine skizzenhafte Darstellung des Produktionsprozesses einer Produktfamilie genutzt, um diese Strategie zu visualisieren. Bauzustände (Punkte) und Prozessschritte (Pfeile) sind hier weiß dargestellt, wenn sie variantenneutral sind, und farbig, wenn sie variantenspezifisch sind.

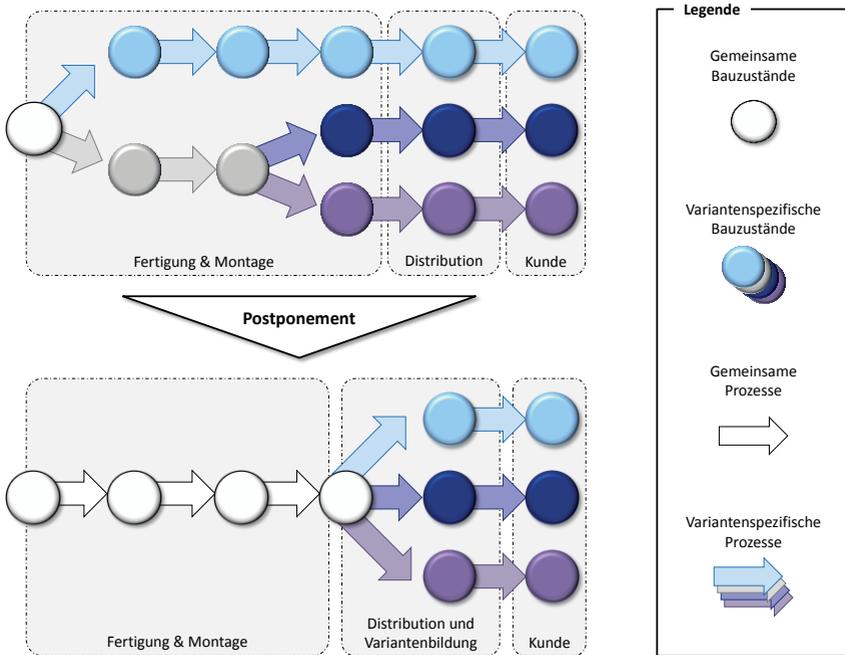


Bild 3-17: Wertschöpfungsprozess vor und nach Anwendung der Postponement-Strategie

Im oberen Teil des Bilds ist der Ausgangszustand des Wertschöpfungsprozesses skizziert. Die hellblaue Variante (oben) durchläuft ab dem ersten Schritt der Fertigung und Montage einen eigenständigen Prozess. Die beiden anderen Varianten werden erst im letzten Schritt der Fertigung und Montage differenziert. Aufgrund der vorhergehenden Differenzierung durchlaufen alle Varianten separate Distributionsprozesse.

In Bild 3-17 unten ist der Wertschöpfungsprozess nach Anwendung der Postponement-Strategie skizziert. Hier stehen differenzierende Schritte am Ende des Prozesses. Im Bild

wird die Differenzierung exemplarisch soweit aufgeschoben, dass sie aus der Fertigung und Montage in die Distribution verlagert wird.

Grund dieses Vorgehens ist es, dass jede Differenzierung nach Gestalt, Ort und Zeit innerhalb der Herstellung und Logistik mit Risiken und Unsicherheiten verbunden ist. In dem Maße in dem diese Aktivitäten in Richtung der Kaufentscheidung des Kunden aufgeschoben werden, reduzieren sich auch die Risiken und Unsicherheiten [Pag98]. Postponement ist deshalb ein wichtiger Bestandteil einer Mass-Customization-Strategie. Diese wird erst möglich, wenn die Differenzierung bis hin zum Kundenauftrag aufgeschoben und die Massenfertigung in den vorgelagerten Aktivitäten beibehalten wird [Hoe99]. Innerhalb der Postponement-Strategie wird zwischen Logistik- (auch Zeit-) und Herstellungs- (auch Gestalt-) Postponement unterschieden [Bul02, Pag98].

Zeit-Postponement ist ein reines Logistikkonzept, bei dem Produkte erst zum letztmöglichen Zeitpunkt zum Kunden verlagert werden. Dadurch werden dezentrale Bestände und Umlagerungen eingespart.

Herstellungs-Postponement beschreibt dagegen ein Aufschieben der Variantenbildung im Produktionsprozess. Vielfach aufgeschobene Aktivitäten sind das Beschriften, das Verpacken, die Endmontage oder die Produktion [Zin88]. Der Grenzfall des Herstellungs-Postponements ist eine Make-to-Order-Strategie [She05].

Die Postponement-Strategie kann dazu beitragen Skaleneffekte zu generieren, Lagerbestände zu reduzieren, Risiken zu minimieren, Logistikkosten zu senken und den Kundenservice zu verbessern.

Skaleneffekte werden möglich, indem die Produktdifferenzierung durch eine Neuordnung des Herstellungsprozesses aufgeschoben wird, wodurch in den vorgelagerten Schritten standardisierte Prozesse entstehen. Der Variantenbaum nach Schuh bietet eine methodische Unterstützung dieser Neuordnung des Montageprozesses, da er die Vielfalt in jedem Schritt der Montage transparent macht [Sch89].

Lagerbestände werden durch Postponement reduziert, da nicht eine Vielzahl von Produktvarianten gelagert wird. Stattdessen werden vergleichsweise wenige, günstige und kleine Module als Sicherheitsbestand bereitgehalten, um daraus die Produktvarianten nach Bedarf zu bilden [Fei97].

Risiken werden reduziert, da die Herstellung der Produktvarianten nach Kundenauftrag oder auf Basis einer späteren Prognose erfolgt, welche aufgrund des Zeitpunkts eine verbesserte Qualität aufweist. Die Lieferbarkeit begehrter Varianten wird dadurch dauerhaft sichergestellt, während Bestände weniger gefragter Varianten erst gar nicht aufgebaut werden [Dap92].

Weitere Potentiale sind geringere Logistikkosten, da Grundprodukte kostengünstig in Bündeln transportiert werden können, oder eine höhere Kundenzufriedenheit, da eine größere Produktvielfalt bereitgestellt werden kann [Rie06]. Diesen Vorteilen stehen allerdings auch mögliche Nachteile gegenüber, wie höhere Produktionskosten durch eine lokale Fertigung der Variantenbausteine, oder ein schlechterer Kundenservice durch erhöhte Lieferzeiten [Pag98].

Bekannte dokumentierte Beispiele für eine erfolgreiche Anwendung der Postponement-Strategie sind Hewlett-Packard, Dell und Benetton [Fei97, She05, Dap92].

Bei Hewlett-Packard wurden die Ländervarianten der Deskjet-Drucker vor Anwendung der Postponement-Strategie zentral in Singapur produziert und verpackt. Anschließend wurden diese zu den weltweit verteilten Distributionszentren verschifft. Seit der Umgestaltung der Prozesse werden am Fertigungsstandort nur noch länderneutrale Grundprodukte erstellt, die volumenoptimiert gebündelt und dann verschifft werden. Ländervarianten werden erst in den Distributionszentren gebildet, indem die Grundprodukte gemeinsam mit länderspezifischen Netzteilen und Bedienungsanleitungen verpackt werden. Aufgrund reduzierter Bestände und des günstigen Transports wurden die jährlichen Herstell-, Transport- und Lagerkosten in Summe um 25% reduziert, trotz geringfügig gestiegener Herstellkosten [Fei97].

Damit eine so erfolgreiche Anwendung der Postponement-Strategie möglich wird, müssen die Produkte modular aufgebaut sein und einen hohen Anteil an Standardmodulen oder ein umfangreiches gemeinsames Grundprodukt aufweisen. Dies ist erforderlich, um signifikante Anteile der Wertschöpfung auftragsneutral durchzuführen und die Differenzierung möglichst bis hin zum Kundenauftrag aufschieben zu können [Fei97, She05]. Eine modulare Produktstruktur oder eine Produktplattform bilden demnach die Basis für eine Postponement-Strategie. Die ermöglicht es wiederum, die vollen Potenziale dieser produktbezogenen Ansätze auszuschöpfen.

3.6 Die Prozess-Kommunalität

Die heutige Bedeutung des Begriffs *Kommunalität* in der Betriebswirtschaftslehre stammt aus dem englischen Sprachraum und ist vom Wort „commonality“ abgeleitet. Dieser Begriff bezeichnet „Gemeinsamkeiten“ oder „das Teilen gemeinsamer Eigenschaften“ und steht für die Nutzung gemeinsamer Komponenten in verschiedenen Produktvarianten [Del06]. Der Begriff der *Prozess-Kommunalität* ist hiervon abgeleitet und beschreibt die Nutzung gemeinsamer Produktionsprozesse durch unterschiedliche Produktvarianten [Mas91].

Wie in Bild 3-18 skizziert, bedeutet dies ein Vereinheitlichen der Produktionsprozesse ohne die Variantenbildung aufzuschieben. Hierbei sind die Bauzustände der hellblauen

Variante und der beiden anderen Varianten bereits ab dem ersten Prozessschritt differenziert (z.B. aufgrund unterschiedlicher Bauteile). Durch Angleichen der Schnittstellen, Werkzeuge o.ä. weisen sie jedoch einen gemeinsamen Fertigungs- und Montageprozess auf. Trotz unveränderter Vielfalt der Bauzustände wird die interne Prozessvielfalt dadurch erheblich verringert.

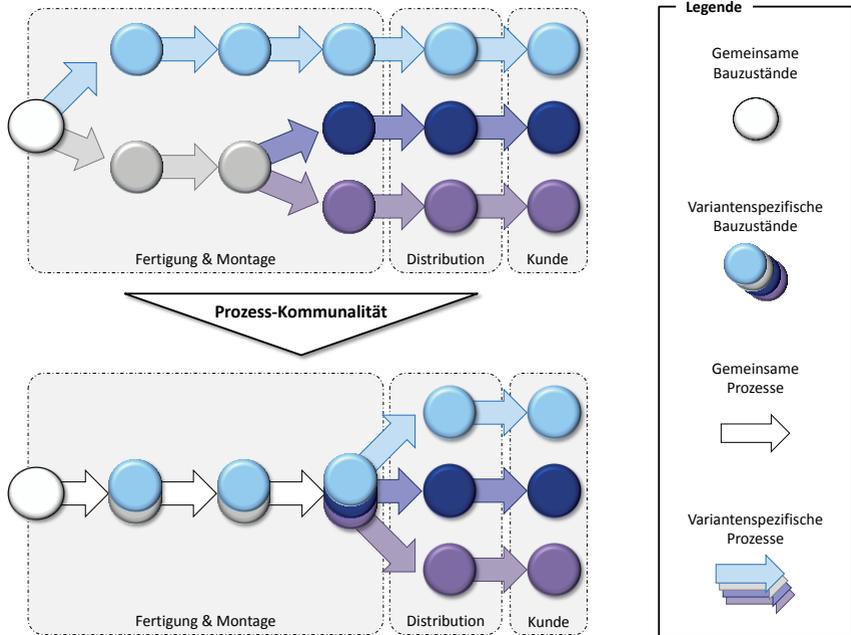


Bild 3-18: Wertschöpfungsprozess vor und nach Schaffung von Prozess-Kommunalitäten

Die Prozess-Kommunalität basiert auf der Grundidee unterschiedliche Produkte in einem einheitlichen Prozess zu erstellen. Gemeinsame oder ähnliche Komponenten fördern die Prozess-Kommunalität, sie sind jedoch nicht als Voraussetzung anzusehen [Tre87].

Kommunale Prozesse wirken sich sowohl auf die Effizienz der Fertigung als auch auf die Lieferzeiten positiv aus [Abd08]. Die Effizienz steigt, da die gemeinsame Nutzung von Fertigungsmitteln die Fixkosten je Variante senkt. Zudem werden geringere Losgrößen und in der Folge geringere Lagerbestände möglich. Die Lieferzeiten sinken, da ungleiche Auslastungen und die resultierenden Überlastungen der Fertigungslinien einzelner Varianten entfallen. Darüber hinaus kann die Variantenfolge in der Produktion flexibel gewählt werden, wodurch auch kurzfristige Änderungen des Produktionsplans möglich sind [Tre87]. Ein weiterer Vorteil ist die vereinfachte Einführung neuer

Produktvarianten, da auf bestehende Prozesse zurückgegriffen werden kann und keine neue Überleitung in die Serienfertigung erforderlich ist [Jia99, Del06].

In der Automobilindustrie sind vielfältige Beispiele für die erfolgreiche Nutzung der Prozess-Kommunalität zu finden. So werden beispielsweise im BMW-Werk Leipzig unterschiedliche Fahrzeugmodelle und deren Varianten in einer Produktionslinie endmontiert. Dabei weist allein ein Fahrzeugmodell ca. 10^{17} mögliche Varianten auf. Die Montage dieser Produktvielfalt wird möglich, da alle Bausteinvarianten gemeinsame Greif- und Positionierungsstellen aufweisen. Die Monteure können somit einheitliche Werkzeuge und Hilfsmittel zum Greifen, Bewegen und Befestigen nutzen [Sch09].

Grundlegende Voraussetzung für die Nutzung kommunaler Prozesse ist die Berücksichtigung der Produktvielfalt und ihrer Auswirkungen auf die Herstellungsprozesse bei der Auslegung der Produktarchitektur [Del06]. Die vorgeschlagenen Maßnahmen der VMEA (siehe Kapitel 3.4) zielen teilweise darauf ab, eine geeignete Produktstruktur für kommunale Prozesse zu schaffen. *Optionale, in sich ersetzende Umfänge zu überführen* vereinheitlicht in diesem Sinne die Anzahl der Montageschritte von Produktvarianten und schafft damit die Basis für kommunale Prozesse. Weitere Hinweise sind in der Literatur zur konstruktiven Gestaltung zu finden, so sind insbesondere die bereits erwähnten Greifpunkte und Montagewerkzeuge zu vereinheitlichen.

Prozess-Kommunalität ist eine Mittel der Prozessgestaltung, das separat oder gemeinsam mit der Postponement-Strategie genutzt werden kann. Hierdurch wird die Effizienz in den Prozessschritten nach der Variantenbildung gesteigert.

3.7 Forschungsbedarf

Aus dem Stand der Wissenschaft ergibt sich, dass derzeit kein Konsens besteht, welche Art der Produktstruktur anzustreben ist, um die interne Vielfalt zu minimieren.

So streben die Ansätze zur Entwicklung modularer Produkte eine Entkopplung der Module [Pim94, Lin09, Mar00], eine Eins-zu-eins-Zuordnung von Funktionen zu Modulen [Ulr95, Göp98, Pah07], eine Schnittstellenstandardisierung [Ulr95] oder die physische Abgeschlossenheit [Pil06, Göp98] an. Dies soll die Erzeugung verschiedener Produktvarianten im Baukastenprinzip ermöglichen.

Methoden zur Entwicklung von Produktplattformen zielen dagegen zumeist auf eine klare Differenzierung zwischen Standard- und Variantenanteilen ab [Fra93, Rob98]. Varianten- und Standardanteile werden in verschiedenen Methoden jedoch unterschiedlich voneinander abgegrenzt.

Im Kontext der jeweiligen Methode leistet jede der angestrebten Eigenschaften der Produktstruktur einen Beitrag zur Reduzierung der internen Vielfalt.

Ziel der Forschung ist es deshalb, ein konsolidiertes Idealbild zur variantengerechten Gestaltung von Produktfamilien zu schaffen. Dieses soll auf den Eigenschaften der Produktstruktur basieren, die in bestehenden Ansätzen angestrebt werden und in der zu entwickelnden Methode als Zielvorstellung dienen.

Aus dem Stand der Wissenschaft ergibt sich weiterhin, dass derzeit keine Methode existiert, die alle Schritte der Entwicklung variantengerechter Produktfamilien unterstützt und generell zur Entwicklung von Produktfamilien eingesetzt werden kann.

Die Methoden zur Entwicklung von modularen Produkten und Produktplattformen unterstützen die Entwicklung von variantengerechten Produktstrukturen. Nur einzelne Methoden unterstützen die Identifikation von Komponenten, die konstruktiv umzugestalten sind. Die eigentliche variantengerechte Gestaltung der Komponenten wird jedoch von keiner der betrachteten Methoden unterstützt.

Demgegenüber unterstützt die Mehrheit der ermittelten Methoden zur variantengerechten Gestaltung die konstruktive Gestaltung der Komponenten, aber nicht die Entwicklung variantengerechter Funktionsstrukturen oder Wirkprinzipien. Nur die *Entwicklung von Baukästen* nach PAHL und BEITZ enthält sowohl Maßnahmen zur Gestaltung der Funktionsstruktur als auch zur Gestaltung der Wirkprinzipien [Pah07]. Damit zeigt der Ansatz die Relevanz dieser Abstraktionsebenen für die variantengerechte Produktgestaltung auf. Er unterstützt damit die These, dass jeder Schritt der Entwicklung einer Produktfamilie einen wichtigen Beitrag zur variantengerechten Gestaltung leisten kann. Aufgrund des spezifischen Fokus bietet jedoch auch dieser Ansatz keine generell nutzbare Unterstützung der Entwicklung variantengerechter Produktfamilien.

Ziel der Forschung muss somit ein Ansatz sein, der die variantengerechte Produktgestaltung in allen Schritten der Entwicklung von Produktfamilien unterstützt und generell nutzbar ist.

Die Analyse bestehender Methoden zeigt des Weiteren, dass Verständlichkeit und Anwendungsbereich der Methoden wesentlich vom Einsatz geeigneter Visualisierungen abhängen.

So ermöglicht die Visualisierung der DSM-Daten mithilfe des von MAURER et al. entwickelten MOFLEPS-Graphen Analysen von Strukturen mit mehr als 500 Elementen. In der DSM direkt sind dagegen nur Strukturen mit bis zu 10 Elementen gut erfassbar [Lin06, Mau05]. Auch in METUS erlaubt erst die Visualisierung der Produktstruktur das Modularisieren komplexer Produkte. Ebenso ist die Visualisierung im Variantenbaum essentieller Bestandteil der VMEA. Diese erlaubt es, den Ist- und den Soll-Zustand der Variantenbildung einer Produktfamilie visuell darzustellen [Cae91], wodurch eine Optimierung leicht möglich wird.

Deshalb ist es Ziel der Forschung, eine leicht verständliche Visualisierung zu entwickeln, die die variantengerechte Gestaltung von Produktfamilien in allen Schritten der Entwicklung unterstützt.

Um diesen Zielen gerecht zu werden, wird im folgenden Kapitel das angestrebte Idealbild variantengerechter Produktfamilien entwickelt, bevor die eigentliche Methode gemeinsam mit der entwickelten Visualisierung beschrieben wird.

4 Idealbild variantengerechter Produktfamilien

Das folgende Kapitel zielt darauf ab, die Forschungsfrage zu beantworten, wie eine Produktfamilie zu gestalten ist, um eine minimale interne Vielfalt zu verursachen ohne die externe Vielfalt zu beschränken.

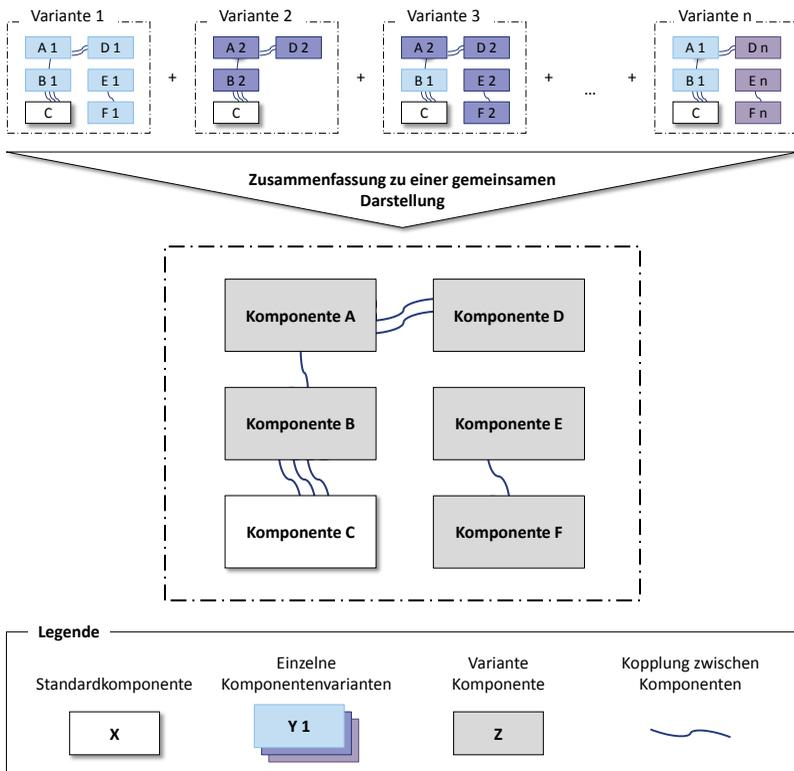


Bild 4-1: Abstrakte Darstellung des Ausgangszustands

Die vorhergehende Analyse bestehender Methoden zeigt, dass diese Ansätze hinsichtlich der Minimierung der internen Vielfalt selektiv unterschiedliche Produkteigenschaften anstreben. So ist keine umfassende variantengerechte Produktgestaltung möglich, deshalb wird als Basis für die zu entwickelnde Methode ein Idealbild variantengerechter Produktfamilien definiert. Dieses beschreibt keinen erreichbaren Ziel-Zustand sondern einen hypothetischen Ideal-Zustand. Die zu entwickelnde Methode zielt darauf ab, eine Produktfamilie diesem Ideal-Zustand anzunähern.

Um das Idealbild zu illustrieren, wird die abstrakte Darstellung einer gewachsenen Produktfamilie (siehe Bild 4-1) schrittweise in den hypothetischen Ideal-Zustand überführt. In dieser Darstellung illustrieren die weißen Felder Standardkomponenten. Die grauen Felder symbolisieren Komponenten, die in den verschiedenen Produkten der Familie als Varianten vorliegen (bunte Felder).

Das Idealbild entsteht als Synthese und Weiterentwicklung der Eigenschaften variantengerechter Produkte, die in den beschriebenen Methoden angestrebt werden. In diese Synthese fließen alle Eigenschaften ein, die innerhalb der Methoden einen zentralen Beitrag zur Reduzierung der internen Vielfalt leisten und einen direkten Bezug zu Produktstruktur oder -gestalt aufweisen. Des Weiteren werden nur Eigenschaften betrachtet, die allgemeingültig und nicht spezifisch auf bestimmte Prozess-Strategien oder Produktgruppen ausgerichtet sind. Ziel der Synthese ist es, zusammengehörige und ähnliche Eigenschaften zusammenzufassen, um so ein klares, überschaubares und umfassendes Idealbild variantengerechter Produktfamilien zu schaffen. Das so entstandene Idealbild besteht aus den folgenden vier Kriterien:

- **Differenzierung** in Standard- und Variantenkomponenten
- **Reduzierung** zum Träger eines Unterscheidungsmerkmals
- **Eins-zu-eins-Zuordnung** von Unterscheidungsmerkmalen zu Variantenkomponenten
- **Entkopplung** der Variantenkomponenten

Diese Kriterien werden nachfolgend detailliert hergeleitet. Zusätzlich wird der angestrebte Ideal-Zustand erläutert und der Nutzen aufgezeigt, den die Annäherung an den jeweiligen Ideal-Zustand eines Kriteriums generiert.

4.1 Differenzierung

Dieses Kriterium beschreibt die vollständige Differenzierung in Standard- und Variantenkomponenten. Dazu sind bestehende nicht ideale variante Komponenten zu standardisieren oder in ideale Variantenkomponenten zu überführen.

In der Literatur ist eine Differenzierung in Standard- und Variantenkomponenten zentraler Bestandteil der Methoden von FRANKE [Fra93], ERIXON [Eri98], sowie ROBERTSON und ULRICH [Rob98].

FRANKE grenzt Standard- und Variantenkomponenten anhand der anteiligen Verwendung und der anteiligen Kosten voneinander ab. Standardkomponenten sollen dementsprechend hohe anteilige Kosten und einen hohen Verwendungsanteil in der Produktfamilie aufweisen. Sie sollen nur unverändert genutzt werden. Dagegen sollen Variantenkomponenten im Vergleich zu Standardkomponenten einen geringen anteiligen Wert am Produkt haben, das heißt sie sollen kostengünstig zu fertigen, leicht zu beschaffen und mit geringem Aufwand zu lagern sein.

ERIXON sowie ROBERTSON und ULRICH stellen dagegen die Ursache der Vielfalt in den Vordergrund. So werden nach Erixon Komponenten betrachtet, die einen Bezug zu den Modultreibern „[variante] technische Spezifikation“ oder „Design“ aufweisen. Diese Komponenten werden entsprechend untereinander und von Standardkomponenten differenziert.

Nach ROBERTSON und ULRICH weisen Variantenkomponenten einen direkten Bezug zu einem maßgeblichen Unterscheidungsmerkmal und geringe anteilige Kosten auf. Um eine klare Differenzierung zwischen Varianten- und Standardkomponenten zu erzielen, sind alle Komponenten ohne Bezug zu einem Unterscheidungsmerkmal konsequent zu standardisieren und in die Plattform der Produktfamilie zu integrieren. Komponenten, die sowohl einen hohen anteiligen Wert am Produkt, als auch einen direkten Bezug zu einem Unterscheidungsmerkmal aufweisen, sind konstruktiv neu zu gestalten, um den anteiligen Wert zu minimieren. Für die Methode der variantengerechten Gestaltung werden daraus folgende Definitionen für Standard- und Variantenkomponenten sowie für das Kriterium der Differenzierung abgeleitet:

- *Standardkomponenten werden nur unverändert genutzt und weisen einen hohen Verwendungsanteil in der Produktfamilie auf.*
- *Ideale Variantenkomponenten haben einen direkten Bezug zu einem Unterscheidungsmerkmal und einen geringen anteiligen Wert am Produkt; das heißt sie tragen aus Sicht der Kunden wesentlich zur Erfüllung eines Unterscheidungsmerkmals bei und sind kostengünstig zu fertigen, leicht zu beschaffen und mit geringem Aufwand zu lagern.*
- *Die Differenzierung in Standard- und Variantenkomponenten ist ideal erfüllt, wenn jede Komponente der Produktfamilie eindeutig den Standard- oder Variantenkomponenten zugeordnet ist; das heißt wenn alle varianten Komponenten der Definition idealer Variantenkomponenten vollständig gerecht werden.*

In Bild 4-2 ist die abstrakt dargestellte Produktfamilie in einen Zustand überführt, der dem Kriterium der Differenzierung vollständig gerecht wird. Die Komponenten A, E und F sind ideale Variantenkomponenten. Die Komponenten B und D weisen keinen Bezug zu einem Unterscheidungsmerkmal auf und sind deshalb standardisiert.

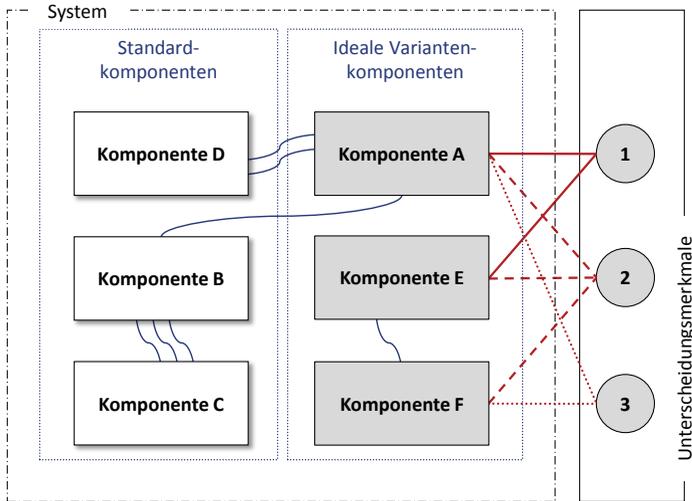


Bild 4-2: Differenzierung zwischen Standard- und Variantenkomponenten

Der Nutzen der strikten Differenzierung zwischen Varianten- und Standardkomponenten leitet sich aus dem degressiven Anstieg der Kosten einer Komponente mit zunehmender Anzahl ihrer Varianten ab [Sch89]. Aufgrund dieses zunächst steilen, degressiv verlaufenden Anstiegs der Komponentenkosten, hat bereits eine geringe Variantenvielfalt einer Komponente eine signifikante Kostenwirkung. Deshalb ist insbesondere die Entscheidung relevant, ob eine Komponente mit kleiner Variantenvielfalt oder als Standardkomponente angeboten wird. Dennoch ist es bei bestehenden Produkten häufig zu beobachten, dass Komponenten ohne Bezug zu Unterscheidungsmerkmalen eine geringe Vielfalt aufweisen.

4.2 Reduzierung

Das Kriterium Reduzierung beschreibt das Abtrennen aller Standardanteile aus Variantenkomponenten, sodass jedes Element einer Variantenkomponente vollständig der Abbildung eines Unterscheidungsmerkmals dient (siehe Bild 4-3).

In der Literatur wird diese Art der Umgestaltung häufig für Komponenten beschrieben, deren Varianten sich anhand geometrischer Abmessungen unterscheiden.

Beispielsweise erläutern MARTIN und ISHII die Umgestaltung eines integralen Gehäuses, für das in Zukunft Größenvarianten erwartet werden. Dieses Gehäuse wird in standardisierte Teilkomponenten und variante Abstandskomponenten aufgeteilt [Mar02]. Eine solche Abstandskomponente kann aufgrund ihrer geringen Kosten und ihres kleinen Volumens leicht in verschiedenen Größen bevorratet werden.

Ein ähnliches Prinzip beschreibt ULRICH mit der „Fabricate-to-fit-modularity“ [Ulr91]. Bei dieser Art der Modularität werden Standard- und Variantenkomponenten so geschaffen, dass die Variantenkomponenten jeweils schnell und kostengünstig in der entsprechenden Größe gefertigt werden können.

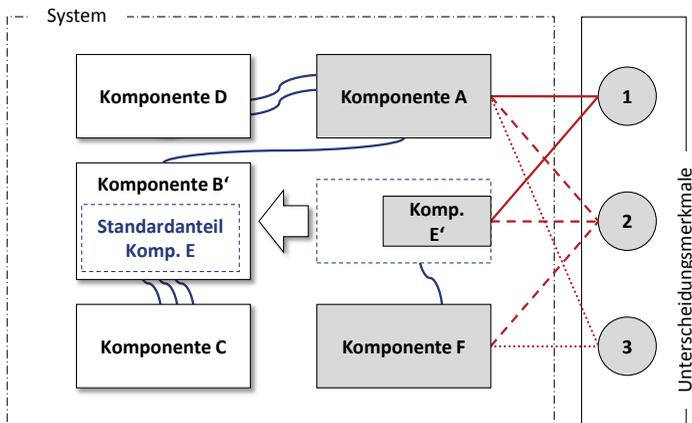


Bild 4-3: Reduzierung der varianten Komponenten zum Träger eines Unterscheidungsmerkmals

Für die Methode der variantengerechten Gestaltung wird das Prinzip wie folgt generalisiert:

- *Alle Variantenkomponenten sind so weit zu reduzieren, dass sie nur noch Elemente (Geometrie, Funktionsträger etc.) beinhalten, die vollständig zur Abbildung der Vielfalt der Unterscheidungsmerkmale erforderlich sind.*
- *Alle Elemente, deren Vielfalt nicht erforderlich ist, sind konstruktiv abzutrennen und in den Standardanteil der Produktfamilie zu integrieren.*

In Bild 4-3 wird die abstrakt dargestellte Produktfamilie so umgestaltet, dass sie dem Kriterium Reduzierung gerecht wird. Dabei werden innerhalb der Komponente E Elemente identifiziert, die nicht zur Abbildung der Unterscheidungsmerkmale 1 und 2 beitragen. Diese Elemente werden konstruktiv abgetrennt und in den Standardanteil integriert.

Der Nutzen besteht darin, dass die resultierenden Variantenbausteine weiterhin die erwünschte Vielfalt vollständig abbilden, aber aufgrund der Reduzierung kostengünstiger sind und ein geringeres Lagervolumen benötigen. Dadurch können sie leicht in verschiedenen Ausführungen bereitgehalten oder einfach in der gewünschten Ausführung gefertigt werden.

In dieser Arbeit wird die These vertreten, dass im Rahmen einer variantengerechten Produktgestaltung das Prinzip der Reduzierung auf alle und nicht nur auf ungünstige Variantenkomponenten anzuwenden ist. Erst die konsequente Umsetzung des Prinzips ermöglicht eine echte Minimierung der internen Vielfalt.

4.3 Eins-zu-eins-Zuordnung

Das Kriterium Eins-zu-eins-Zuordnung beschreibt eine Produktstruktur und -gestalt, bei der jede Variantenkomponente genau eine Funktion und ein Unterscheidungsmerkmal abbildet (siehe Bild 4-4).

In der Literatur ist eine Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Funktionen und Komponenten zentraler Bestandteil der beschriebenen Ansätze von GÖPFERT, sowie von PAHL und BEITZ. Diese Eins-zu-eins-Zuordnung schafft Bausteine, die eine Teilfunktion vollständig und unabhängig von anderen Komponenten erfüllen. Die Kombination solcher Funktionsbausteine (Module) ermöglicht es, verschiedene Gesamtfunktionen zu erfüllen [Pah07] oder mit relativ geringem Aufwand ganze Produktfamilien zu entwickeln [Göp01].

Die höchst priorisierte Maßnahme der VMEA nach CAESAR ist es, den „Einfluss von Spezifikationsmerkmalen auf einen Umfang zu beschränken“; das heißt den Einfluss eines Unterscheidungsmerkmals auf jeweils eine Komponente zu beschränken. Des Weiteren schlägt er vor, miteinander verbaute Einzelteilvarianten in Umfänge zu integrieren oder zu differenzieren, die vom gleichen Spezifikationsmerkmal abhängen [Cae91]. Zusammenfassend wird somit in der VMEA eine Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Komponenten angestrebt.

Für die Methode der variantengerechten Gestaltung wird daraus folgende Definition des Kriteriums der Eins-zu-eins-Zuordnung abgeleitet:

In idealen Produktfamilien weisen die Unterscheidungsmerkmale, Funktionen und Variantenkomponenten eine Eins-zu-eins-Zuordnung auf, das heißt jedes Unterscheidungsmerkmal beeinflusst genau eine Funktion, die durch eine Variantenkomponente realisiert wird. Gleichzeitig bildet jede Variantenkomponente nur eine Funktion und diese nur ein Unterscheidungsmerkmal ab.

In Bild 4-4 wird die abstrakte Darstellung der Produktfamilie in diesen Idealzustand überführt. Zur Vereinfachung wird dabei auf eine Darstellung der nicht betroffenen Standardkomponenten und der Funktionen verzichtet. Im links dargestellten Ausgangszustand weisen alle Variantenkomponenten einen Bezug zu mehreren Unterscheidungsmerkmalen auf. Im rechts dargestellten Idealzustand sind alle Variantenkomponenten so umgestaltet, dass sie genau ein Unterscheidungsmerkmal abbilden und dieses genau eine Komponente beeinflusst.

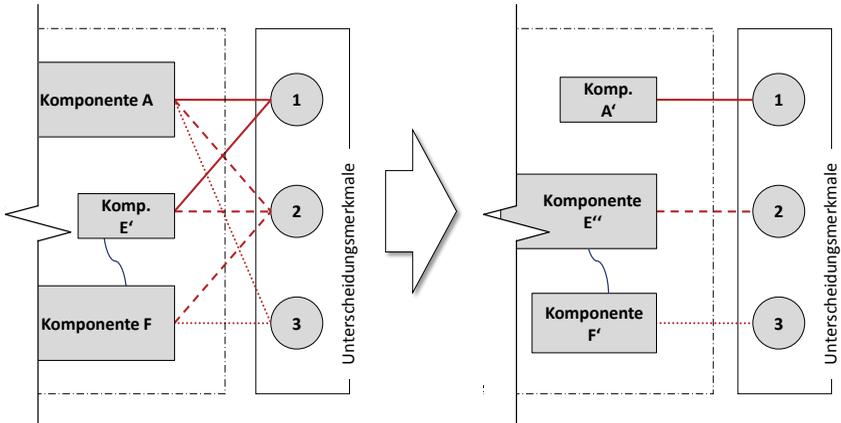


Bild 4-4: Eins-zu-Eins-Zuordnung von Unterscheidungsmerkmalen zu Variantenkomponenten

Der Nutzen der Eins-zu-eins-Zuordnung ergibt sich aus zwei Aspekten. Einerseits ermöglicht es die Eins-zu-eins-Zuordnung, die Ausprägung eines Unterscheidungsmerkmals durch Austausch einer einzigen Komponente zu variieren. Andererseits werden Multiplikationseffekte vermieden, wodurch die Anzahl von Komponentenvarianten verringert wird.

Multiplikationseffekte treten auf, wenn mehrere Unterscheidungsmerkmale eine Komponente beeinflussen. Die Anzahl der maximal bereitzustellenden Varianten einer solchen Komponente K_x ergibt sich, indem die Anzahl der Ausprägungen des ersten Unterscheidungsmerkmals A_1 mit der Anzahl der Ausprägungen des zweiten Unterscheidungsmerkmals A_2 usw. multipliziert wird.

Bei einer idealen Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Komponenten entspricht die Anzahl der Komponentenvarianten dagegen der Anzahl der Ausprägungen des jeweils zugeordneten Unterscheidungsmerkmals.

Als Beispiel soll die in Bild 4-4 dargestellte Zuordnungsstruktur dienen. Hierbei wird angenommen, dass die Unterscheidungsmerkmale 1, 2 und 3 jeweils zwei Ausprägungen aufweisen; das heißt $A_1 = A_2 = A_3 = 2$. Die erforderliche Anzahl von

Komponentenvarianten K_{ges} zur Bereitstellung aller Ausprägungskombinationen errechnet sich dann für beide Seiten wie folgt:

$$K_{ges}(\text{linke Seite}) = K_A + K_{E'} + K_F = (A_1 \times A_2 \times A_3) + (A_1 \times A_2) + (A_2 \times A_3) = 16 \quad (1)$$

$$K_{ges}(\text{rechte Seite}) = K_{A'} + K_{E''} + K_{F'} = A_1 + A_2 + A_3 = 6 \quad (2)$$

Um dieselbe externe Vielfalt anzubieten, sind bei der rechts dargestellten idealen Eins-zu-eins-Zuordnung insgesamt 6 anstatt 16 Komponentenvarianten bereitzustellen.

4.4 Entkopplung

Das Kriterium Entkopplung beschreibt eine Produktstruktur, bei der alle Komponenten nur wenige Schnittstellen aufweisen und diese vollständig standardisiert und dauerhaft stabil sind.

In der Literatur wird das Prinzip der Entkopplung vielfach diskutiert. Nach SUH ist es ein Axiom der Produktentwicklung. Demnach ist eine Konstruktion nur dann annehmbar, wenn jede Komponente angepasst werden kann, um einer funktionalen Anforderung gerecht zu werden, ohne dass dadurch andere Funktionen beeinflusst werden [Suh90].

Dieses Prinzip ist zentraler Bestandteil der beschriebenen Ansätze von PIMMLER und EPPINGER, sowie von MARTIN und ISHII. Um dem Prinzip der Entkopplung gerecht zu werden, sind Produkte nach Pimmler und Eppinger so zu strukturieren, dass die Kopplungen der Komponenten innerhalb der Module konzentriert werden und zwischen den Modulen nur wenige lose Kopplungen bestehen.

Nach ULRICH sind Produkte erst modular, wenn sie „entkoppelte Schnittstellen zwischen den Komponenten“ aufweisen. Dabei gelten die Schnittstellen als entkoppelt, wenn die Änderung einer Komponente keine Anpassung anderer erfordert [Ulr95].

Für die variantengerechte Produktgestaltung wird daraus folgende Definition des Kriteriums der Entkopplung abgeleitet:

In idealen Produktfamilien sind alle Komponenten entkoppelt; das heißt die Änderung einer Komponente verursacht keine Änderung einer anderen Komponente. Dies wird durch eine minimierte Anzahl standardisierter und dauerhaft stabiler Schnittstellen ermöglicht.

In Bild 4-5 wird die abstrakt dargestellte Produktfamilie hinsichtlich dieses Kriteriums vom Ausgangszustand in den Zielzustand überführt. Im links dargestellten Ausgangszustand weisen die Komponenten der Produktfamilie eine Vielzahl von Kopplungen auf. Im rechten Idealzustand sind alle Komponenten vollständig entkoppelt. Die Änderung einer Komponente hätte somit keinerlei Auswirkungen auf eine andere Komponente.

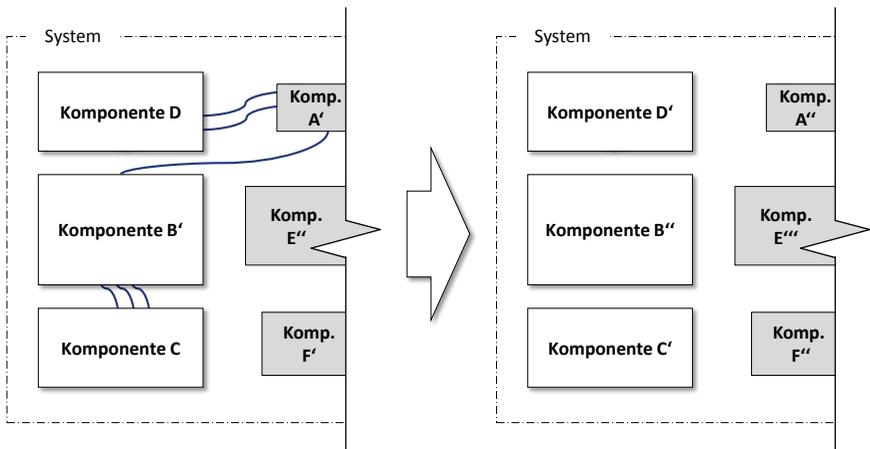


Bild 4-5: Vollständige Entkopplung der Variantenkomponenten

Der Nutzen der Entkopplung für die variantengerechte Produktgestaltung besteht darin, dass unvorhergesehene Varianten einen deutlich geringeren Änderungsaufwand verursachen. Dadurch wird insbesondere die Stabilität von Produktplattformen in ihren gesamten Lebenszyklus verbessert.

Die Kriterien *Differenzierung*, *Reduzierung*, *Eins-zu-eins-Zuordnung* und *Entkopplung* fassen alle zentralen Beiträge zur Reduzierung der internen Vielfalt zusammen, welche die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Methoden enthalten. Damit erzeugen die vier Kriterien eine umfassende Zielvorstellung für die Methode der variantengerechten Produktgestaltung.

Im Folgenden wird diese Methode und ihr zentrales Element, ein Modell zur Visualisierung des Erfüllungsgrads der vier Kriterien, vorgestellt.

5 Methode der variantengerechten Produktgestaltung

Dieses Kapitel soll die Forschungsfrage beantworten, wie die Entwicklung von variantengerechten Produktfamilien bestmöglich methodisch zu unterstützen ist.

Um diese Frage zu beantworten, wird im folgenden Kapitel die *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* vorgestellt. Ihre Gestaltung basiert auf dem beschriebenen Forschungsbedarf (siehe Kapitel 3.7), und ihr Ziel ist es, Produktfamilien dem vorhergehend abgeleiteten Idealbild anzunähern.

Diese neu entwickelte Methode greift auf ein Vorgehen aus fünf Schritten zurück, das in Bild 5-1 auf der linken Seite dargestellt ist. Im Bild rechts sind die Methodenbausteine skizziert, die den jeweiligen Schritt des Vorgehens unterstützen.

Die variantengerechte Gestaltung einer Produktfamilie ist in erster Linie eine Entwicklungsaufgabe. Das Vorgehen weist deshalb Gemeinsamkeiten, sowohl mit den etablierten Vorgehensmodellen der Produktentwicklung, als auch mit den speziellen Vorgehensmodellen zur Entwicklung variantenreicher Produkte auf (siehe Kapitel 3.4) [vgl. Kip07]. Diese Orientierung an bestehenden Vorgehensmodellen erleichtert die Einordnung der einzelnen Schritte der Methode in den Entwicklungsprozess und trägt zur durchgängigen Unterstützung aller Schritte der Produktentwicklung bei.

Die Schritte 3 bis 5 sind von den etablierten Vorgehensmodellen abgeleitet. Sie werden durch die, in Bild 5-1 rechts dargestellten, spezifischen Methodenbausteine ergänzt; das heißt durch einen *Merkmalsbaum* und die neu entwickelten Methodenbausteine *variante Funktionsstruktur*, *Module Interface Graph* und *Variety Allocation Model*. Diese Methodenbausteine unterstützen die Annäherung der variantengerecht zu gestaltenden Produktfamilie an das Idealbild.

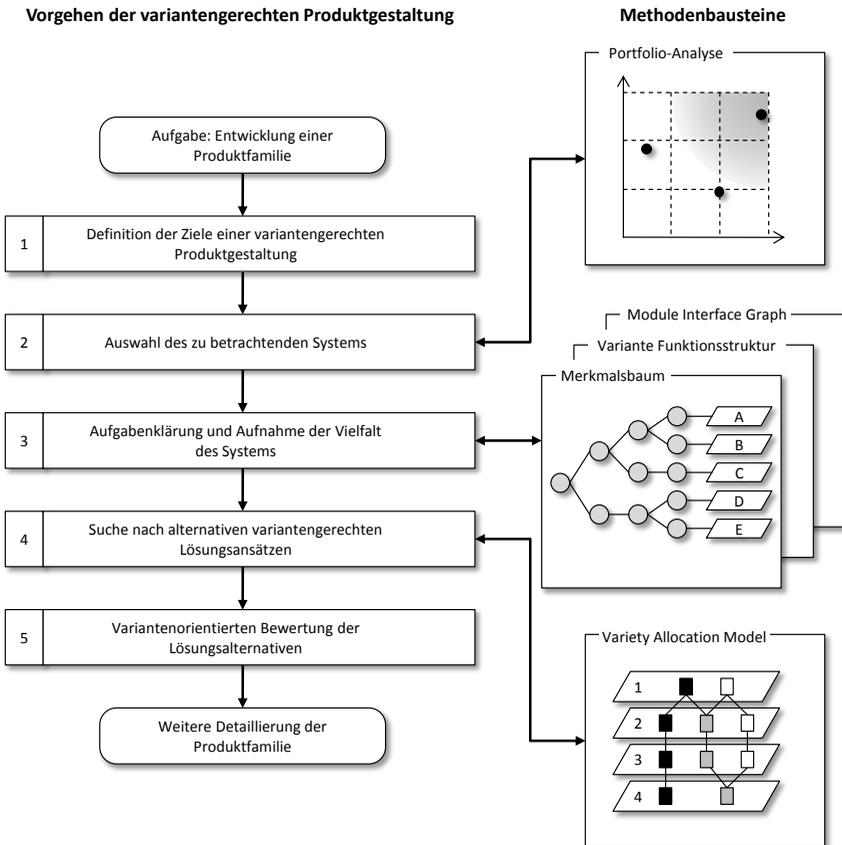


Bild 5-1: Vorgehen der Methode der variantengerechten Produktgestaltung

Im Folgenden werden alle fünf Schritte des Vorgehens und die jeweils unterstützenden Methoden vorgestellt. Dabei wird die Produktfamilie einer Druckmaschinenkomponente als überschaubares Erklärungsbeispiel genutzt. Diese Komponente findet in Maschinen zum Bedrucken von Kunststoffolien Verwendung. Ihre Funktion ist der Transport der Folie. Wie in Bild 5-2 dargestellt, besteht dieses Teilsystem aus einer Walzenbaugruppe (links), einem Antriebsmotor (Mitte) und einer Steuerungseinheit (rechts). Innerhalb der Produktfamilie werden acht Varianten der Walzenbaugruppe und drei Varianten des Antriebsmotors verwendet. Die Steuerungseinheit ist standardisiert.

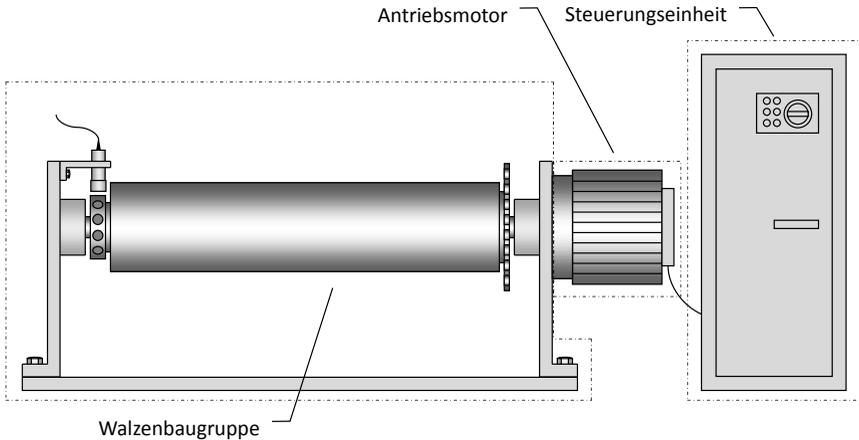


Bild 5-2: Produktfamilie einer Walzenbaugruppe aus dem Bereich der Druckmaschinen

5.1 Definition der Ziele einer variantengerechten Produktgestaltung

Die Definition konkreter und realistischer Ziele ist der erste Schritt der variantengerechten Gestaltung einer Produktfamilie. Dieser Schritt ist erforderlich, da mit der variantengerechten Produktgestaltung unterschiedliche Zielsetzungen verfolgt werden können. Mögliche Ziele sind beispielsweise eine Reduzierung der Stückkosten durch Skaleneffekte, eine Senkung der auftragspezifischen Konstruktionsaufwände oder eine Reduzierung der Rüstzeiten.

Eine weitere mögliche Zielsetzung zeigt das Beispiel der Druckmaschinenkomponente. In diesem Fall ist das Ziel der variantengerechten Produktgestaltung eine Verringerung der Lieferzeiten, die von Seiten der Kunden gewünscht wird. Ein Bezug zwischen Lieferzeiten und Variantenvielfalt ist hier gegeben, da die Lieferzeit von der Bereitstellungsdauer kundenindividuell konstruierter und produzierter Zukaufteile bestimmt wird.

Da verschiedene variantengerechte Lösungskonzepte den möglichen Zielsetzungen in unterschiedlichem Maße gerecht werden, ist es für die erfolgreiche variantengerechte Produktgestaltung essentiell, die jeweiligen Ziele zu Beginn zu definieren. Dabei sind alle am Wertschöpfungsprozess der Produktfamilie beteiligten Fachdisziplinen einzubeziehen, um die unterschiedlichen Sichten bezüglich der Vielfalt der Produktfamilie zu erfassen. Die gemeinsame Definition einer konkreten realistischen Zielsetzung wird durch die folgende Auflistung wesentlicher Ziele der variantengerechten Produktgestaltung erleichtert (siehe Tabelle 4). Eine abschließende Priorisierung der definierten Ziele hilft, den jeweiligen Fokus der variantengerechten Produktgestaltung zu erfassen.

Tabelle 4: Wesentliche mögliche Ziele der variantengerechten Produktgestaltung

Mögliche Ziele	Erläuterung
Hohe externe Vielfalt bei geringer interner Vielfalt	Eine klare <i>Differenzierung</i> zwischen Standard- und Variantenkomponenten, sowie die Vermeidung von Multiplikationseffekten reduzieren die interne Vielfalt. Des Weiteren kann die externe Vielfalt durch verbesserte Kombinationsmöglichkeiten gesteigert werden.
Komplexitätsreduzierung	Die <i>Eins-zu-eins-Zuordnung</i> zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Variantenkomponenten reduziert die äußere Komplexität der Produktfamilie, da die Auswahl der Komponentenvarianten vereinfacht wird. Die vermiedenen Multiplikationseffekte und die <i>Entkopplung</i> senken die interne Komplexität, indem sie die Anzahl der Variantenkomponenten und ihrer Beziehungen reduzieren.
Skalen- und Lernkurveneffekte	Die <i>Differenzierung</i> zwischen Standard- und Variantenkomponenten, sowie die <i>Reduzierung</i> der Variantenkomponenten zum Träger eines Unterscheidungsmerkmals vergrößern die Standardumfänge. Dadurch werden Skalen- und Lernkurveneffekte erzielt.
Konfiguration statt Konstruktion	Die <i>Eins-zu-eins-Zuordnung</i> der Variantenkomponenten zu Unterscheidungsmerkmalen erleichtert die Auswahl der spezifischen Komponentenkombinationen anhand der individuellen Kundenbedürfnisse. Sie hilft somit, Konstruktion durch Konfiguration zu ersetzen.
Unterstützung der Postponement-Strategie	Vergrößerte Standardumfänge, eine reduzierte Anzahl varianter Komponenten und eine vereinfachte Konfiguration unterstützen gemeinsam die Umsetzung einer Postponement-Strategie.

5.2 Auswahl des zu betrachtenden Systems

Eine Analyse der Vielfalt der Komponenten einer Produktfamilie und der hieraus resultierenden Probleme im Wertschöpfungsprozess führt häufig zu einem sehr heterogenen Bild. Ein erheblicher Anteil der Probleme wird oft von einem kleinen Anteil der

varianten Komponenten verursacht. So werden die langen Lieferzeiten im Beispiel des Teilsystems der Druckmaschinen durch die Bereitstellungszeit der Walzenbaugruppe bestimmt. Um eine effiziente variantengerechte Gestaltung einer gesamten Produktfamilie sicherzustellen, wird in diesem Schritt bestimmt, welche Hauptbaugruppen der Produktfamilie im Hinblick auf die Zielsetzung relevant sind.

Dazu werden Portfolio-Analysen auf der ersten Gliederungsebene der Produktstruktur durchgeführt. Die erste Dimension dieser Portfolios bildet die Vielfalt der untersuchten Baugruppen ab, während die zweite Dimension den Einfluss der Baugruppen auf eine der definierten Zielgrößen (Anzahl der Komponentenvarianten, Lieferzeiten, etc.) darstellt. Aus den Portfolio-Analysen kann abgeleitet werden, welche Baugruppen sowohl eine hohe Vielfalt, als auch eine hohe Relevanz im Hinblick auf die Zielsetzung aufweisen. Für diese Baugruppen wird dann eine variantengerechte Gestaltung durchgeführt.

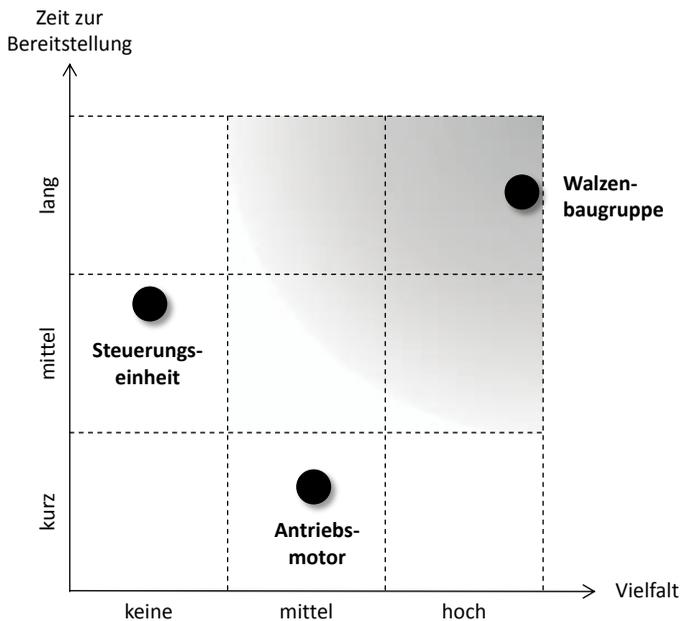


Bild 5-3: Portfolio-Analyse des Teilsystems der Druckmaschinen

Bild 5-3 zeigt eine solche Portfolio-Analyse exemplarisch für die Druckmaschinenkomponente. Als Maß für den Einfluss der Baugruppen auf die Zielgröße Lieferzeit wird das durchschnittliche Verhältnis von der Bereitstellungszeit der Baugruppen zur Lieferzeit der gesamten Druckmaschinenkomponente genutzt. Die Bereitstellungszeit der

Steuerungseinheit im linken hellen Bereich ist offensichtlich nicht durch eine hohe Variantenvielfalt bestimmt. Der Antriebsmotor im unteren hellen Bereich weist zwar eine mittlere Vielfalt auf, hat aber keinen signifikanten Einfluss auf die Zielgröße. Als Handlungsschwerpunkt wird hier die *Walzenbaugruppe* im grau hinterlegten Bereich des Portfolios ausgemacht und als variantengerecht zu gestaltendes System ausgewählt.

Wie in Bild 5-4 gezeigt, ist das Kernelement der Walzenbaugruppe eine integral aufgebaute Walze. Diese weist acht Varianten auf, wie auch die gesamte Walzenbaugruppe. Diese Vielfalt ist einerseits erforderlich, um den drei verschiedenen Breiten der zu transportierenden Kunststoffolie gerecht zu werden, und andererseits, um die Optionen Drehzahlmessung oder Folieneinzug zu ermöglichen. Weitere Elemente der Familie der Walzenbaugruppen sind standardisierte Seitenteile, ein optionaler Drehgeber und eine Bodenplatte, die ebenfalls den drei vorkommenden Folienbreiten gerecht werden muss.

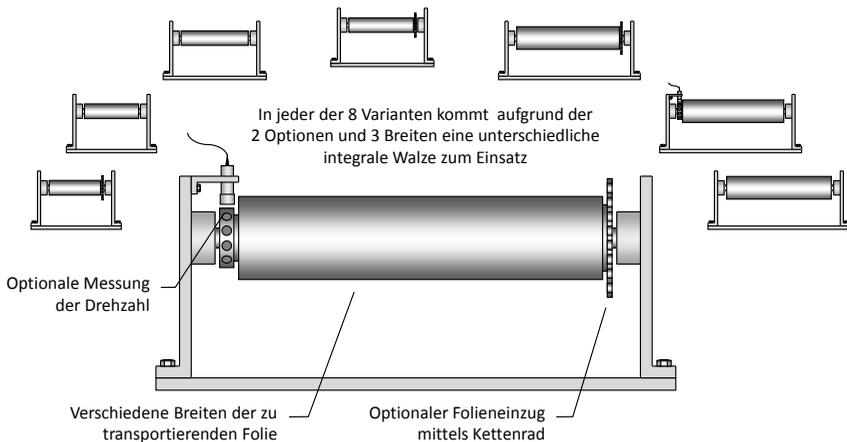


Bild 5-4: Vielfalt und Aufbau der variantengerecht zu gestaltenden Walzenbaugruppe

Neben der beschriebenen Auswahl des Systems umfasst dieser Schritt die Definition des Betrachtungshorizonts, das heißt des Kontexts, der in die Umgestaltung des Systems mit einbezogen wird. Dazu wird untersucht, ob das gewählte System oder wesentliche Bestandteile außerhalb der betrachteten Produktfamilie weitere Verwendung finden. Werden Varianten des Systems in anderen Produktfamilien verbaut, ist dies in der folgenden Aufnahme der Vielfalt zu beachten. Werden Komponenten des Systems unverändert in anderen Produktfamilien verwendet, resultieren hieraus Anforderungen, die in der Aufgabenklärung aufzunehmen sind. Im Beispiel werden die variantengerecht zu gestaltende Walzenbaugruppe und ihre Bestandteile nur im betrachteten

Teilsystem der Druckmaschinen verwendet. Dies vereinfacht die folgende Aufgabenklärung und Aufnahme der Vielfalt, da alle Elemente der Walzenbaugruppe nur im Kontext der Druckmaschinenkomponente zu betrachten sind und keine externen Anforderungen oder Unterscheidungsmerkmale auftreten.

5.3 Aufgabenklärung und Aufnahme der Variantenvielfalt des Systems

Die bisher vorgestellten Schritte sind ausschließlich in der Entwicklung variantenreicher Produkte relevant. Der erste Schritt dient der Erfassung der Probleme der Vielfalt, welche mittels der variantengerechten Produktgestaltung zu lösen sind. Der zweite Schritt dient der Auswahl des Systems, das variantengerecht zu gestalten ist.

Demgegenüber ist der dritte Schritt, die Aufgabenklärung, auch in der allgemeinen Produktentwicklungsmethodik verankert. In der variantengerechten Produktgestaltung dient dieser Schritt insbesondere der Identifikation von Schwachstellen des bisherigen Produkts aus Sicht der Variantenbeherrschung. Solche Schwachstellen sind bestehende Funktionsstrukturen, gewählte Wirkprinzipien oder Bauweisen, die eine überhöhte interne Vielfalt verursachen.

Um diese Schwachstellen der bestehenden Produktfamilie zu identifizieren, wird in der Methode der variantengerechten Produktentwicklung das neu entwickelte *Variety-Allocation-Model (VAM)* genutzt [Kip08a].

In Bild 5-5 ist dieses Modell skizziert. Es beschreibt die Vielfalt auf den vier Abstraktionsstufen der Produktentwicklung mithilfe der rechts im Bild dargestellten Karten. Die Ebenen des VAM bilden die Vielfalt der Produktfamilie mit von oben nach unten zunehmenden Konkretisierungsgrad ab, das heißt die Vielfalt der Anforderungen, Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten. Die Vielfalt der Anforderungen wird hierbei mittels der Unterscheidungsmerkmale der Produktfamilie beschrieben. Die Verbindungen dieser Karten visualisieren die kausalen Beziehungen zwischen der Vielfalt auf den vier Ebenen.

Mithilfe der Darstellung der Vielfalt und ihrer Relationen wird visuell erfassbar, inwieweit das Konzept einer Produktfamilie die vier Kriterien des Idealbilds erfüllt. Die Darstellung schafft so bereits in den frühen Schritten der Produktentwicklung Transparenz, wie Entscheidungen die interne Vielfalt beeinflussen.

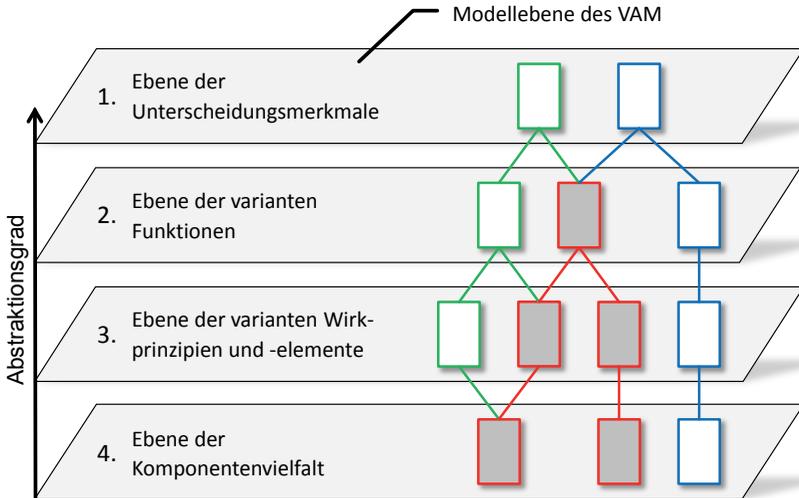


Bild 5-5: Abstrakte Darstellung des Variety-Allocation-Model (VAM) [vgl. Kip08a, Kip08b]

Um die Vielfalt auf den Abstraktionsstufen zu erfassen, werden vier separate Modelle erzeugt, aus denen jeweils eine Modellebene des VAM abgeleitet wird. Nach Erstellen der Modellebenen wird von den Unterscheidungsmerkmalen ausgehend analysiert, welche kausalen Beziehungen zwischen den Elementen benachbarter Modellebenen bestehen.

Das resultierende Variety-Allocation-Model dokumentiert sowohl die Vielfalt der Elemente der Modellebenen als auch die kausalen Beziehungen zwischen den Elementen. Diese Informationen werden verdichtet, indem die Darstellung im VAM auf variante Elemente beschränkt wird. Dies hat zur Folge, dass im Zuge der variantengerechten Produktgestaltung standardisierte Elemente im VAM entfallen, obwohl sie weiterhin Teil der Produktfamilie sind. Dementsprechend fokussiert das Modell eindeutig die Variantensicht. Mit zunehmender Variantengerechtigkeit der dargestellten Produktfamilie wird ein VAM dadurch einfacher und kompakter.

In den folgenden Abschnitten wird für jede der vier Abstraktionsstufen detailliert die Erstellung des jeweiligen Modells der Abstraktionsstufe, sowie die Ableitung der jeweiligen Ebene des VAM erläutert.

5.3.1 Aufnahme der Unterscheidungsmerkmale

Die Unterscheidungsmerkmale werden erfasst, um die aus Kundensicht relevante Vielfalt der Anforderungen wiederzugeben. Zur Aufnahme wird ein Merkmalsbaum der

bestehenden Produktfamilie erstellt, auf dem die Ebene der Unterscheidungsmerkmale des VAM basiert.

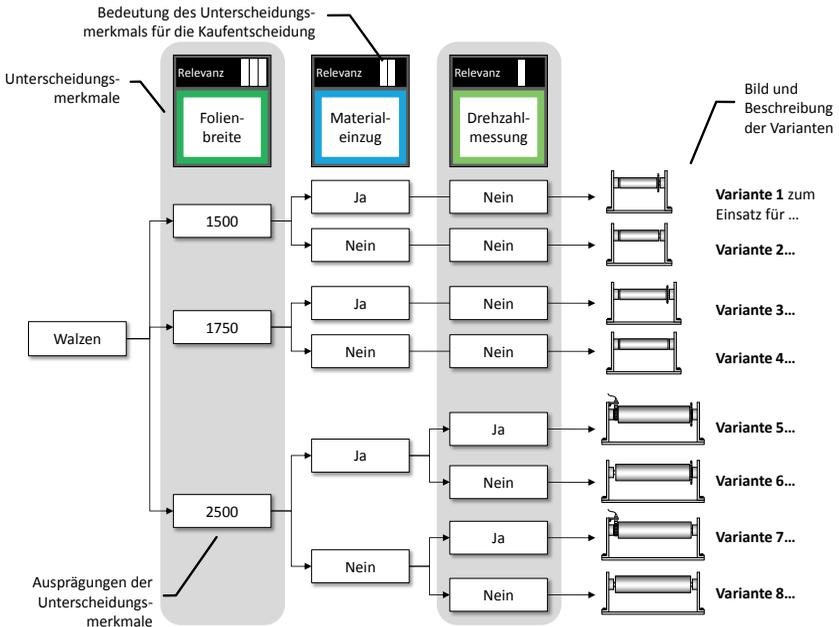


Bild 5-6: Merkmalsbaum der Walzenbaugruppe

In Bild 5-6 ist der Merkmalsbaum der Walzenbaugruppe dargestellt. Die obere Zeile bilden die Unterscheidungsmerkmale *Behandlungsbreite*, *Materialeinzug* und *Drehzahlmessung*. In den Spalten werden jedem Ast des Merkmalsbaums die jeweils vorkommenden Ausprägungen des Merkmals zugeordnet, wodurch der Baum von links nach rechts auffächert. In der Spalte am rechten Rand des Merkmalsbaums sind alle bestehenden Varianten der Walzenbaugruppe dargestellt, sodass für jede der Varianten einfach nachvollziehbar ist, welche Ausprägungen der Unterscheidungsmerkmale ihr zugeordnet sind.

Die Merkmalsbäume werden so aufgebaut, dass sie die Entscheidungsfindung der Kunden wiedergeben. Die Kundenrelevanz der Unterscheidungsmerkmale nimmt deshalb von links nach rechts ab. Der Detaillierungsgrad der Merkmalsbäume ist so zu wählen, dass jeder Ast eindeutig eine bestehende Variante der Produktfamilie beschreibt. Um eine einfache Zuordnung zu ermöglichen, wird jede einzelne Variante rechts mithilfe eines Bildes und einer Beschreibung des adressierten Marktsegments spezifiziert.

Aus den Merkmalsbäumen wird im Anschluss für jedes Unterscheidungsmerkmal eine *Merkmalskarte* abgeleitet (siehe Bild 5-7). Diese Merkmalskarten beschreiben die Unterscheidungsmerkmale auf der ersten Ebene des VAM. Jede Merkmalskarte enthält im farbig umrandeten Kasten eine verbale und, falls möglich, eine grafische Beschreibung des Unterscheidungsmerkmals. Am oberen Rand der Karte werden zusätzlich die Relevanz für die Kaufentscheidung der Kunden und die Anzahl der Ausprägungen mithilfe einer Balkendarstellung visualisiert.

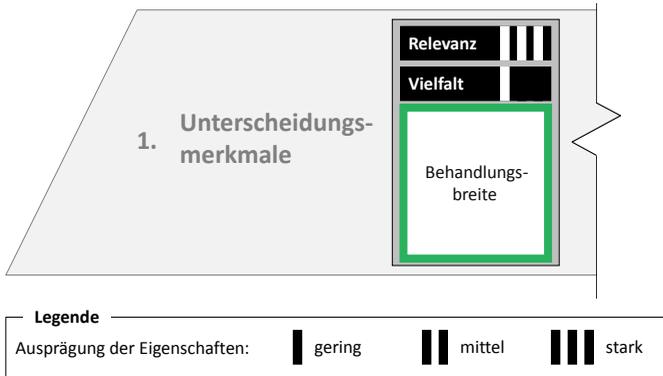


Bild 5-7: Merkmalskarte auf der ersten Ebene des VAM

Um diese Informationen einfach und übersichtlich darzustellen, wird eine Einteilung in drei Kategorien vorgenommen. Die jeweilige Kategorie wird in der Karte durch ein bis drei Striche symbolisiert (siehe Bild 5-7). Hinsichtlich der Relevanz des Unterscheidungsmerkmals wird die folgende Einteilung vorgeschlagen, die der jeweils betrachteten Produktfamilie anzupassen ist.

1. Kategorie: Das Unterscheidungsmerkmal wird kaum vom Kunden wahrgenommen, das heißt es beeinflusst die Auftragsvergabe nur in geringem Maße.
2. Kategorie: Verschiedene Kunden haben klare und unterschiedliche Vorstellungen von der erwünschten Ausprägung des Unterscheidungsmerkmals. Das Erfüllen des Wunsches beeinflusst die Kaufentscheidung deutlich.
3. Kategorie: Verschiedene Ausprägungen des Unterscheidungsmerkmals sind essentiell zur Befriedigung des Kundenbedarfs. Kunden ziehen nur Produkte in Betracht, die die gewünschte Ausprägung des Unterscheidungsmerkmals aufweisen.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe ist die Breite der zu transportierenden Folie essentiell, um den Kundennutzen der Walzenbaugruppe bereitzustellen. Das Unterscheidungsmerkmal *Folienbreite* wird deshalb der dritten Kategorie zugeordnet. Die optionale Drehzahlmessung trägt hingegen nicht zur Hauptfunktion bei. Sie dient der Überwachung des Folientransports und wird von Kunden nur selten gefordert. Das Unterscheidungsmerkmal beeinflusst die Kaufentscheidung nur minimal, weshalb es der ersten Kategorie zugeordnet wird.

Die Information zur Vielfalt der Ausprägungen der Unterscheidungsmerkmale wird ebenfalls mithilfe von drei Kategorien verdichtet, um eine visuelle Darstellung und einfache Priorisierung zu ermöglichen. Da die Vielfalt je nach betrachteter Produktfamilie äußerst unterschiedlich ausfallen kann, dienen die folgenden Kategorien nur als Orientierung und sind jeweils an die dargestellte Produktfamilie anzupassen.

1. Kategorie: Das Unterscheidungsmerkmal weist eine geringe Anzahl unterschiedlicher vorab definierter Ausprägungen auf, z.B. maximal drei Ausprägungen.
2. Kategorie: Das Unterscheidungsmerkmal wird in einer Vielzahl spezifizierter Ausprägungen bereitgestellt, beispielsweise bis zu zehn Ausprägungen.
3. Kategorie: Die Ausprägung des Unterscheidungsmerkmals wird dem individuellen Kundenwunsch angepasst, oder es besteht eine große Anzahl definierter Ausprägungen, z.B. mehr als zehn Ausprägungen.

Da im Beispiel der Walzenbaugruppe kein Unterscheidungsmerkmal mehr als drei Ausprägungen aufweist, werden alle Unterscheidungsmerkmale der ersten Kategorie zugeordnet.

Mittels der Merkmalskarten wird zusätzlich jedem Unterscheidungsmerkmal eine Farbe (blau, grün, violett etc.) zugewiesen, wobei rot der späteren Kennzeichnung kritischer Bereiche des Modells vorbehalten bleibt. Die Farben werden in den folgenden Abstraktionsstufen aufgegriffen, um kausale Zusammenhänge zwischen den Unterscheidungsmerkmalen und der Vielfalt der Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten aufzuzeigen. Alle Merkmalskarten bilden gemeinsam die höchste Abstraktionsebene des VAM.

5.3.2 Aufnahme der Variantenvielfalt der Funktionen

Für die Methode der variantengerechten Produktgestaltung werden umsatzorientierte Funktionsstrukturen adaptiert, sodass eine Aufnahme der Vielfalt der Teilfunktionen einer Produktfamilie möglich wird [vgl. Pon08]. So werden sie als Basis für die Ebene der varianten Funktionen des Variety-Allocation-Models genutzt.

Um die Funktion einer Produktfamilie abzubilden, wird eine Systematik zur Darstellung der Varianz der Teilfunktionen ergänzt. Kern dieser Systematik ist eine Differenzierung der Varianz der Teilfunktionen anhand der drei Kategorien *variante Anzahl von Funktionen*, *optionale Funktionen* und *unterschiedliche Ausprägungen von Funktionen*. Jede einzelne Teilfunktion kann eine beliebige Kombination dieser Arten der Varianz aufweisen.

Tabelle 5 fasst diese Systematik und ihre Darstellung in der Funktionsstruktur zusammen. Die mittlere Spalte beschreibt die Unterschiede der Funktionsstrukturen spezifischer Produktvarianten. Die rechte Spalte zeigt die Darstellung in der Funktionsstruktur der Produktfamilie entsprechend der vorgestellten Systematik. Nachfolgend werden die drei Arten der Varianz der Funktionen detailliert erläutert.

Tabelle 5: Systematik zur Abbildung der Varianz von Teilfunktionen in umsatzorientierten Funktionsstrukturen für Produktfamilien

Beschreibung	Funktionsstrukturen der einzelnen Varianten	Darstellung in der Funktionsstruktur der Produktfamilie
Variante Anzahl von Funktionen (parallel oder direkt in Reihe)		
Optionale Funktionen		
Unterschiedliche Ausprägungen von Funktionen	<p>mit Zustand I ≠ Zustand II</p>	

Eine variante Anzahl von Funktionen ist gegeben, wenn die Funktionen parallel oder in Reihe in unterschiedlicher Anzahl auftreten. Dieser Fall liegt vor, wenn die Teilfunktion immer eine identische Operation ausführt. Ein Beispiel für diese Art der Varianz ist die Funktion *Folie umlenken*, die in einer ähnlichen Familie von Walzenbaugruppen vorkommt. Diese Funktion wird von kleinen Umlenkwalzen ausgeführt, die die Folie im

richtigen Winkel an die zentrale Walze heranführen. Je nach Richtung der einlaufenden Folien wird die Funktion *Folie umlenken* in unterschiedlicher Anzahl benötigt.

Optionale Funktionen werden genutzt, um das Produkt verschiedenen Ausprägungen eines Unterscheidungsmerkmals anzupassen. Im Beispiel der Walzenbaugruppe (siehe Bild 5-8) sind die Funktionen *Drehzahl messen* und *Folie einziehen* dieser Kategorie zuzuordnen. Diese Funktionen kommen optional zum Einsatz, wenn eine Überwachung des Folientransports oder ein automatischer Folieneinzug gewünscht werden. Zur Bereitstellung der Grundfunktion sind sie nicht erforderlich.

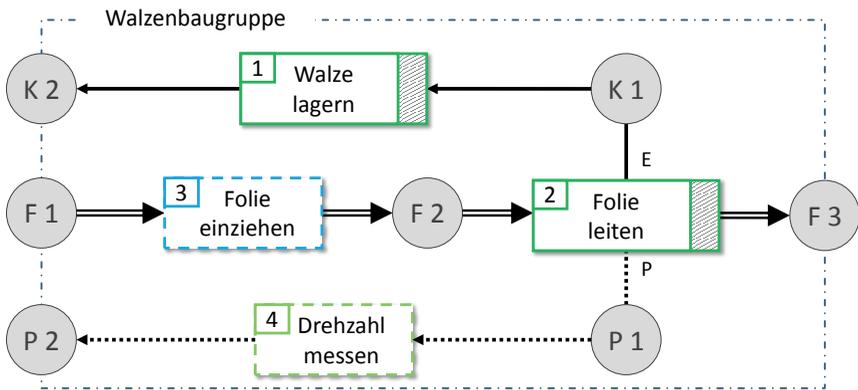


Bild 5-8: Umsatzorientierte Funktionsstruktur der Familie der Walzenbaugruppen

Unterschiedliche Ausprägungen von Funktionen liegen bei varianten Funktionen vor, wenn deren Ein- und/oder Ausgangszustände zwischen unterschiedlichen Produktvarianten so stark differieren, dass eine Verwendung gleicher Funktionsträger nicht oder nur mit erheblicher Überdimensionierung möglich ist. Beispiele hierfür sind die Funktionen *Folie leiten* und *Walze lagern* der Walzenbaugruppe (siehe Bild 5-8). Aufgrund der unterschiedlichen Folienbreiten differieren Ein- und Ausgangszustand der Varianten erheblich. Dadurch ist die Verwendung einheitlicher Funktionsträger sowohl für die Walze, als auch für den Lagerbock nur mit erheblicher Überdimensionierung möglich.

Um die resultierenden Funktionsstrukturen der Produktfamilien so einfach wie möglich zu gestalten, wird auf eine Darstellung der Vielfalt der Zustände und Relationen verzichtet. Die invarianten Operationen und alle Zustände werden mit dunkelgrauem Rahmen und hellgrauer Füllung dargestellt. Alle varianten Funktionen erhalten eine weiße Füllung, um sie deutlich zu kennzeichnen. Die varianten Teilfunktionen werden zusätzlich nummeriert, wodurch eine eindeutige Zuordnung möglich wird.

Funktionen, deren Varianz eindeutig auf ein einzelnes Unterscheidungsmerkmal zurückzuführen ist, werden durch einen Rahmen in Farbe des Unterscheidungsmerkmals

gekennzeichnet. Variante Funktionen, deren Vielfalt nicht auf ein einzelnes Unterscheidungsmerkmal zurückzuführen ist, werden mithilfe eines roten Rahmens markiert.

Basierend auf dieser Systematik wird in Bild 5-8 die umsatzorientierte Funktionsstruktur der Walzenbaugruppen dargestellt. Die Folie bildet den Hauptumsatz (Zustände F1-F3). Um die Funktion *Folie leiten* zu ermöglichen, ist die ergänzende Funktion *Walze lagern* erforderlich, mit deren Hilfe die auftretenden Kräfte (K1 und K2) abgeleitet werden. Die Art beider Funktionen variiert abhängig von der *Folienbreite*. Die Drehzahl der Walze ist ein Prozesszustand (P1), der auf Kundenwunsch gemessen und ausgegeben wird.

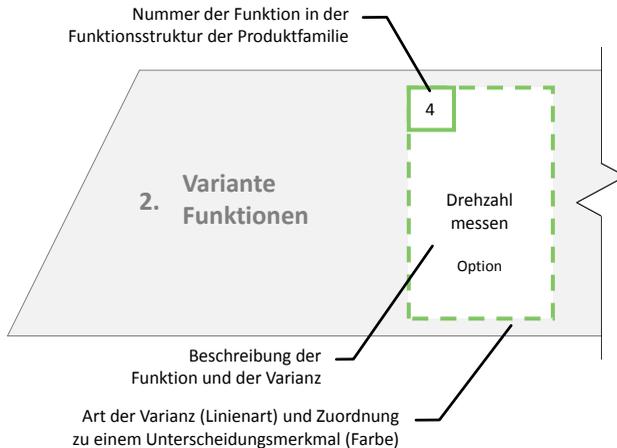


Bild 5-9: Funktionskarte der zweiten Ebene des VAM

Im VAM werden die varianten Funktionen durch Funktionskarten dargestellt (Bild 5-9). Diese Funktionskarten entsprechen weitestgehend der Darstellung der Funktion in der Funktionsstruktur der Produktfamilie. Sie enthalten neben der Nummer und der Benennung der Funktion zusätzlich eine verbale Beschreibung ihrer Varianz. Die Systematik zur Abbildung der Arten der Varianz und die Farben der Rahmen werden von der Funktionsstruktur übernommen. Alle Funktionskarten bilden gemeinsam die zweite Ebene des VAM.

5.3.3 Aufnahme der Vielfalt auf Ebene der Wirkelemente und -prinzipien

In der Aufnahme der Vielfalt der Wirkprinzipien sind grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden:

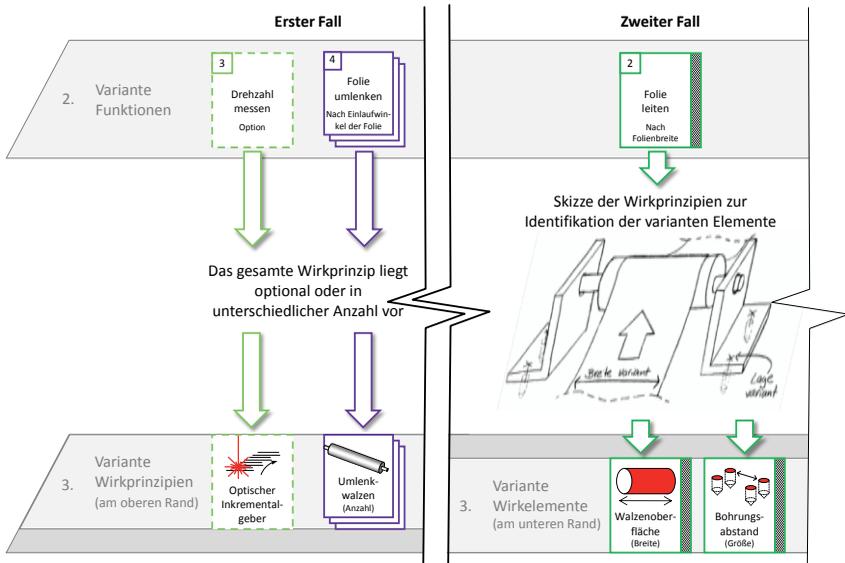


Bild 5-10: Unterschiedliche Fälle der Vielfalt auf Ebene der Wirkprinzipien und -elemente

Im ersten Fall ist das gesamte Wirkprinzip variant; das heißt es kommen alternative physikalische Effekte oder grundlegend unterschiedliche Wirkgeometrien zum Einsatz (siehe Bild 5-10 links).

Im zweiten Fall sind nur einzelne Elemente des Wirkprinzips variant, z.B. Wirkflächen oder ihre Werkstoffe (im Bild rechts). In VAM werden beide Fälle anhand der Position der Karte auf der Ebene der Wirkprinzipien unterschieden. Dadurch kann die Vorgehensweisen in der Lösungssuche leicht dem jeweiligen Fall angepasst werden.

Der erste Fall ist häufig gegeben, wenn die zu realisierende Funktion optional ist oder in unterschiedlicher Anzahl auftritt, wie dies bei den Funktionen *Drehzahl messen* oder *Folie umlenken* der Fall ist. Allerdings kann auch ein variantes, funktionsbestimmendes Merkmal dazu führen, dass alternative physikalische Effekte und damit alternative Wirkprinzipien Anwendung finden. Immer wenn das gesamte Wirkprinzip variant ist, wird auch eine Karte für das gesamte Wirkprinzip angelegt. Diese Karte wird am oberen Rand der Ebene angeordnet, um die Abgrenzung zu den Karten varianter Wirkelemente zu ermöglichen. Des Weiteren wird auch hier die Systematik zur Farbgebung und zur Abbildung der unterschiedlichen Arten der Vielfalt von den Funktionen übernommen.

Im zweiten Fall sind nur einzelne Elemente des Wirkprinzips, also die Wirkflächen, die Wirkbewegung oder der Werkstoff von Wirkflächen variant. Dabei sind Wirkflächen im Allgemeinen durch Art, Form, Lage, Größe und Anzahl bestimmt und können damit auch in diesen Punkten variieren. Wirkbewegungen werden durch Art, Form, Richtung, Betrag und Anzahl definiert. Der Werkstoff der Wirkflächen wird auf dieser Abstraktionsstufe durch Gesichtspunkte wie fest, flüssig oder gasförmig, starr oder nachgiebig, hohe Festigkeit und Härte oder hochzäh, verschleißfest oder korrosionsbeständig usw. beschrieben [Pah07]. In der Walzenbaugruppe ist das Wirkprinzip zum *Leiten der Folie* diesem Fall zuzuordnen, da in allen Varianten das einheitliche Prinzip *Walze mit seitlicher Fest-Los-Lagerung* zum Einsatz kommt. Die Ausführung dieses Wirkprinzips wird immer der Breite der zu behandelnden Folie angepasst.

Um zu untersuchen, welche der Elemente des Wirkprinzips unterschiedliche Ausprägungen erfordern, wird das Wirkprinzip skizziert. Anhand der Skizze wird für alle funktionsrelevanten Flächen, Bewegungen und Werkstoffe geprüft, ob die Varianz der Funktion unterschiedliche Ausprägungen der Elemente erfordert. Für die hierbei ermittelten varianten Wirkelemente werden Karten mit einer Beschreibung der Elemente und ihrer Varianz angelegt (siehe Bild 5-11). Sofern möglich, beinhaltet die Karte eine Skizze des varianten Wirkelements.

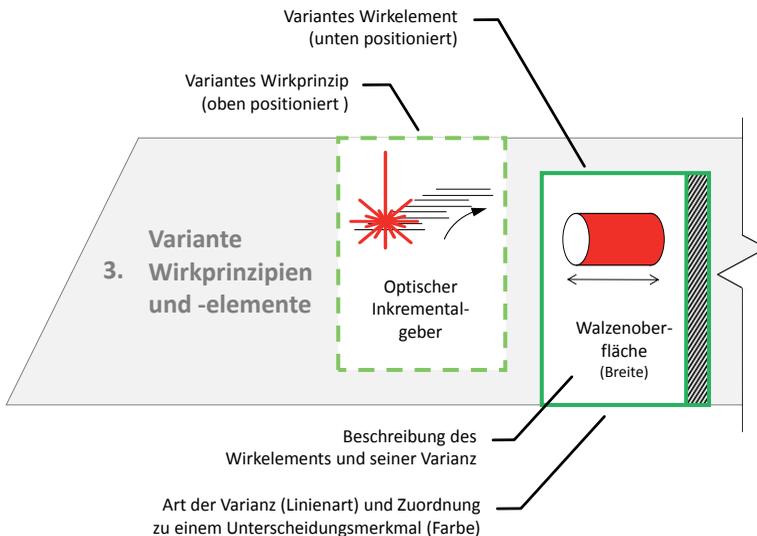


Bild 5-11: Karten auf der Ebene der varianten Wirkprinzipien und -elemente

Wie in Bild 5-11 dargestellt, bilden die Karten der varianten Wirkprinzipien und die Karten der varianten Wirkelemente gemeinsam die dritte Ebene des VAM. Die linke

Karte zeigt das optionale Wirkprinzip eines *optischen Inkrementalgebers*, der zum Messen der Walzendrehzahl genutzt wird. Die rechte Karte zeigt das variante Wirkelement *Walzenoberfläche*, dessen Breite abhängig von der Folienbreite variiert.

5.3.4 Aufnahme der Vielfalt der Komponenten

In diesem Schritt wird eine Dekomposition der Produkte durchgeführt, um die Vielfalt der Komponenten der Produktfamilie zu ermitteln. Während bei einer Dekomposition zur Modularisierung häufig versucht wird, Produkte mit weniger als 30 Komponenten abzubilden (vgl. Kapitel 3.2.1), ist hier ein Kompromiss zwischen einer einfachen Dekomposition und einer Orientierung an der Endmontage anzustreben. Die Orientierung an der Endmontage ist besonders relevant, wenn bereits einzelne variante Komponenten in der Montage separiert wurden, um die Variantenbildung zu vereinfachen. Diese Komponenten sind separat zu halten. Das Zusammenführen von Varianten- und Standardanteilen in der Modellierung würde sonst künstlich ungünstige variante Komponenten erzeugen und die Lösungssuche würde bestehende Ansätze hervorbringen.

Die Dekomposition der Produktfamilie wird in einem *Module Interface Graph (MIG)* dokumentiert. Dieses Modell wurde am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der TUHH von BLEES zur Darstellung von Dekompositionen und modularen Konzepten entwickelt. Im MIG werden die Komponenten mit ihrem ungefähren Bau- und ihrer Lage skizziert. Zusätzlich werden die strukturellen Verbindungen, sowie die Stoff-, Energie- und Informationsflüsse dargestellt [Ble08a, Ble08b, Ble11].

Der MIG in Bild 5-12 wurde weiterentwickelt, um die Abbildung einer Produktfamilie in einem Modell zu ermöglichen. Dazu wird in der Darstellung mithilfe der Füllung und des Rahmens zwischen varianten, optionalen und Standardkomponenten differenziert. Somit ist dem Modell direkt zu entnehmen, in welchen Komponenten sich die Varianten der Produktfamilie unterscheiden und welche Standardanteile sie aufweisen. Beispielsweise zeigt der MIG der Walzenbaugruppe, dass nur die Seitenteile Standardkomponenten sind. Walze und Bodenplatte sind demgegenüber variante Komponenten und der Sensor zur Messung der Drehzahl ist ein optionales Bauteil.

Die Darstellung im MIG ermöglicht es, zusätzlich die räumliche Lage der Komponenten in die variantengerechte Produktgestaltung mit einzubeziehen, wodurch die Lösungssuche erleichtert wird. Darüber hinaus bietet die Darstellung der räumlichen Kopplungen, sowie der Stoff-, Energie- und Informationsflüsse mithilfe der farbigen Verbindungen die Möglichkeit, die Anzahl der Schnittstellen und den Grad ihrer Entkopplung abzuschätzen.

Der zentrale Vorteil des MIG ist es, dass er als gemeinsame Darstellung der Komponenten und ihrer Vielfalt innerhalb des *integrierten PKT-Ansatzes* Durchgängigkeit schafft.

Wie in Kapitel 7 vorgestellt wird, ermöglicht dies eine effiziente und effektive gemeinsame Anwendung unterschiedlicher Elemente des *integrierten PKT-Ansatzes*.

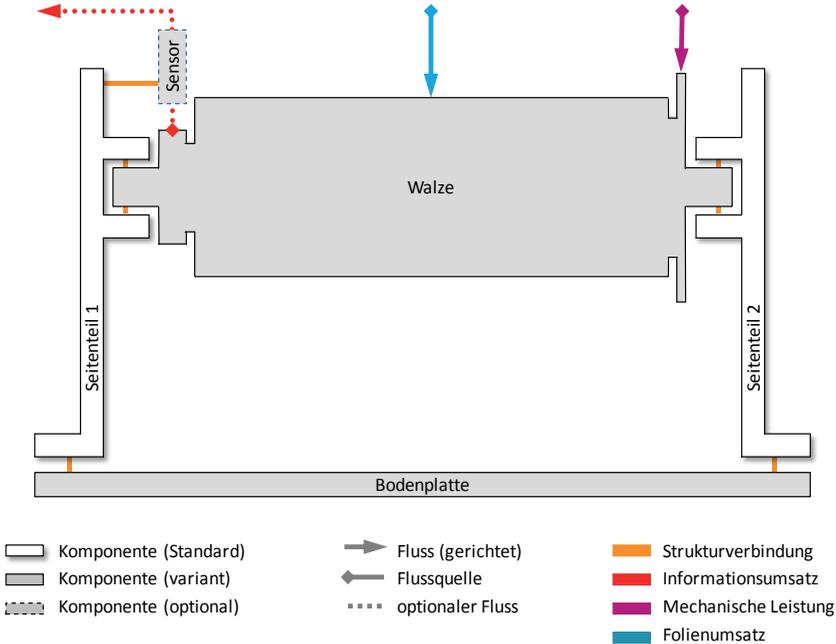


Bild 5-12: Variantenorientierter Moduls Interface Graph (MIG) zur Aufnahme der Komponentenvielfalt

Aus dem MIG wird die vierte Ebene des VAM abgeleitet, indem für jede variante Komponente eine Komponentenkarte angelegt wird (siehe Bild 5-13). Diese Karten beinhalten neben einer Beschreibung und einem Bild der Komponente noch Informationen über die Kosten der jeweiligen Komponente und über die Anzahl und Kopplung ihrer Schnittstellen. Beide Informationen werden dargestellt, indem analog zu den Merkmalskarten eine Einteilung in drei Kategorien vorgenommen wird. Die jeweilige Kategorie wird auf der Karte wiederum durch die Anzahl der Striche symbolisiert.

Zur Einteilung der Komponenten hinsichtlich ihrer Kosten bietet sich eine ABC-Analyse an. Diese Methode zur Klassifikation von Objekten ist „einfach und schnell durchführbar“ und unterstützt die „Identifikation von wesentlichen Elementen“ [Lin07]. Aus der Anwendung der ABC-Analyse ergeben sich folgende drei Kostenkategorien für die Komponenten.

1. Kategorie: Geringe anteilige Kosten, das heißt die Komponente ist Bestandteil der Klasse C der ABC-Analyse. Dies sind häufig etwa 50% der Teile, welche zusammen nur einen Anteil von 5% an den Produktkosten aufweisen.
2. Kategorie: Mittlere anteilige Kosten, das heißt B-Teile.
3. Kategorie: Hohe anteilige Kosten. Die Komponente ist Bestandteil der A-Teile, welche etwa 20% der Teilezahl ausmachen und zusammen einen Anteil von etwa 80% an den Produktkosten aufweisen.

In der Walzenbaugruppe verursacht die Komponente *Walze* aufgrund der geringen Stückzahlen ihrer Varianten durchschnittlich mehr als 50% der Gesamtkosten. Der optionale *Drehzahlsensor* ist dagegen ein C-Teil und damit aus Sicht der Kosten eine ideale Variantenkomponente.

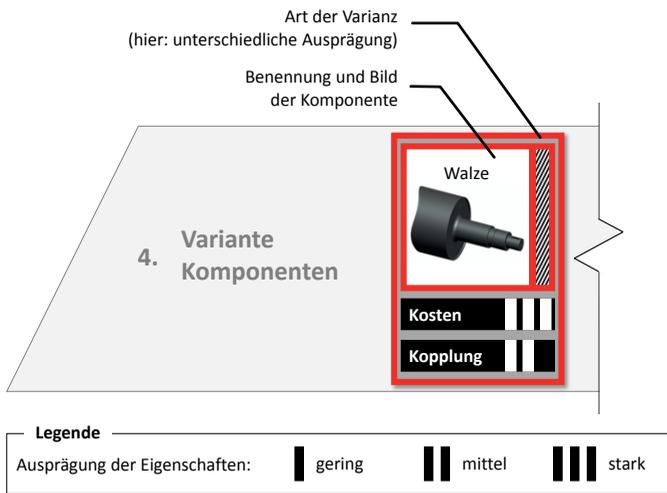


Bild 5-13: Komponentenkarte auf der vierten Ebene des VAM

Die Bewertung der Kopplung erfolgt anhand der Anzahl und des Standardisierungsgrads der Schnittstellen. Da Produktfamilien sowohl in der Anzahl der Stoff-, Energie- und Informationsflüsse als auch in ihren strukturellen Anforderungen große Unterschiede aufweisen, dient die im Folgenden vorgeschlagene Kategorisierung der Kopplungen nur als Anhaltspunkt. Die Kategorien sind der betrachteten Produktfamilie anzupassen.

1. Kategorie: Weitestgehende Entkopplung, das heißt die Komponente weist eine vollständig definierte und für alle bestehenden und geplanten Produktvarianten standardisierte Schnittstelle auf.
2. Kategorie: Geringe Kopplung, das heißt die Komponente hat mehrere standardisierte Schnittstellen zu anderen Komponenten.
3. Kategorie: Starke Kopplung, das heißt zumindest eine der Schnittstellen der varianten Komponente ist nicht vollständig standardisiert.

Im Beispiel weist die Komponente Walze insgesamt fünf Schnittstellen auf: Zum Gesamtsystem über Folie und Ketteneinzug, zu den beiden Seitenteilen und zum Drehzahlsensor. Die Schnittstellen sind standardisiert, weshalb die Kopplung der Komponente der zweiten Kategorie zugeordnet wird.

Der Komponentenkarte ist zusätzlich zu entnehmen, ob die Vielfalt der Komponente eindeutig einem Unterscheidungsmerkmal zuzuordnen ist. Ist dies der Fall, erhält der Rahmen der Karte wiederum die Farbe des Unterscheidungsmerkmals, ansonsten wird er, wie in Bild 5-13, rot markiert. Dies ist im Beispiel der Walze der Fall, da alle drei Unterscheidungsmerkmale die Vielfalt der Komponente bestimmen. Die Komponentenkarten bilden gemeinsam die vierte Ebene des VAM.

5.3.5 Zusammenfassende Darstellung der Vielfalt im Variety-Allocation-Model

Das Variety-Allocation-Model (VAM) fasst die externe Vielfalt, die interne Vielfalt und ihre Zuordnungsstruktur zusammen.

Die externe Vielfalt wird mittels der aus dem Merkmalsbaum abgeleiteten Merkmalskarten beschrieben. Die interne Vielfalt wird auf den Abstraktionsstufen Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten mithilfe der Karten beschrieben, die aus den spezifischen Modellen abgeleitet sind.

Im letzten Schritt der Erstellung des VAM werden die Beziehungen zwischen den Ebenen ergänzt. Diese werden als Verbindungen der Karten des VAM dargestellt (siehe Bild 5-14). Karten von Unterscheidungsmerkmalen und Funktionen werden verbunden, wenn das Unterscheidungsmerkmal die Varianz der Funktion verursacht. Karten von varianten Funktionen und Wirkprinzipien oder -elementen werden verbunden, wenn das Wirkprinzip oder -element zum Realisieren der Vielfalt der Funktion erforderlich ist. Karten von Wirkprinzipien oder -elementen werden dann mit einer Komponentenkarte verbunden, wenn die Komponente die jeweiligen Wirkprinzipien oder -elemente beinhaltet. Damit werden die kausalen Beziehungen zwischen interner und externer Vielfalt durchgängig über alle Abstraktionsstufen dargestellt.

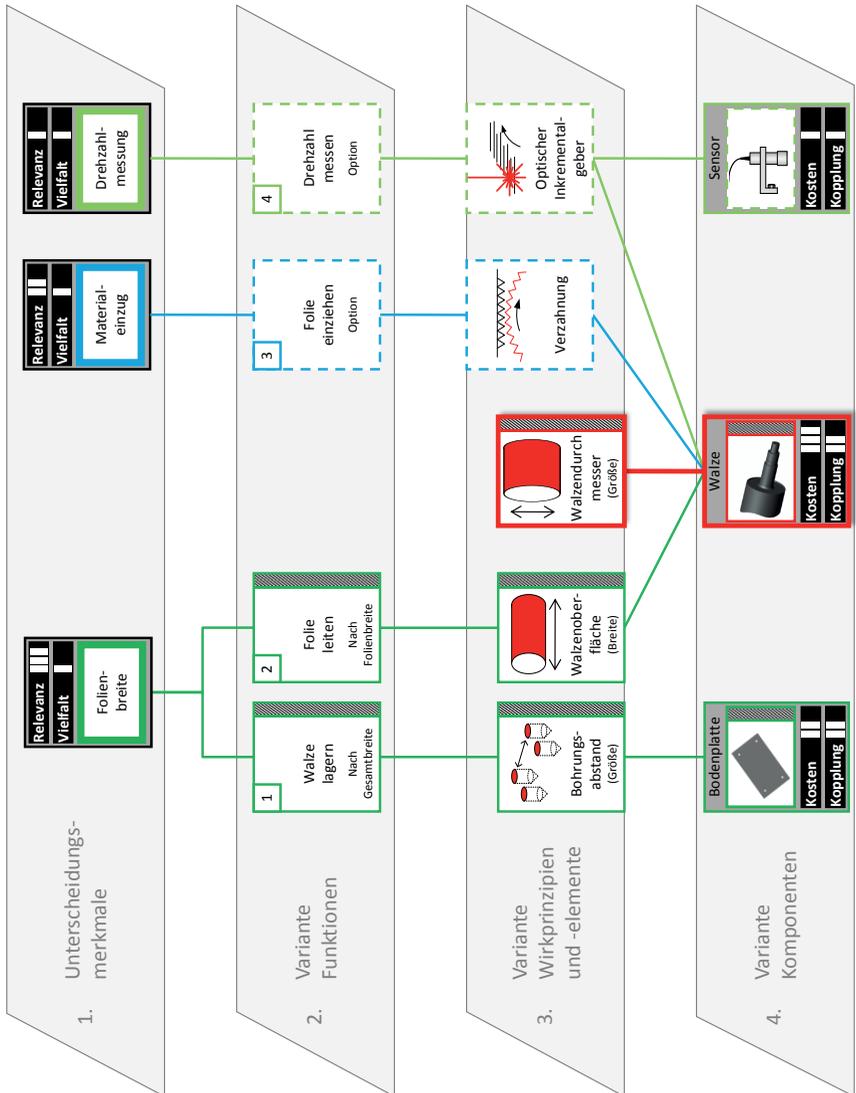


Bild 5-14: Darstellung der Vielfalt und ihrer Zuordnungsstruktur im Variety-Allocation-Model (VAM)

Dem VAM der Walzenbaugruppe ist zu entnehmen, dass das Unterscheidungsmerkmal *Folienbreite* die Vielfalt der Funktionen *Walze lagern* und *Folie leiten* verursacht. Die Vielfalt der Funktion *Walze lagern* wird durch den *Bohrungsabstand* in der Komponente *Bodenplatte* ermöglicht. Zur Realisierung der Vielfalt der Funktion *Folie leiten*

sind unterschiedliche Breiten der *Walzenoberfläche* erforderlich. Diese Wirkfläche ist Teil der integralen Komponente *Walze*, die darüber hinaus unterschiedliche *Walzendurchmesser*, eine optionale *Verzahnung* und eine optionale Geberradgeometrie des Wirkprinzips *Optischer Inkrementalgeber* aufweist. Wie dem Modell zu entnehmen ist, sind die unterschiedlichen Walzendurchmesser nicht zur Realisierung der Varianz einer Funktion erforderlich. Die integrale *Walze* enthält somit technische Varianz, sie wird von allen Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst, weist hohe anteilige Kosten und eine mittlere Kopplungsstärke auf. Die *Walze* ist keine ideale Variantenkomponente.

Im folgenden Abschnitt wird vorgestellt, wie die Produktfamilie mithilfe des VAM dem Idealbild angenähert wird. Dazu wird aufgezeigt, wie auf allen Abstraktionsebenen Handlungsschwerpunkte und geeignete Maßnahmen ermittelt werden können.

5.4 Suche nach alternativen variantengerechten Lösungsansätzen

In diesem Schritt werden alternative Lösungen gesucht, mit deren Hilfe das VAM einer Produktfamilie aus dem Ist-Zustand in den Ideal-Zustand überführt werden kann.

Charakteristisch für den Ist-Zustand von gewachsenen Produktfamilien ist es, dass die Unterscheidungsmerkmale durch eine Vielzahl von Komponenten abgebildet werden. Diese Komponenten weisen eine große Anzahl von Varianten auf und sind weder schnell zu produzieren noch günstig zu lagern. Wie in Bild 5-15 links oben zu erkennen, wird dies im VAM anhand der netzartigen Struktur und der Vielzahl rot dargestellter Komponenten deutlich.

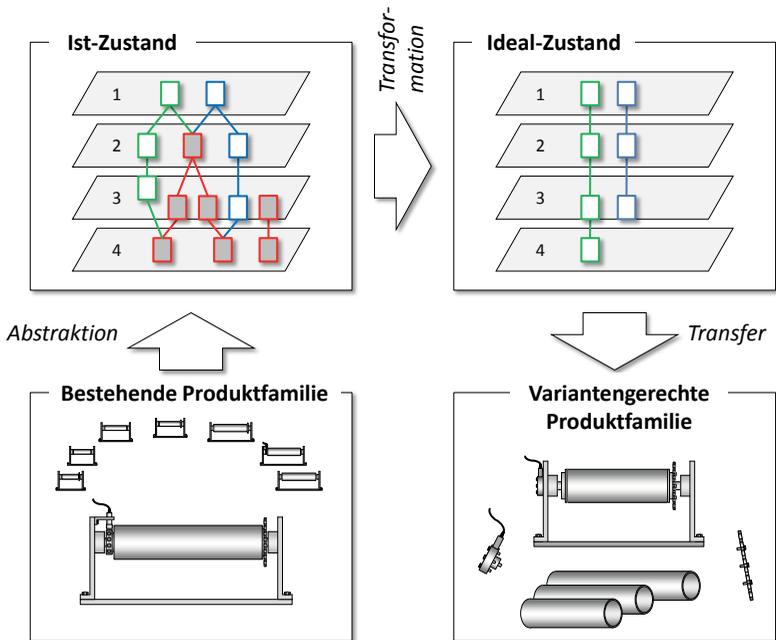


Bild 5-15: Variantengerechte Produktgestaltung mithilfe des VAM

Im Ideal-Zustand (Bild 5-15 rechts oben) wird dagegen jedes Unterscheidungsmerkmal durch genau eine Komponente oder bestenfalls ohne physische Vielfalt abgebildet. Diese Komponenten liegen aufgrund der Zuordnungsstruktur jeweils in der geringsten möglichen Anzahl von Varianten vor. Sie sind kostengünstig zu lagern oder schnell zu produzieren. Ihre Schnittstellen sind standardisiert. Zusammenfassend zeichnet sich der Ideal-Zustand also durch eine minimale interne Vielfalt aus. Im VAM des

Ideal-Zustands ist dies an der einfachen Beziehungsstruktur zwischen den Ebenen und anhand der wenigen Varianten und der entfallenen roten Komponenten zu erkennen.

Um Lösungsansätze zu entwickeln, mit deren Hilfe des VAM der Produktfamilie aus dem Ist- in den Ideal-Zustand überführt werden kann, wird ein Vorgehen vom Konkreten zum Abstrakten gewählt. Im VAM bedeutet dies, schrittweise Lösungsansätze von der Ebene der Komponenten bis hin zur Ebene der Funktionen zu erarbeiten.

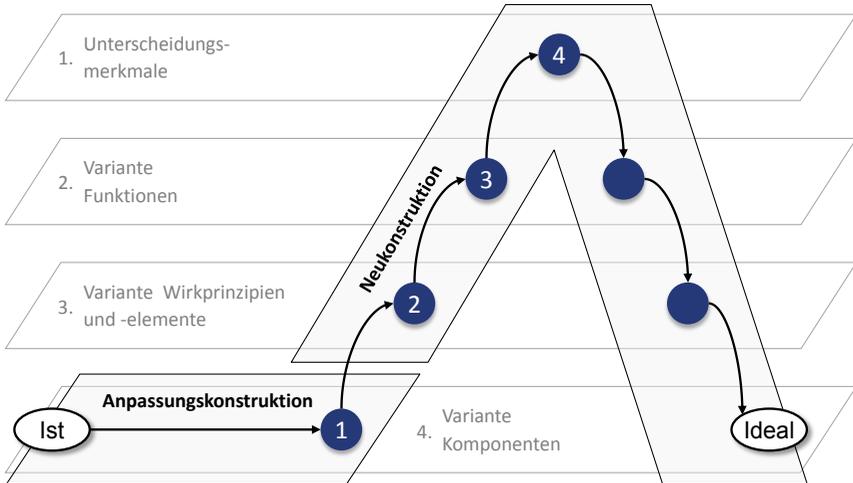


Bild 5-16: Schrittweise Erhöhung des Neuheitsgrads in der Lösungssuche

Dieses Vorgehen unterstützt die Entwicklung von alternativen variantengerechten Lösungskonzepten mit unterschiedlicher Konstruktionstiefe. Wie in Bild 5-16 durch Punkt 1 dargestellt, werden anfänglich Lösungsansätze entwickelt, die mithilfe einer Anpassungskonstruktion realisiert werden können. Sie erfordern nur eine Umgestaltung der Komponenten und keine Änderung der Wirkprinzipien oder der Funktionsstruktur. Entwicklungsaufwand und -risiko bleiben gering, weshalb die Realisierung dieser Ansätze ein wahrscheinliches Szenario darstellt. Sie bilden deshalb einen sinnvollen Maßstab zur Bewertung alternativer Lösungsansätze, die einen höheren Neuheitsgrad aufweisen und einen größeren Entwicklungsaufwand verursachen.

Variantengerechte Konzepte mit höherem Neuheitsgrad nutzen zusätzliche Lösungsansätze, die in der Lösungssuche auf den Ebenen der Wirkprinzipien und der Funktionen entstanden sind. Sie eröffnen zumeist größere Verbesserungspotenziale, sind aber mit einem größeren Entwicklungsaufwand verbunden. In Bild 5-16 werden sie durch den Pfad Neukonstruktion symbolisiert.

Im dargestellten Vorgehen vom Konkreten zu Abstrakten steigt der Neuheitsgrad der abgeleiteten Lösungskonzepte schrittweise an. Dadurch werden einerseits die Änderungen der Wirkprinzipien und der Funktionsstruktur auf ein nötiges Maß begrenzt und andererseits ist der resultierenden Nutzen der Konzepte mit höherem Neuheitsgrad leicht gegen den entstehenden Entwicklungsaufwand und das Entwicklungsrisiko abzuwägen.

Die Lösungssuche auf den unterschiedlichen Ebenen wird nachfolgend in der Reihenfolge vom Konkreten zum Abstrakten vorgestellt. Für jede Ebene wird erläutert, welche Verbesserung der Variantengerechtigkeit angestrebt wird, wie Handlungsschwerpunkte im VAM zu identifizieren sind und welche Maßnahmen zur Verbesserung der Variantengerechtigkeit genutzt werden können.

5.4.1 Lösungssuche auf Ebene der varianten Komponenten

Die Lösungssuche auf der vierten Ebene schafft die Basis für ein variantengerechtes Konzept, das mit einer Anpassungskonstruktion zu realisieren ist. Hierzu werden Variantenkomponenten geschaffen, die den Kriterien *Differenzierung* und *Reduzierung des Idealbilds* besser gerecht werden.

Wie in den VAM in Bild 5-17 zu erkennen ist, wird versucht, technische Vielfalt zu eliminieren (rechter roter Pfad), ungünstige Komponenten zu differenzieren (linke und mittlere variante Komponente) und Komponenten zusammenzufassen, die von den gleichen Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst werden (mittlere Komponente im rechten VAM). Zusätzlich werden Potenziale zur Überdimensionierung ermittelt, um die Vielfalt von ungünstigen varianten Komponenten zu reduzieren.

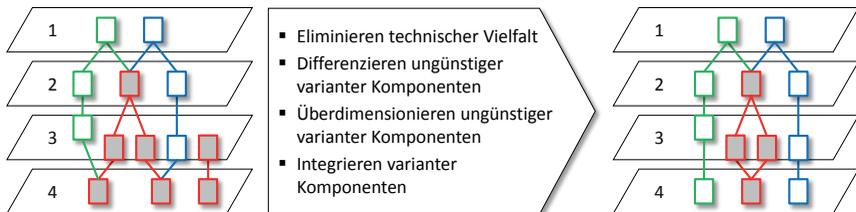


Bild 5-17: Ziel der variantengerechten Produktgestaltung auf Ebene der Komponenten

Handlungsschwerpunkte auf dieser Ebene sind demnach Komponenten, die eine technische Vielfalt aufweisen, die aufgrund hoher Kosten und Kopplungen nicht ideal sind oder deren Vielfalt von mehreren Unterscheidungsmerkmalen bestimmt wird.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe ist die *integrale Walze* der Handlungsschwerpunkt, da sie jede der genannten Eigenschaften aufweist (siehe Bild 5-18). Zur Verbesserung

dieser Komponenten werden die vier in Bild 5-17 vorgestellten Maßnahmen genutzt. Im Folgenden werden diese Maßnahmen detailliert vorgestellt. Dabei wird aufgezeigt, wie das VAM ihre Anwendung unterstützen kann.

Eliminieren der technischen Vielfalt von Komponenten

Um diese Maßnahme anzuwenden, ist die Vielfalt der Komponenten zu identifizieren, die keinen Bezug zu einem Unterscheidungsmerkmal aufweist. Diese sogenannte technische Vielfalt ist im VAM daran zu erkennen, dass keine Verbindung zu einem Unterscheidungsmerkmal besteht. Im Beispiel der Walzenbaugruppe trifft dies auf die unterschiedlichen *Walzendurchmesser* der bestehenden Produktfamilie zu (siehe Bild 5-18), da jeder verwendete Durchmesser für alle Walzenbreiten ausreichend stabil ist.

Ist die technische Vielfalt identifiziert, wird sie eliminiert, indem eine der bestehenden Ausprägungen der Komponente als Standard für die gesamte Produktfamilie definiert wird. Im Beispiel der Walze wird der Durchmesser auf einen mittleren Wert vereinheitlicht, wodurch hier die technische Vielfalt eliminiert ist.

Differenzieren ungünstiger varianter Komponenten

Ziel der Maßnahme ist es, nicht ideale Variantenkomponenten mithilfe einer Differenzialbauweise variantengerechter zu gestalten. Kennzeichen solcher Komponenten sind entsprechend des Idealbilds hohe anteilige Kosten, starke Kopplungen oder eine Zuordnung zu mehreren Unterscheidungsmerkmalen. Alle diese Informationen sind dem VAM zu entnehmen. Die Balkendarstellung in den Komponentenkarten visualisiert die Kategorie der anteiligen Kosten. Die Farbe des Rahmens zeigt, ob eine Komponente von einem oder von mehreren Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst wird (siehe Bild 5-19).

Um ein effektives Vorgehen sicherzustellen, sind zuerst Komponenten neu zu gestalten, die dem Idealbild besonders wenig gerecht werden. Im Beispiel der Walzenbaugruppe trifft dies auf die integrale *Walze* zu, da ihre Vielfalt von drei Unterscheidungsmerkmalen bestimmt wird und sie hohe anteilige Kosten und mittlere Kopplungen aufweist.

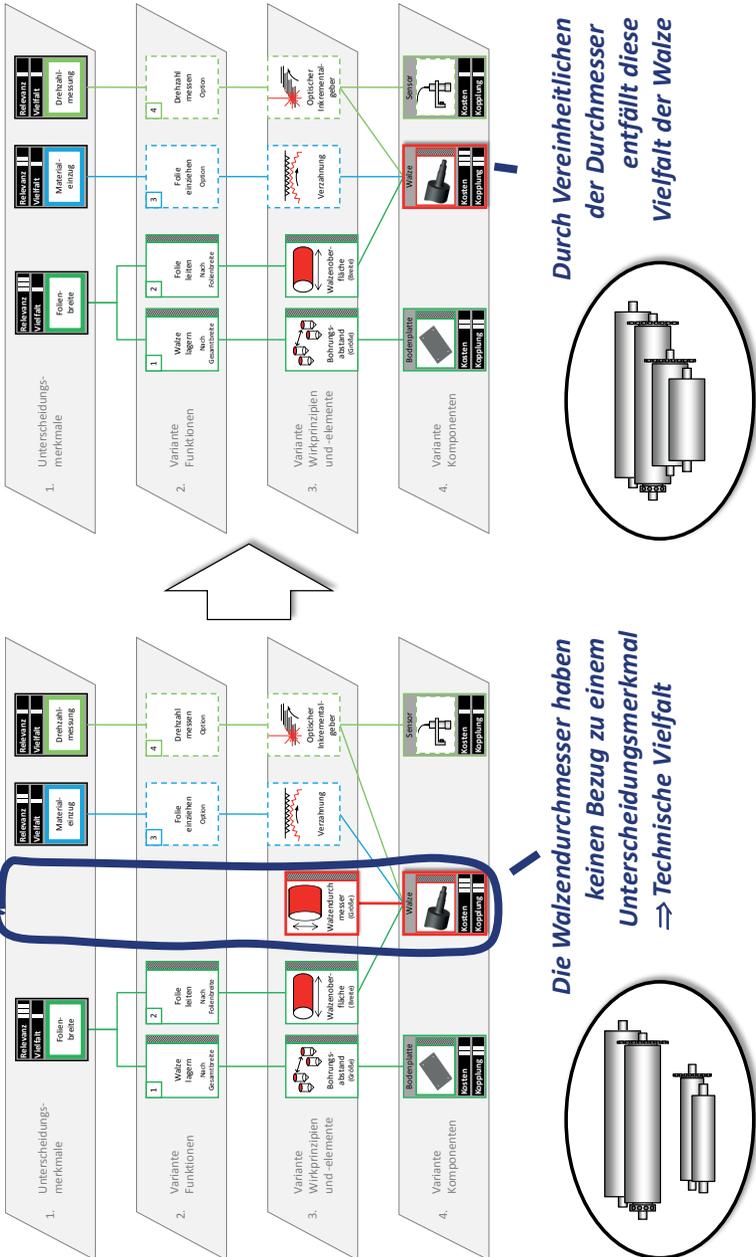


Bild 5-18: Identifizieren und Eliminieren der technischen Vielfalt

Bei der Lösungssuche ist zu beachten, dass die varianten Komponenten abhängig von der jeweiligen Zielsetzung auf zwei Arten zu differenzieren sind. Wird eine Komponente aufgrund hoher anteiliger Kosten dem Kriterium der *Differenzierung* oder aufgrund eines geringen Anteils varianter Elemente dem Kriterium der *Reduzierung* nicht gerecht, ist eine Differenzierung zwischen varianten und Standardanteilen anzustreben.

Wird eine Komponente dem Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* nicht gerecht, so sind Anteile voneinander zu differenzieren, die von unterschiedlichen Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst werden. Die resultierenden Variantenkomponenten hängen bestenfalls von nur einem Unterscheidungsmerkmal ab. In beiden Fällen sind die Schnittstellen der resultierenden Variantenkomponenten nach Möglichkeit zu standardisieren.

Im Beispiel wird die integrale Walze weder den Kriterien *Differenzierung* und *Reduzierung* noch dem Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* gerecht. Sie weist hohe anteilige Kosten auf, enthält im Bereich der Enden große standardisierbare Anteile (siehe Bild 5-19) und wird von allen Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst. Ein Lösungsansatz ist eine in Differenzialbauweise aufgebaute Walze, die aus zwei standardisierten Endstücken, Rohrelementen unterschiedlicher Länge als Mittelstück und optionalen Geber- und Kettenrädern besteht.

Durch die separaten Endstücke wird ein hoher Anteil der Wertschöpfung in den Standardanteil der Baugruppe verlagert, wodurch die Differenzialbauweise den Kriterien *Differenzierung* und *Reduzierung* deutlich besser gerecht wird. Im resultierenden VAM in Bild 5-19 wird dies durch die Balkendarstellung in den Komponentenkarten deutlich.

Das variante Mittelstück sowie die optionalen Geber- und Kettenräder hängen jeweils von nur einem Unterscheidungsmerkmal ab. Die Differenzialbauweise wird dadurch auch dem Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* besser gerecht. Im VAM in Bild 5-19 zeigt sich dies durch den Entfall rot umrandeter Komponenten und die vereinfachte Beziehungsstruktur zwischen der dritten und vierten Ebene.

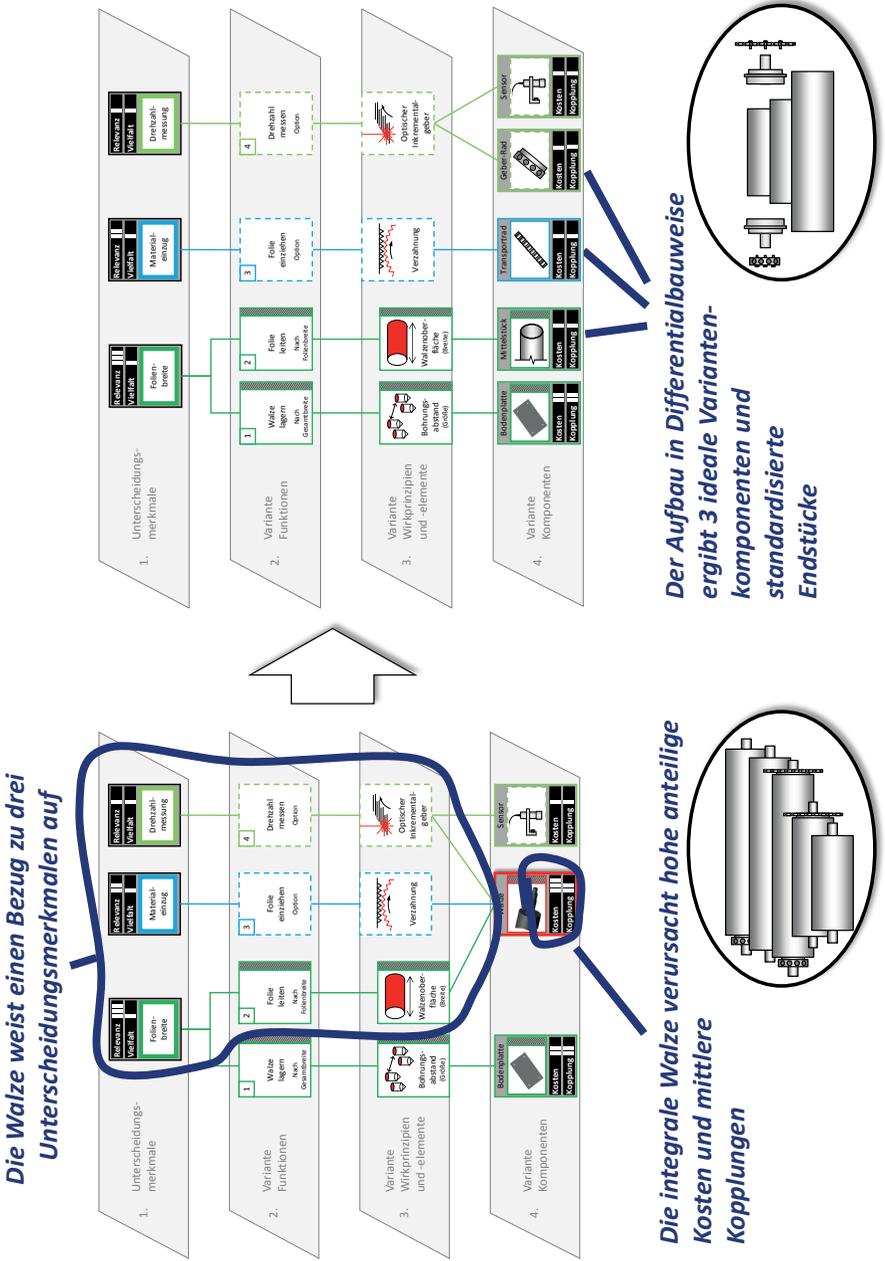


Bild 5-19: Identifizieren und Differenzieren ungünstiger varianter Komponenten

Überdimensionieren ungünstiger varianter Komponenten

Widerspricht das VAM der Produktfamilie der *Eins-zu-eins-Zuordnung*, weil die Vielfalt eines Unterscheidungsmerkmals durch mehrere Komponenten abgebildet wird, ist zu prüfen, ob diese teilweise durch Überdimensionierung standardisiert werden können. Diese Maßnahme ist nur anzuwenden, wenn die Vielfalt der Komponente nicht direkt vom Kunden wahrgenommen wird und die Produktfamilie dadurch günstiger bereitzustellen ist.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe ist zu prüfen, ob die Geometrie des optionalen Geberrads zur Messung der Walzendrehzahl in die standardisierten Enden der Walze integriert werden kann (siehe Bild 5-20). Dadurch entfällt die Variantenkomponente *Geberrad*, und die Option *Drehzahl messen* wird nur durch den Drehgeber abgebildet. Dieser Lösungsansatz wird in einem alternativen Konzept weiterverfolgt.

Integration varianter Komponenten

Diese Maßnahme zielt darauf ab, mehrere variante Komponenten mithilfe einer Integriertbauweise zu vereinen (siehe Bild 5-21). Dies ist anzustreben, wenn mehrere Komponenten aufgrund des oder der gleichen Unterscheidungsmerkmale variant sind. Im VAM wird dies durch die Farbe des Rahmens und die Zuordnungsstruktur dargestellt. Bedingung für eine solche Integration ist, dass die Komponenten innerhalb des Produkts räumlich gruppiert werden können. Eine Integration solcher Komponenten verbessert die *Eins-zu-eins-Zuordnung* zwischen den Unterscheidungsmerkmalen und den Variantenkomponenten, wodurch die Variantenbildung vereinfacht wird.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe ist die Anwendung der Maßnahme sowohl für *Bodenplatte* und *Mittelstück* als auch für *Geberrad* und *Sensor* zu prüfen. Da erstere räumlich getrennt sein müssen, ist hier eine Integration nicht möglich. *Geberrad* und *Sensor* können hingegen zu einer Einheit zusammengefasst werden, die beispielsweise außen an Seitenteil und Walzenende montiert wird. Die Variantenbildung wird dadurch ohne Überdimensionierung vereinfacht.

Mithilfe einer iterativen Umsetzung dieser vier Maßnahmen entstehen Lösungsansätze, aus denen variantengerechte Konzepte der betrachteten Produktfamilie abgeleitet werden können. Da diese Maßnahmen weder die Funktionsstruktur noch die Wirkprinzipien betreffen, sind die resultierenden Konzepte mit relativ geringem Entwicklungsaufwand als Anpassungskonstruktion umzusetzen.

Nachfolgend wird vorgestellt, wie mithilfe des VAM auf Ebene der Wirkprinzipien Handlungsschwerpunkte identifiziert und Lösungsideen generiert werden können.

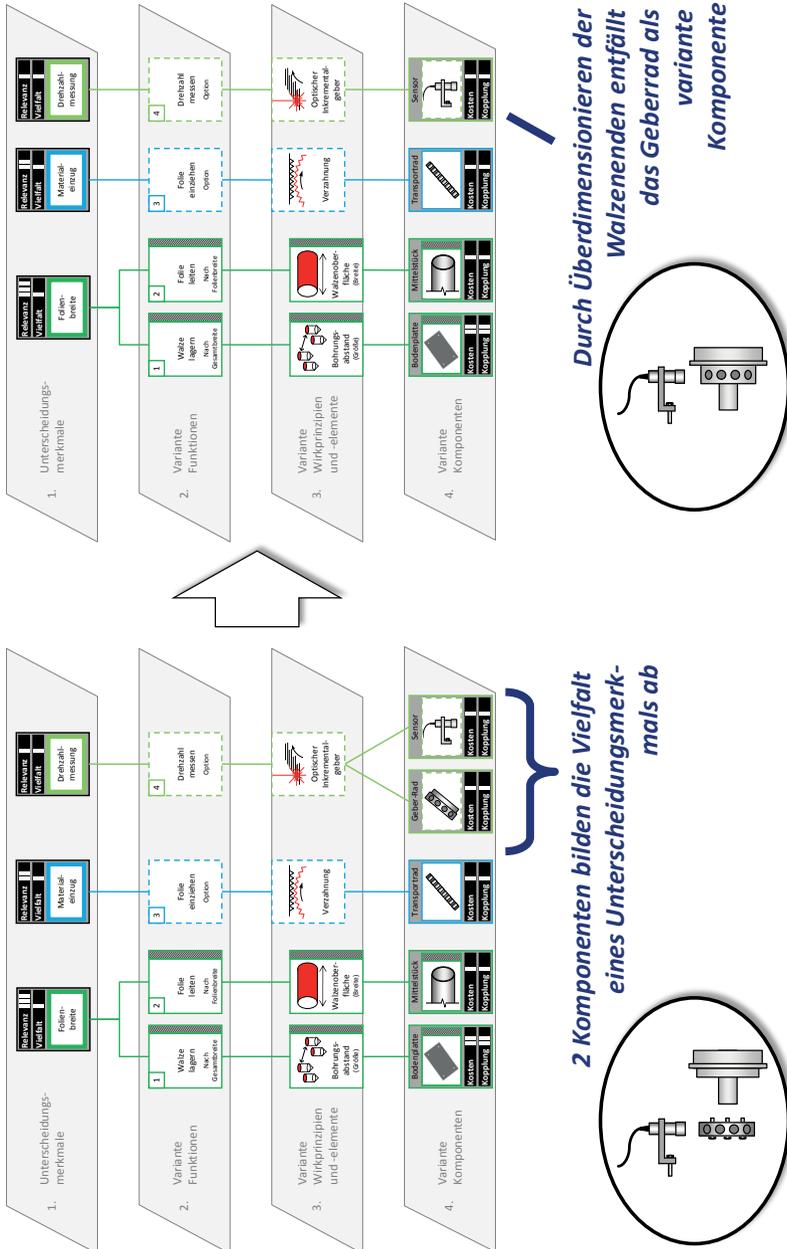
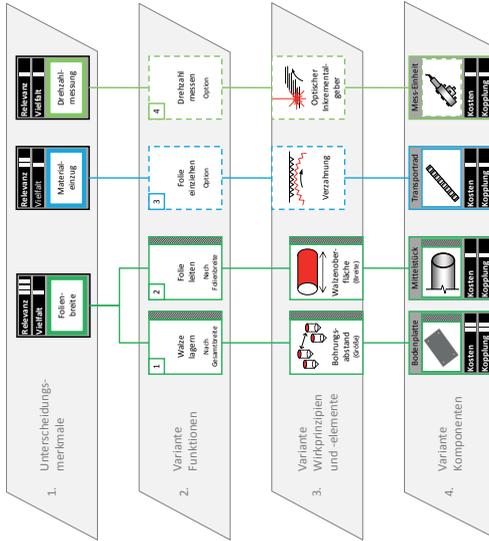
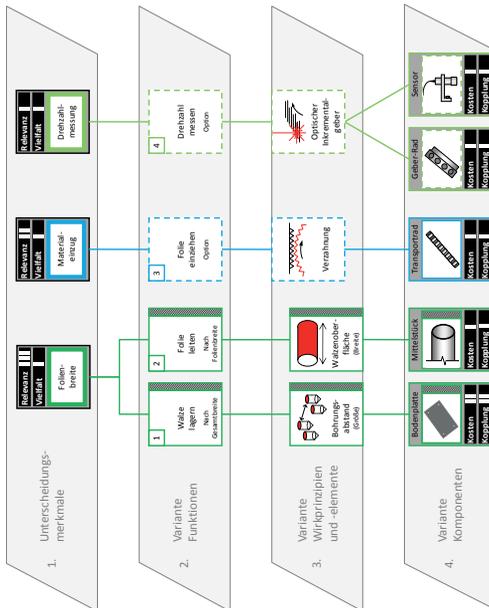
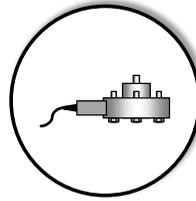


Bild 5-20: Reduzieren der Vielfalt durch Überdimensionieren



Durch Integrieren von Geberrad und Sensor entsteht eine Messeinheit, die die Option „Drehzahl messen“ abbildet



2 Komponenten bilden die Vielfalt eines Unterscheidungsmerkmals ab

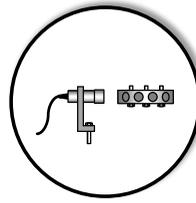


Bild 5-21: Integration von varianten Komponenten

5.4.2 Lösungssuche auf Ebene der Wirkprinzipien

Auf dieser Ebene werden Wirkprinzipien entwickelt, die eine Verbesserung hinsichtlich der Kriterien *Differenzierung* und *Reduzierung* ermöglichen.

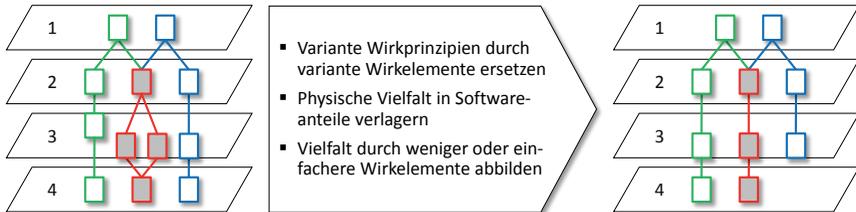


Bild 5-22: Ziel der variantengerechten Produktgestaltung auf Ebene der Wirkprinzipien

Wie in Bild 5-22 gezeigt, wird hierzu versucht, variante Wirkprinzipien durch variante Wirkelemente zu ersetzen (linker grüner Pfad), die Vielfalt auf weniger Wirkelemente zu beschränken (mittlerer roter Pfad) oder ohne physische Elemente bereitzustellen (rechter blauer Pfad). Dieses Reduzieren der varianten Wirkprinzipien und -elemente schafft die Möglichkeit, Anzahl und Umfang der Variantenkomponenten zu reduzieren. Dies bewirkt eine Verlagerung der Wertschöpfung aus dem Varianten- in den Standardanteil, wodurch die Vielfalt der Produktfamilie einfacher und günstiger bereitgestellt werden kann. Die Unterscheidungsmerkmale und die Funktionsstruktur bleiben unverändert, weshalb auch das VAM auf diesen Ebenen unverändert bleibt. Zur Realisierung der entwickelten Lösungsprinzipien ist somit nur eine Neukonstruktion einzelner Komponenten erforderlich.

Die Handlungsschwerpunkte auf Ebene der Wirkprinzipien werden aus den anteiligen Kosten der Variantenkomponenten abgeleitet, da Komponenten mit hohen anteiligen Kosten die größten Potenziale zur Verlagerung der Wertschöpfung in den Standardanteil bieten. Im Fokus der Lösungssuche stehen deshalb Wirkprinzipien, deren zugeordnete Komponenten hohe anteilige Kosten aufweisen (siehe Bild 5-23).

Nach den beschriebenen Veränderungen der Walzenbaugruppe auf Ebene der Komponenten weist die *Bodenplatte* die höchsten anteiligen Kosten aller varianten Komponenten auf. Damit wird auf dieser Ebene das Wirkprinzip betrachtet, das die Funktion *Walze lagern* erfüllt. Im Ausgangszustand ist dies ein Lagerbock mit beidseitig angeordneter Fest-Los-Lagerung. Dieses Prinzip erfordert für verschiedene *Folienbreiten* einen angepassten Abstand der Befestigungspunkte der Seitenteile und deshalb spezifische Bodenplatten.

Um hinsichtlich der identifizierten Handlungsschwerpunkte die Variantengerechtigkeit zu verbessern, werden die drei Maßnahmen aus Bild 5-22 genutzt. Diese werden nachfolgend detailliert erläutert.

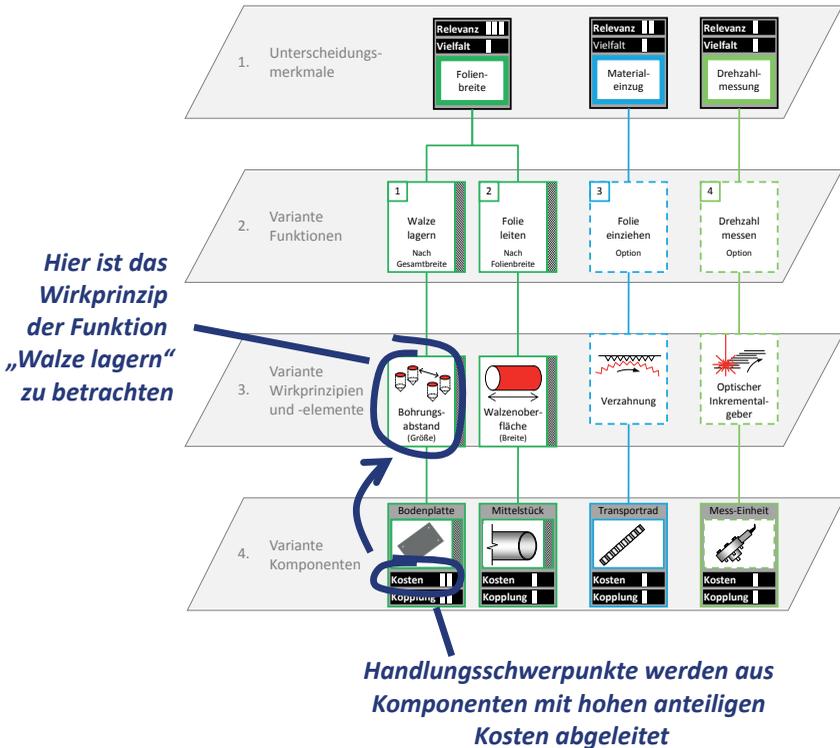


Bild 5-23: Identifizieren von Handlungsschwerpunkten auf Ebene der Wirkprinzipien

Variante Wirkprinzipien durch variante Wirkelemente ersetzen

Diese Maßnahme ist anzuwenden, wenn aufgrund eines Unterscheidungsmerkmals verschiedene Wirkprinzipien genutzt werden. In diesem Fall ist ein einheitliches Wirkprinzip zu suchen, das die gewünschten Ausprägungen des Unterscheidungsmerkmals durch Variation einzelner Wirkelemente abbildet. Teile des Wirkprinzips können dann mithilfe von Standardkomponenten realisiert werden, wodurch der Standardanteil erhöht wird.

Die unterschiedlichen Breiten der zu transportierenden Folie werden im Beispiel der Lagerung der Walzenbaugruppe durch ein Wirkelement abgebildet, weshalb diese Maßnahme hier nicht geeignet ist. Ein Beispiel für diese Maßnahme ist die Abbildung

der Vielfalt von automatischen und Handschaltungen in der Automobilindustrie. Bisher wurden entweder hydraulische Wandler oder Kupplungen, also unterschiedliche Wirkprinzipien zur Abbildung der Vielfalt genutzt. Durch den Einsatz von manuell betätigten und automatisierten Kupplungen wird das Wirkprinzip heute zunehmend vereinheitlicht.

Physische Vielfalt in Softwareanteile verlagern

Diese Maßnahme bietet das Potenzial, die Vielfalt von Komponenten zu eliminieren, ohne die externe Vielfalt zu beschränken oder Überdimensionierung einzusetzen. Gesucht werden hierzu mechatronische Wirkprinzipien, die die Vielfalt der Unterscheidungsmerkmale innerhalb des Softwareanteils abbilden.

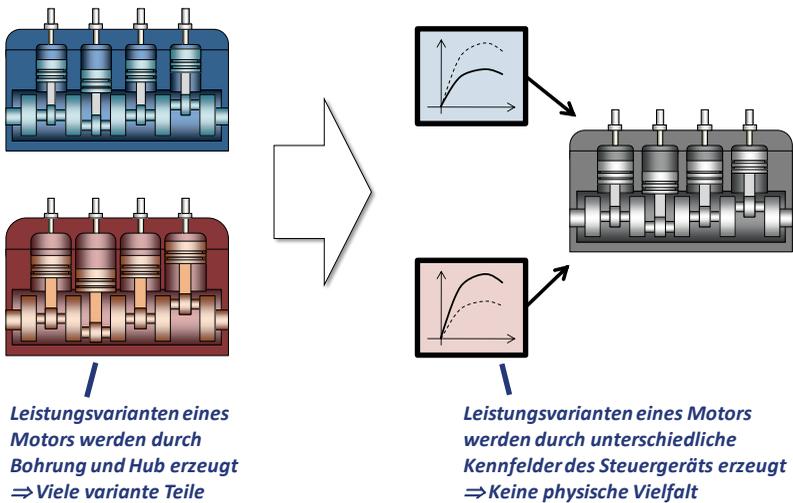


Bild 5-24: Verlagerung der Vielfalt von Komponenten zu Softwareanteilen [vgl. Kip08]

Diese Maßnahme ist besonders geeignet, wenn die betrachtete Produktfamilie bereits mechatronische Lösungen aufweist. Ist dies nicht der Fall, ist zu prüfen, ob der erzielbare Nutzen den Aufwand rechtfertigt.

Auch mithilfe dieser Maßnahme kann die Vielfalt der Walzenbaugruppe, die aufgrund der *Folienbreite* entsteht, nicht effizienter abgebildet werden. Eine Verlagerung dieser Vielfalt in die Softwareanteile erscheint nicht möglich. Ein Beispiel für die Anwendung dieser Maßnahme findet sich wiederum in der Automobilindustrie (siehe Bild 5-24). Leistungsvarianten von Motoren werden vielfach nicht mehr durch Bohrung und Hub, sondern durch unterschiedliche Programmierung der Steuergeräte abgebildet. Die physische Vielfalt des Motors entfällt dadurch.

Vielfalt durch weniger oder einfachere Wirkelemente abbilden

Diese Maßnahme beschreibt die Suche nach alternativen Wirkprinzipien, die die Vielfalt der zu realisierenden Funktion mit weniger oder einfacheren Wirkelementen abbilden. Die Maßnahme ist in Betracht zu ziehen, wenn ein Unterscheidungsmerkmal durch viele oder kostenintensiv zu realisierende Wirkelemente abgebildet wird.

Im Ausgangszustand der Walzenbaugruppe wird die Funktion *Walze lagern* durch ein Wirkprinzip erfüllt, das mit der *Bodenplatte* ein kostenintensiv zu realisierendes variantes Wirkelement enthält. Deshalb ist die Anwendung der Maßnahme zu prüfen. Ein resultierender Ansatz ist es, die beidseitige Lagerung der Walze durch eine einseitige O-Lagerung zu ersetzen, um die Breite der Bodenplatte von der Folienbreite zu entkoppeln (siehe Bild 5-26). Dadurch entfällt das variante Wirkelement. Dieser Ansatz wird in einem der Konzepte weiterverfolgt.

Die Umsetzung von Lösungsansätzen, die auf Ebene der Wirkprinzipien entstehen, erfordert eine Neukonstruktion einzelner Komponenten der Produktfamilie. Die Kombination mit Lösungsideen, die auf einer Umgestaltung der Funktionsstruktur beruhen, verursacht deshalb zumeist nur geringen Mehraufwand. Im Folgenden wird die Suche nach Lösungsansätzen auf Ebene der varianten Funktionen beschrieben.

5.4.3 Lösungssuche auf Ebene der varianten Funktionen

Durch eine geeignete Gestaltung der Funktionsstruktur kann die Zuordnungsstruktur deutlich der *Eins-zu-eins-Zuordnung* angenähert werden.

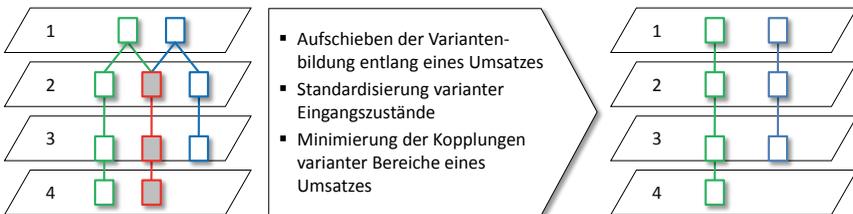


Bild 5-25: Eins-zu-eins-Zuordnung von Unterscheidungsmerkmalen, Funktionen und Komponenten

Der Grund hierfür ist es, dass die Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Funktionen und Komponenten in bestehenden Produktfamilien durch Umgestalten der Komponenten leicht geschaffen werden kann oder bereits erreicht ist. In Bild 5-25 im linken VAM ist diese einfache Zuordnung zwischen Funktionen und Komponenten zu erkennen. Dennoch zeigt der mittlere rote Pfad, dass die Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Komponenten nicht erreicht ist.

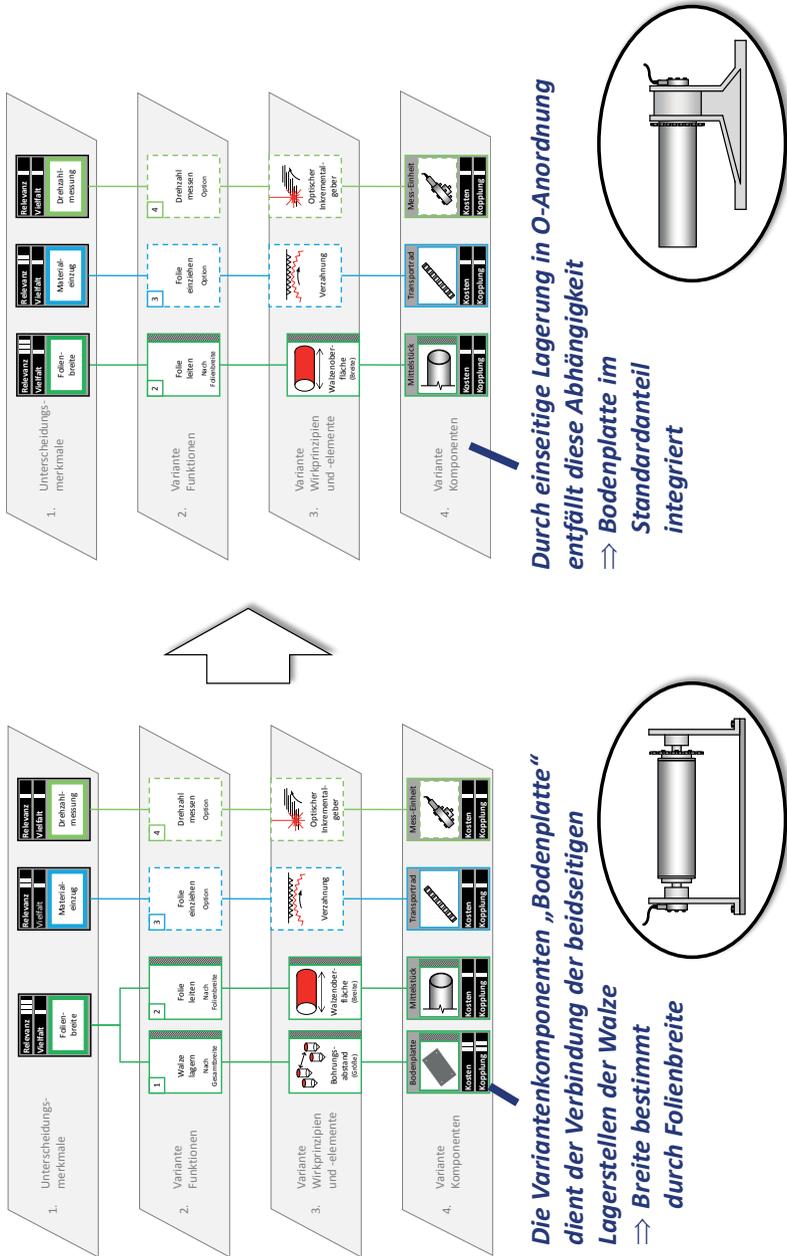


Bild 5-26: Abbilden der Vielfalt durch weniger Wirkelemente am Beispiel der Walze

Die ideale Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Unterscheidungsmerkmalen, Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten kann jedoch erreicht werden, indem die Zuordnungsstruktur zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Funktionen vereinfacht wird. Im rechten VAM in Bild 5-25 ist dies dargestellt.

Die Lösungssuche auf Ebene der Funktionen zielt deshalb darauf ab, eine Eins-zu-eins-Zuordnung zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Funktionen zu realisieren. Dem widersprechen insbesondere Unterscheidungsmerkmale, die eine Vielzahl varianter Funktionen verursachen. Solche Unterscheidungsmerkmale und die zugeordneten varianten Funktionen sind zu identifizieren. Hierbei hilft das VAM, in dem die Zuordnungen zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Funktionen gut unterscheidbar in der Farbe des Merkmals dargestellt sind (siehe Bild 5-27). Handlungsschwerpunkt im Beispiel der Walzenbaugruppe ist der Bereich des Unterscheidungsmerkmals *Folienbreite* (im VAM grün dargestellt), da dieses Unterscheidungsmerkmal die meisten varianten Funktionen verursacht.

Für die Handlungsschwerpunkte ist die Ursache der mehrfachen Zuordnung zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Funktionen zu ermitteln, um eine geeignete Lösungsstrategie auszuwählen. Dazu werden die im VAM identifizierten Funktionen anhand ihrer Benennung oder Kennnummer in der Funktionsstruktur der Produktfamilie identifiziert.

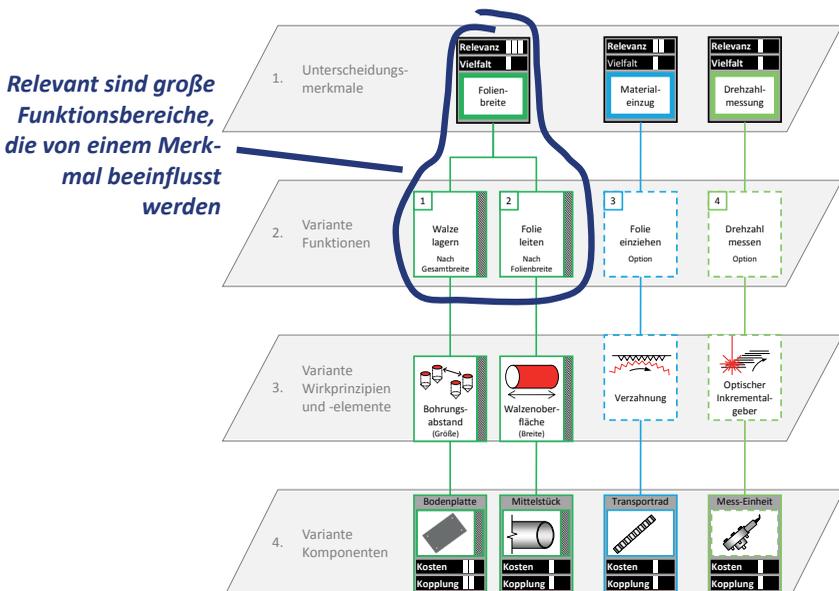


Bild 5-27: Identifizieren von Handlungsschwerpunkten auf Ebene der Funktionen

In der Funktionsstruktur werden die Funktionen durch eine geeignete farbliche Markierung hervorgehoben. Entsprechend sind in der Funktionsstruktur der Walzenbaugruppe in Bild 5-28 Funktionen türkis markiert, die von dem Unterscheidungsmerkmal *Folienbreite* betroffen sind. Die Funktion *Folie leiten* liegt im Hauptumsatz, dem Folienumsatz. Die Funktion *Walze lagern* ist Teil des Ergänzungsumsatzes, der dem Abstützen der Führungskräfte der Folie dient.

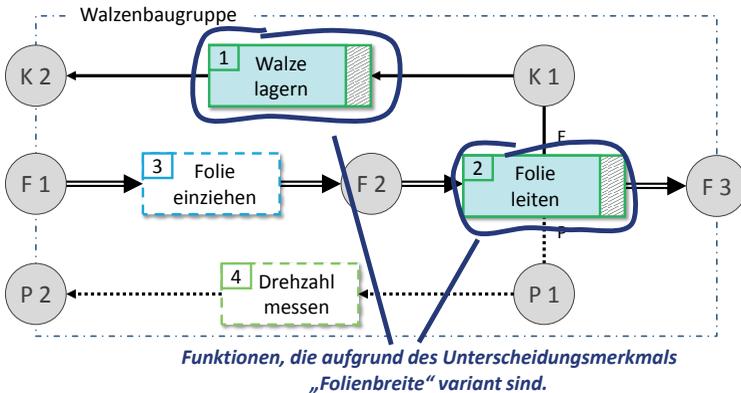


Bild 5-28: In der Funktionsstruktur markierter Handlungsschwerpunkt auf Ebene der Funktionen

Anhand dieser Darstellung wird untersucht, ob die mehrfache Zuordnung zwischen dem Unterscheidungsmerkmal und den Funktionen auf eine der drei nachfolgend beschriebenen Ursachen zurückzuführen ist (siehe Bild 5-29).

Die erste mögliche Ursache ist die erwünschte Vielfalt eines Endzustandes eines Material-, Energie- oder Informationsumsatzes. In Bild 5-29 oben wird dies durch den grauen Zustand am rechten Ende des Umsatzes symbolisiert. Eine Mehrfachzuordnung resultiert hieraus, wenn die Vielfalt bereits mehrere Funktionen vor dem Ende des Umsatzes gebildet wird. In Bild 5-29 oben entsteht die Vielfalt bereits in der ersten Funktion (variantenbildende Funktion, weiß-grau dargestellt), weshalb die nachfolgenden Funktionen ebenfalls von der Vielfalt betroffen sind.

Die zweite mögliche Ursache sind variantenspezifische Eingangszustände eines Umsatzes der Funktionsstruktur (siehe Bild 5-29 Mitte). Diese verursachen eine Mehrfachzuordnung, wenn der zugehörige Umsatz erst nach mehreren Funktionen vereinheitlicht wird. In Bild 5-29 Mitte wird der Umsatz erst in der dritten Funktion standardisiert, das heißt die Funktion überführt die variantenspezifischen Eingangszustände in einen einheitlichen Ausgangszustand (standardisierende Funktion, grau-weiß dargestellt). Alle vorhergehenden Funktionen sind deshalb von der Vielfalt betroffen.

Die dritte mögliche Ursache einer Mehrfachzuordnung sind Kopplungen zu einem variablen Umsatz oder Rückwirkungen aus einem variablen Bereich. In Bild 5-29 unten startet der Informationsumsatz mit einem variantenspezifischen Prozesszustand des oberen Umsatzes. Daraus resultiert die Vielfalt der beiden folgenden Funktionen des Informationsumsatzes.

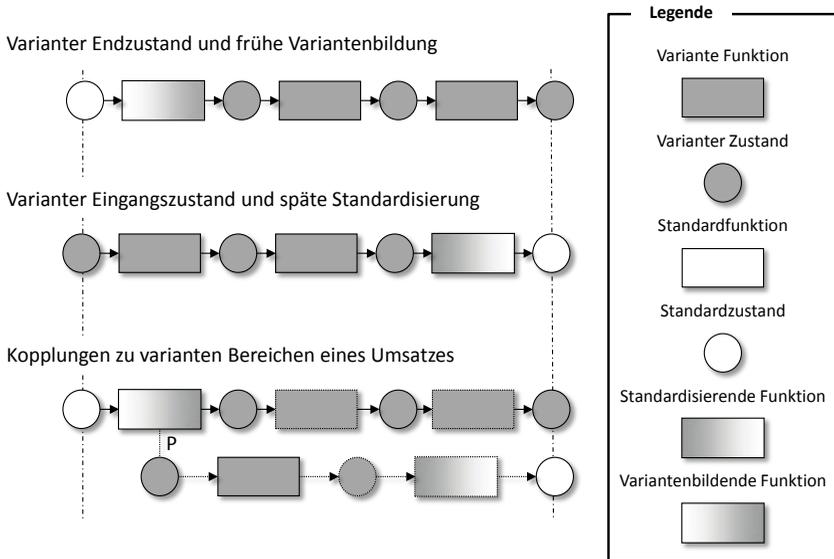


Bild 5-29: Ursachen einer Mehrfachzuordnung zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Funktionen

Abhängig von der Ursache der Mehrfachzuordnung sind unterschiedliche Lösungsansätze zu wählen. Diese werden nachfolgend detailliert erläutert.

Lösungsansatz bei variantem Endzustand und früher Variantenbildung

In diesem Fall bietet sich ein Transfer der Postponement-Strategie (siehe Kapitel 3.5) auf die Funktionsstruktur an. Dies bedeutet hier, die Differenzierung eines gerichteten Stoff-, Energie- oder Informationsumsatzes auf dessen letztmögliche Funktion zu verschieben (siehe Bild 5-30).

Die Walzenbaugruppe bietet kein Beispiel zur Anwendung dieser Maßnahme. Jedoch eignet sich das übergeordnete System, das heißt eine Druckmaschinen, als Beispiel. Hierzu wird angenommen, dass den Varianten der Maschine immer Folienrollen einer standardisierten Größe zugeführt werden und daraus für verschiedene Anwendungen bedruckte Folienelemente unterschiedlicher Größe entstehen. In diesem Fall sollte das

Zuschneiden der Folienelemente im letzten Schritt erfolgen, um den Folienumsatz und damit möglichst viele Funktionen der Maschine zu standardisieren.

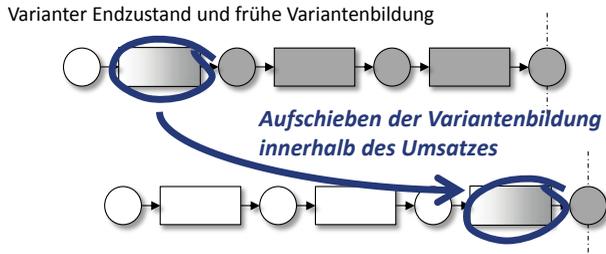


Bild 5-30: Aufschieben der Variantenbildung entlang eines Umsatzes

Lösungsansatz bei variantem Eingangszustand und später Standardisierung

Häufig treten bei Ländervarianten variante Eingangszustände in der Funktionsstruktur auf. Ein typisches Beispiel sind unterschiedliche Netzspannungen für den Eingangszustand *elektrische Energie verfügbar*. Ein solcher varianter Eingangszustand kann entlang des Umsatzes eine Vielzahl varianter Funktionen zur Folge haben. Um dies zu vermeiden, bietet sich die Umkehr der obig beschriebenen Postponement-Strategie an.

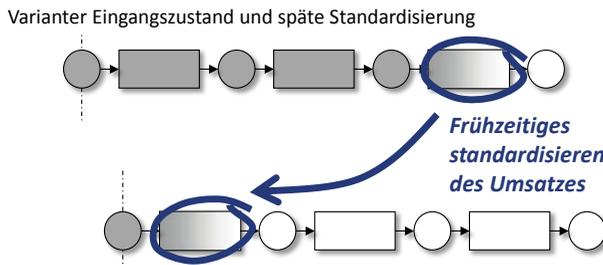


Bild 5-31: Standardisierung varianter Eingangszustände

Der variante Eingangszustand eines Stoff-, Energie- oder Informationsumsatzes wird hierfür in der frühestmöglichen Funktion in einen standardisierten Zustand überführt (siehe Bild 5-31). Dazu kann eine bestehende Funktion genutzt oder eine standardisierende Funktion ergänzt werden.

Durch Anwendung dieser Maßnahme werden alle folgenden Funktionen von der Vielfalt des Eingangszustands entkoppelt. Im Beispiel der unterschiedlichen Netzspannungen bei Ländervarianten wird dieser Eingangszustand häufig direkt durch externe

Netzteile, also durch kostengünstige und entkoppelte Variantenkomponenten standardisiert.

Lösungsansatz bei Kopplungen und Rückwirkungen aus varianten Bereichen

Ein Funktionsbereich, dessen Vielfalt erforderlich ist, kann eine Vielzahl weiterer varianter Funktionen verursachen, wenn er Kopplungen zu anderen Umsätzen oder Rückkopplungen zu vorgelagerten Bereichen aufweist. Die Vielfalt dieser Funktionen trägt zumeist nicht zum Kundennutzen bei. In diesen Fällen ist es anzustreben, den varianten Bereich zu separieren oder die Rückkopplungen zu eliminieren. Die Funktionsstruktur ist so zu gestalten, dass variante Bereiche von Stoff-, Energie- oder Informationsumsätzen von anderen Umsätzen oder Bereichen des Umsatzes entkoppelt sind (siehe Bild 5-32).

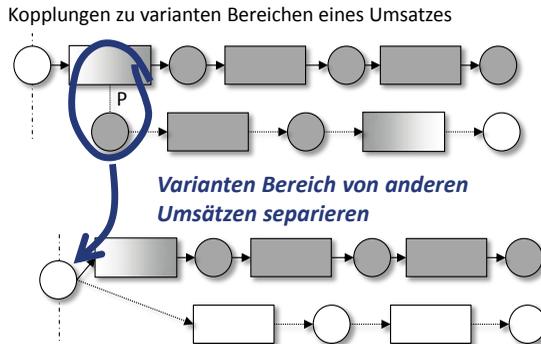


Bild 5-32: Minimierung der Kopplungen varianten Bereiche eines Umsatzes

Ein Beispiel für diesen Fall ist die Messung der Geschwindigkeit der Folienbahnen in der Druckmaschinenkomponente, deren Bestandteil die Walzenbaugruppe ist. Die indirekte Messung der Geschwindigkeit über den variantenspezifischen Prozesszustand Walzendrehzahl erzeugt eine Kopplung zwischen der varianten Funktion *Folie leiten* und dem Informationsumsatz zum Messen der Foliengeschwindigkeit. Unterschiedliche Walzendurchmesser erfordern unterschiedliche Geberräder. Daraus resultieren unterschiedliche Signale, die eine Anpassung von Parametern der Messsoftware erfordern. Die Geschwindigkeit direkt an der Folie zu messen, entkoppelt die variante Funktion *Folie leiten* vom Messen der Foliengeschwindigkeit. Dadurch entfällt jegliche Vielfalt dieses Informationsumsatzes.

Basierend auf den Ergebnissen der vorgestellten Schritte der Lösungssuche entstehen Konzepte, die eine variantengerechte Gestaltung der Komponenten, Wirkprinzipien und Funktionsstrukturen aufweisen. Dadurch ist eine signifikante Reduzierung der

internen Vielfalt zu erwarten. Die externe Vielfalt bleibt vollständig erhalten, da weder die Unterscheidungsmerkmale noch ihre Ausprägungen verändert werden.

Erscheinen die bestehenden Ausprägungen der Unterscheidungsmerkmale im entstandenen variantengerechten System weiterhin sinnvoll, ist die Lösungssuche auf dieser Abstraktionsebene abgeschlossen. Dies ist häufig nicht der Fall, wenn ein Unterscheidungsmerkmal einen Größen- oder Leistungsbereich beschreibt und die bestehenden Größenstufen durch einzelne Kundenanfragen entstanden sind. Übertragen auf eine konfigurierbare Produktfamilie wirken solche Ausprägungen oft willkürlich gewählt. Im Folgenden werden deshalb geeignete Methoden zur Definition von Größenstufen vorgestellt.

5.4.4 Lösungssuche auf Ebene der Unterscheidungsmerkmale

Da die externe Vielfalt in der variantengerechten Produktgestaltung beibehalten werden soll, sind die Unterscheidungsmerkmale und ihre Ausprägungen generell dem Merkmalsbaum der bestehenden Produktfamilie zu entnehmen.

In Einzelfällen sind die Ausprägungen eines Unterscheidungsmerkmals dennoch neu zu definieren. Dies ist der Fall, wenn die Ausprägungen eines Unterscheidungsmerkmals einen Größenbereich abdecken sollen und

- die bestehenden Ausprägungen den Kundenbedürfnissen nicht gerecht werden, oder
- die Ausprägungen bestehender Einzelprodukte sich nicht als Basis einer konfigurierbaren Produktfamilie eignen.

Ist dies gegeben, werden aus den bestehenden Ausprägungen die Ober- und Untergrenzen des Größenbereichs abgeleitet (siehe Bild 5-33). Innerhalb dieses Bereichs werden die Ausprägungen neu definiert.

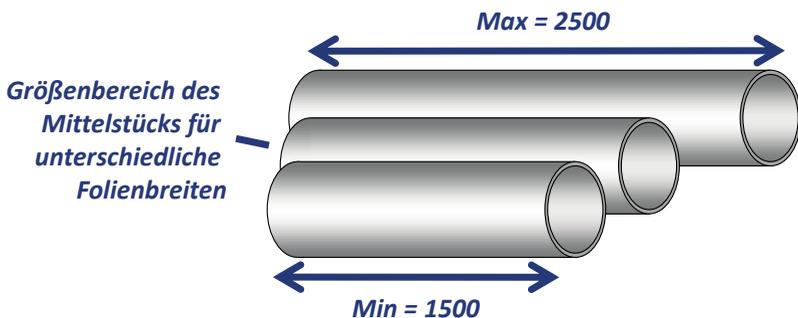


Bild 5-33: Unterscheidungsmerkmal, das einen Größenbereich abdeckt

Im Beispiel der Walzenbaugruppe (siehe Bild 5-33) entstammen die bestehenden Ausprägungen den Lastenheften einzelner Kundenaufträge. In einem konfigurierbaren Produkt kann jede Walzenbreite einen Bereich von 300 mm abdecken. Die kleinste bestehende Walze ist für eine Folienbreite von 1200 – 1500 mm, die mittlere für 1450 – 1750 mm und die größte für 2200 – 2500 mm geeignet. Werden diese Ausprägungen übernommen, können Kunden das Angebot aufgrund der Lücken und Überschneidungen nicht nachvollziehen. Während der Konfiguration erscheinen diese Ausprägungen willkürlich gewählt.

Hier ist eine Definition neuer Ausprägungen der *Folienbreite* erforderlich. Dies ist mithilfe unterschiedlicher Vorgehensweisen möglich. Die Wahl der Vorgehensweise hängt von der Anzahl der Unterscheidungsmerkmale ab, die auf die betrachteten Komponenten wirken, sowie von der bestehenden Datenbasis zu den Marktbedürfnissen hinsichtlich dieser Unterscheidungsmerkmale. Die folgende Tabelle unterstützt die Auswahl der geeigneten Vorgehensweise.

Tabelle 6: Auswahl eines Vorgehens zur Definition neuer Ausprägungen eines Unterscheidungsmerkmals

Nr.	Beschreibung	Anzahl der Unterscheidungsmerkmale	Kenntnis der Marktbedürfnisse	Qualität der erzielbaren Ergebnisse
1	Bestimmen neuer Ausprägungen basierend auf geometrischen Normzahlreihen	keine Einschränkung	keine Einschränkung	+
2	Manuelles Ableiten der Ausprägungen aus den Marktbedürfnissen	= 1	gute Kenntnis erforderlich	++
3	Definieren der neuen Ausprägungen mithilfe einer numerischen Optimierung	≥ 2	Umfangreiche Datenbasis erforderlich	++

Die ersten beiden Vorgehensweisen werden in der Praxis genutzt, um Größenstufen von Baureihen zu definieren, und werden hier adaptiert. Die dritte Vorgehensweise ist speziell für die variantengerechte Produktgestaltung entwickelt. Nachfolgend werden diese drei Vorgehensweisen einzeln vorgestellt.

Bestimmen neuer Ausprägungen basierend auf geometrischen Normzahlreihen

Die Anwendung geometrischer Normzahlreihen in der variantengerechten Produktgestaltung entspricht nicht der Entwicklung einer Baureihe. Die Größenstufen einer Baureihe werden zur Skalierung aller Größen eines Produktes genutzt. Dadurch ergibt sich eine prinzipielle Ähnlichkeit der Produktvarianten, gemeinsame Komponenten treten zumeist nicht auf.

Dagegen werden in diesem Schritt der variantengerechten Gestaltung die Ausprägungen eines Unterscheidungsmerkmals definiert. Diese Ausprägungen sind, wie auf den vorhergehenden Ebenen beschrieben, im Produkt abzubilden.

Geometrische Reihen weisen am Anfang kleine und später größere absolute Sprünge auf. Diese Eigenschaft kommt dem menschlichen Empfinden besser entgegen, als der im Absolutwert konstante additive Zuwachs einer arithmetischen Reihe [Ehr07]. Somit sind sie gut geeignet, um neue Ausprägungen innerhalb eines gegebenen Größenbereichs zu definieren.

Der konstante prozentuale Zuwachs wird als Stufensprung bezeichnet. Dieser wird mithilfe folgender Formel berechnet, wenn der Bereich B mit z unterschiedlichen Größen abgedeckt werden soll [Pah07]:

$$\varphi = \sqrt[z]{B} \text{ mit } B = \frac{\text{Größte Ausprägung}}{\text{Kleinste Ausprägung}} \text{ und } z = \text{Anzahl der Größen} \quad (3)$$

Hinsichtlich der Anzahl z der Ausprägungen ist ein sinnvoller Kompromiss zwischen dem Wunsch nach großen Stückzahlen (wenige Größen) auf der einen, und der exakten Erfüllung der Kundenwünsche (viele Größen) auf der anderen Seite zu suchen.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe errechnet sich für den Bereich der Folienbreite von 1500 bis 2500 mm bei vier Ausprägungen ein Stufensprung von 1,136. Daraus resultieren die Ausprägungen 1500 - 1704 mm, 1704 - 1936 mm, 1936 - 2200 mm und 2200 - 2500 mm. Sind die Kundenbedürfnisse nicht genauer bekannt, kann durch Glätten dieser Werte ein sinnvolles Angebot abgeleitet werden, wie z.B. 1500 – 1700 mm, 1700 – 1950 mm, 1950 – 2200 mm und 2200 – 2500 mm.

Sind die Kundenbedürfnisse konkret bekannt und wird nur ein Unterscheidungsmerkmal betrachtet, sind mit der folgend beschriebenen Vorgehensweise bessere Ergebnisse zu erzielen.

Manuelles Ableiten der Ausprägungen aus den Marktbedürfnissen

Ausprägungen frei auf Basis der Kundenbedürfnisse zu bestimmen, kann verglichen mit der Verwendung geometrischer Reihen unerwünschte Überdimensionierung reduzieren. Voraussetzung ist, dass die Marktbedürfnisse konkret bekannt sind und die Ausprägungen eines einzelnen Unterscheidungsmerkmals betrachtet werden (siehe Bild 5-34) [Kip09].

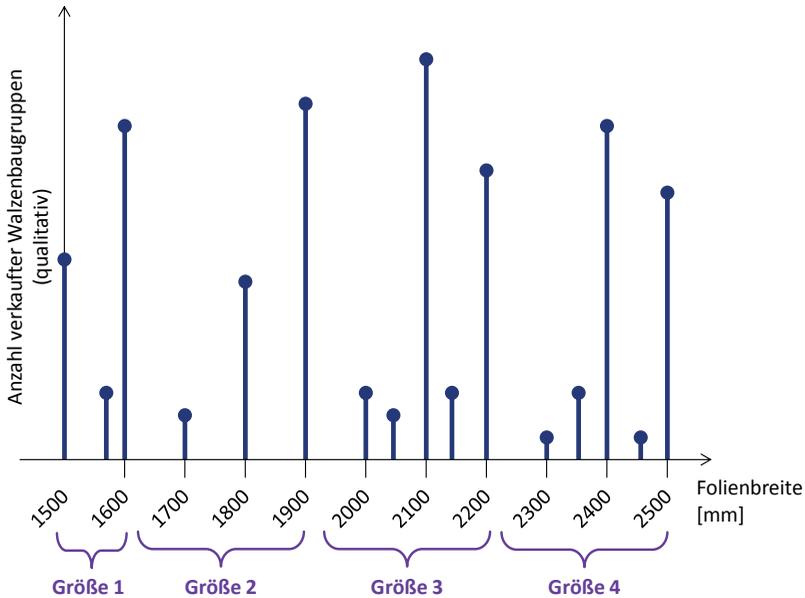


Bild 5-34: Manuell aus den Marktbedürfnissen abgeleitete Ausprägungen

Ausprägungen werden manuell bestimmt, indem Anhäufungen ähnlicher Kundenanfragen oder Muster innerhalb der Kundenanfragen gesucht werden. Jede Anhäufung oder jedes Element des Musters kann zur Definition einer Ausprägung des Unterscheidungsmerkmals genutzt werden.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe ist ein solches Muster bekannt. Die beiden Hauptkunden der Walzenbaugruppe bieten ihre Druckmaschinen in Breitensprüngen von 300 mm an. Die Größen beider Raster liegen jeweils 100 mm auseinander (siehe Bild 5-34). Orientiert am größeren Raster (1600, 1900, 2200 und 2500 mm) werden für das Unterscheidungsmerkmal Folienbreite manuell die Ausprägungen 1500 – 1600 mm, 1600 – 1900 mm, 1900 – 2200 mm und 2200 – 2500 mm bestimmt. Verglichen mit dem Ergebnis der Normzahlreihen, reduziert die Definition der Größen 1 und 2 die durchschnittliche Überdimensionierung erheblich. Demnach sind die manuell definierten Ausprägungen ein besserer Kompromiss zwischen geringer Vielfalt und der exakten Erfüllung der Kundenwünsche.

Bestimmen mehrere Unterscheidungsmerkmale im Zusammenwirken die Vielfalt einer Komponente, sind die optimalen Ausprägungen kaum noch manuell zu definieren. Wenn die Kundenbedürfnisse hinreichend bekannt sind, ist ein bestmögliches Ergebnis mithilfe der folgend beschriebenen numerischen Optimierung zu erzielen.

Bestimmen eines Satzes von Ausprägungen mithilfe einer numerischen Optimierung

In realen Produktfamilien können einzelne Komponenten auch nach der variantengerechten Gestaltung einen Bezug zu mehreren Unterscheidungsmerkmalen aufweisen. Liegt eine geeignete Datenbasis vor, z.B. von einer statistisch signifikanten Anzahl von Kundenanfragen, können die Ausprägungen dieser Unterscheidungsmerkmale mithilfe eines hierfür entwickelten Vorgehens zur numerischen Optimierung festgelegt werden. Dieses Vorgehen greift auf bestehende Optimierungsalgorithmen zurück. Es schafft die Möglichkeit einer großen Anzahl von Kundenanfragen mit wenigen Komponentenvarianten und geringer Überdimensionierung gerecht zu werden [Kip09].

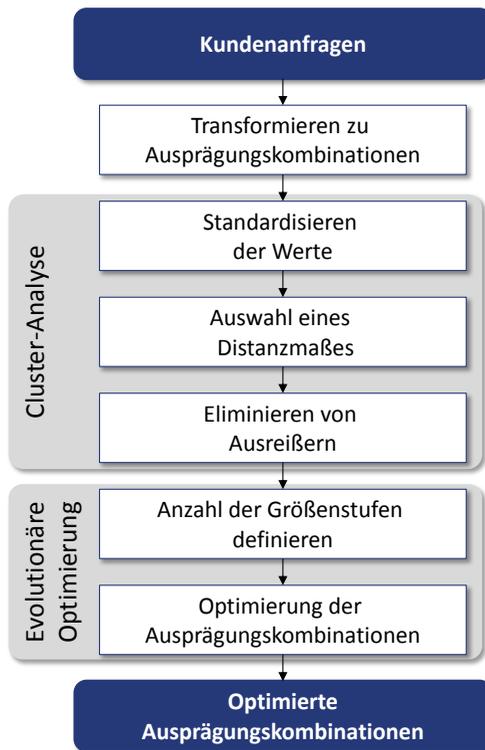


Bild 5-35: Vorgehen zur Festlegung von Größenstufen mittels numerischer Optimierung

Wie in Bild 5-35 gezeigt wird, ist es vor der Optimierung erforderlich, die vorhandenen Daten um Ausreißer zu bereinigen. Dazu wird eine Clusteranalyse unter Verwendung des Single-Linkage-Verfahrens genutzt. Dieses Verfahren bildet eine große Gruppe von ähnlichen Ausprägungskombinationen, der schrittweise zunehmend unähnlichere

Ausprägungskombinationen hinzugefügt werden. Dadurch können die Ausreißer identifiziert werden und der Datensatz kann bereinigt werden.

Auf Basis des bereinigten Datensatzes wird die numerische Optimierung durchgeführt. Diese minimiert für n Größenstufen die kumulierte Überdimensionierung Y_{ges} bezogen auf die Gesamtheit R der Kundenanfragen. Dazu wird die Überdimensionierung für eine Kundenanfrage r_0 als Differenz der nächstgelegenen größeren Ausprägung x_i und des Sollwerts r der Kundenanfrage errechnet.

$$Y_0(x_1, x_2, \dots, x_n) = \min_i (x_i - r_j \geq 0) \quad (4)$$

Die zu minimierende kumulierte Überdimensionierung Y_{ges} ist demnach wie folgt zu ermitteln:

$$Y_{ges}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^m Y_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5)$$

Aufgrund dieser nichtlinearen und unstetigen Zielfunktion wird die Optimierungsrechnung mithilfe evolutionärer Algorithmen durchgeführt.

Der Vergleich numerisch optimierter und manuell definierter Ausprägungen von Unterscheidungsmerkmalen zeigt, dass bei zunehmender Anzahl der Unterscheidungsmerkmale die numerische Optimierung die durchschnittliche Überdimensionierung signifikant reduzieren kann [Kip09].

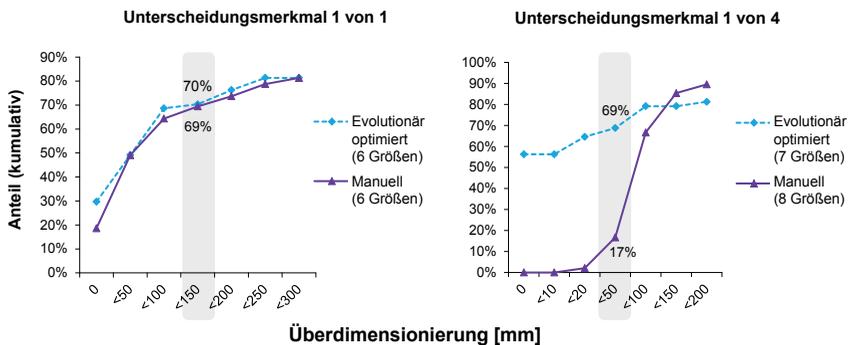


Bild 5-36: Vergleich der Überdimensionierung manuell und numerisch optimierter Ausprägungen [Kip09]

In Bild 5-36 ist ein Vergleich der durchschnittlichen Überdimensionierung bei manuell und numerisch definierten Größenstufen für ein und vier Unterscheidungsmerkmale dargestellt. Das linke Bild greift hierbei das Beispiel der Walzenbaugruppe auf, das rechte Bild nutzt eine Dimension einer Windentrommel als Beispiel. Bei der

Windentrommel sind jeweils die Breiten des Arbeits- und Speicherteils sowie die Höhen der jeweiligen Seitenscheiben variant.

In Bild 5-36 wird deutlich, dass eine numerische Optimierung bei einem einzelnen Unterscheidungsmerkmal kein signifikantes Verbesserungspotenzial erschließt. Mit einer akzeptablen Überdimensionierung von 150 mm werden 70% statt 69% der Kundenaufträge abgedeckt.

Bei mehreren Unterscheidungsmerkmalen sind jedoch wesentliche Verbesserungen möglich. So decken im rechten Beispiel sieben unterschiedliche Ausprägungen 69% der Kundenaufträge mit einer Überdimensionierung von weniger als 50 mm ab. Acht manuell definierte Ausprägungen bedienen mit gleicher Überdimensionierung nur 17% der Kundenaufträge. Die numerisch optimierten Ausprägungen schaffen bei mehreren Unterscheidungsmerkmalen einen wesentlich besseren Kompromiss zwischen einer geringen Vielfalt und der exakten Erfüllung der Kundenwünsche.

Nachdem auf allen Ebenen der Produktentwicklung eine Lösungssuche durchgeführt wurde, werden aus den entstandenen Ideen variantengerechte Konzepte abgeleitet. Diese sind, wie nachfolgend beschrieben, zu visualisieren und zu bewerten.

5.4.5 Zusammenfassende Darstellung der Lösungskonzepte im VAM

Die alternativen variantengerechten Konzepte, die aus den Ideen der Lösungssuche entstanden sind, werden zum Abschluss der Lösungssuche im VAM dargestellt. Dadurch wird der Erfolg der variantengerechten Gestaltung sichtbar. Auch im Vergleich der VAM des Ausgangszustands der Walzenbaugruppe und der beiden entstandenen variantengerechten Konzepte in Bild 5-37 wird der Erfolg der variantengerechten Gestaltung deutlich.

Sind in den VAM der Lösungskonzepte weitere Verbesserungspotenziale zu erkennen, kann die Variantengerechtigkeit in einer iterativen Lösungssuche weiter verbessert werden. Zusätzlich wird der visuelle Vergleich der Variantengerechtigkeit alternativer Konzepte unterstützt und die objektive Bewertung der Variantengerechtigkeit vorbereitet.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe ist das erste Konzept (Bild 5-37 links unten) mit geringem Aufwand als Änderungskonstruktion zu realisieren, da es nur auf einer Umgestaltung einzelner Komponenten basiert. So ist die ursprünglich integrale *Walze* in Differenzialbauweise aus standardisierten *Endstücken*, einem varianten *Mittelstück* und einem optionalen *Transportrad* aufgebaut. Der *Sensor* und die Gebergeometrie, ursprünglich Bestandteile der *Walze*, sind zu einer *Mess-Einheit* zusammengefasst. Dadurch weisen die Unterscheidungsmerkmale *Materialeinzug* (blau) und *Drehzahlmessung* (hellgrün) eine ideale *Eins-zu-eins-Zuordnung* auf. Mit den varianten

Unterscheidungsmerkmal entkoppelt. Die *Folienbreite* wird allein durch das *Mittelstück* der Walze abgebildet, die wiederum in Differenzialbauweise aufgebaut ist. Dadurch wird das Konzept allen Kriterien des Idealbilds variantengerechter Produktfamilien vollständig gerecht.

Im Folgenden wird beschrieben, wie ein variantengerechtes Konzept methodisch ausgewählt wird.

5.5 Variantenorientierte Bewertung der Lösungsalternativen

Eine Bewertung soll den Wert einer Lösung in Bezug auf die vorher aufgestellte Zielsetzung ermitteln. Die Bewertung darf nicht punktuell einzelne Teilaspekte zu Grunde legen, sondern muss entsprechend der generellen Zielsetzung alle Einflüsse im richtigen Verhältnis berücksichtigen [Pah07]. Deshalb ist eine eigenständige Bewertung der Variantengerechtigkeit nicht zielführend. Stattdessen wird vorgestellt, wie der Aspekt der Variantengerechtigkeit in eine umfassende methodische Bewertung integriert werden kann. Dabei werden Objektiv- und Subjektivschritt der Bewertung betrachtet. Hinsichtlich des Objektivschritts wird aufgezeigt, wie den Kriterien der Variantengerechtigkeit objektive Eigenschaftsgrößen zugeordnet werden. Im Subjektivschritt wird eine Entscheidung mithilfe einer Bewertungsmethode herbeigeführt. Der Aspekt der Variantengerechtigkeit wird hierbei integriert.

5.5.1 Bewertung der Variantengerechtigkeit im Objektivschritt

Im Objektivschritt einer methodischen Bewertung werden den Bewertungskriterien der Konzepte Eigenschaftsgrößen zugeordnet. Sofern möglich sind dies zahlenmäßige Kennwerte [Pah07]. Die hierzu notwendige genaue Untersuchung von Produkteigenschaften erhöht das Systemverständnis und hilft Schwachstellen aufzudecken. Damit wird eine ausreichende Entscheidungsgrundlage geschaffen [Lin07].

Um den Aspekt der Variantengerechtigkeit in die Bewertung mit einzubeziehen, sind vor der Entscheidungsfindung quantitative Eigenschaftsgrößen für die Kriterien des Idealbilds variantengerechter Produktfamilien zu ermitteln. Hierzu bietet sich die nachfolgend beschriebene Analyse der VAM der alternativen Konzepte an.

Ermittlung von Eigenschaftsgrößen für die Kriterien Differenzierung und Reduzierung

Produktfamilien werden dem Kriterium der *Differenzierung* angenähert, indem die technische Vielfalt eliminiert wird und variante Komponenten mit hohen und mittleren anteiligen Kosten umgestaltet werden. Das Eliminieren technischer Vielfalt verringert die Anzahl der varianten Komponenten. Durch Umgestalten ungünstiger varianter Komponenten wird Wertschöpfung aus dem Varianten- in den Standardanteil der

Produktfamilie verlagert. Das senkt die Anzahl varianter Komponenten mit hohen und mittleren anteiligen Kosten.

Eine Annäherung an das Kriterium der *Reduzierung* der Variantenkomponenten zum Träger eines Unterscheidungsmerkmals hat zur Folge, dass Standardanteile der varianter Komponenten abgetrennt werden. Dies verringert ebenfalls die Anzahl varianter Komponenten mit hohen und mittleren anteiligen Kosten.

Aufgrund des gleichartigen Effekts wird das Ermitteln von Eigenschaftsgrößen für beide Kriterien zusammengefasst. Dazu werden folgende quantitative Eigenschaftsgrößen definiert, die anhand der VAM der Konzepte leicht zu ermitteln sind:

- Anzahl der varianter Komponenten mit hohen anteiligen Kosten
 $N_{Var A}$
- Anzahl der varianter Komponenten mit mittleren anteiligen Kosten
 $N_{Var B}$
- Anzahl aller varianter Komponenten
 $N_{Var Ges}$

Die Relevanz der Kenngrößen nimmt von oben nach unten ab, da Komponenten mit mittleren anteiligen Kosten beiden Kriterien weniger widersprechen. Die Anzahl aller varianter Komponenten $N_{Var Ges}$ dient der Kontrolle, dass variante Komponenten mit hohen anteiligen Kosten nicht durch eine Vielzahl kostengünstiger varianter Komponenten ersetzt werden.

Ermittlung von Eigenschaftsgrößen für das Kriterium Eins-zu-eins-Zuordnung

Wird das Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* zwischen Unterscheidungsmerkmalen und Variantenkomponenten ideal erfüllt, verursacht jedes Unterscheidungsmerkmal die Vielfalt genau einer Komponente (siehe Bild 5-38/ linkes VAM). Zugleich ist die Vielfalt jeder Komponente auf genau ein Unterscheidungsmerkmal zurückzuführen.

In realen Produktfamilien verursachen viele Unterscheidungsmerkmale die Vielfalt mehrerer Komponenten (siehe Bild 5-38/ rechtes VAM/ linker Teil). Gleichzeitig wird die Vielfalt vieler Komponenten durch mehrere Unterscheidungsmerkmale verursacht (rechtes VAM/ rechte Teil). Daraus lassen sich die folgenden zwei Kenngrößen für das Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* ableiten:

- Durchschnittliche Anzahl K_{Unt} der zusätzlichen Komponenten, die aufgrund eines Unterscheidungsmerkmals variant sind.
- Durchschnittliche Anzahl K_{Komp} der zusätzlichen Unterscheidungsmerkmale, die die Vielfalt einer Komponente verursachen.

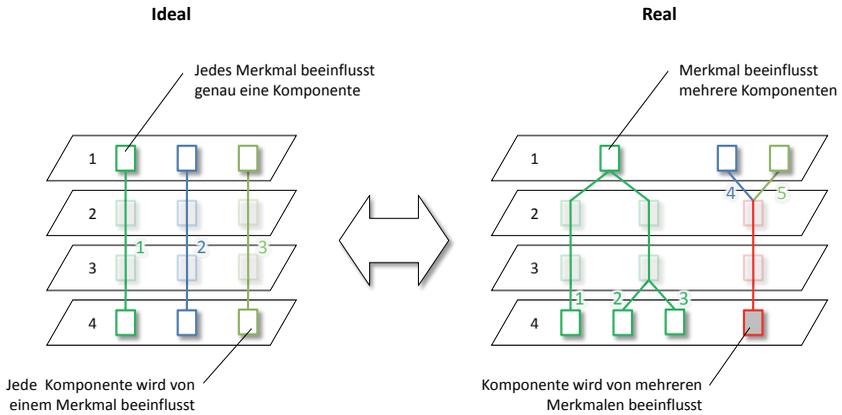


Bild 5-38: Vergleich idealer und realer Merkmal-Komponente-Zuordnungen

Beide Kenngrößen weisen bei idealer Eins-zu-eins-Zuordnung den Wert Null auf. Sie werden wie folgt errechnet:

$$K_{Unt} = \frac{\text{Anzahl der Zuordnungen}}{\text{Anzahl der Unterscheidungsmerkmale}} - 1 = \frac{N_{Zuordnungen}}{N_{Unt}} - 1 \quad (6)$$

$$K_{Komp} = \frac{\text{Anzahl der Zuordnungen}}{\text{Anzahl der varianten Komponenten}} - 1 = \frac{N_{Zuordnungen}}{N_{VarGes}} - 1 \quad (7)$$

Im obigen Bild ergibt sich daraus für das linke VAM jeweils der Wert Null. Im rechten Bild ergeben sich folgende Werte:

$$K_{Unt} = \frac{5}{3} - 1 = 0,67 \quad (6)$$

$$K_{Komp} = \frac{5}{4} - 1 = 0,25 \quad (7)$$

Demnach tritt insbesondere eine Mehrfachzuordnung von Unterscheidungsmerkmalen zu Komponenten auf.

Ermittlung von Eigenschaftsgrößen für das Kriterium Entkopplung

Das Annähern an das Kriterium der vollständigen *Entkopplung* der varianten Komponenten verringert die Anzahl varianten Komponenten mit starken und mittleren Kopplungen. Beide Zahlen können anhand der Komponentenebene des VAM ermittelt werden. Daraus werden folgende Kenngrößen abgeleitet, die in einer ideal

variantengerechten Produktfamilie beide den Wert Null aufweisen. Die Relevanz der Kenngrößen nimmt wiederum von oben nach unten ab:

- Anzahl der varianten Komponenten mit starken Kopplungen

$$N_{Kop A}$$

- Anzahl der varianten Komponenten mit mittleren Kopplungen

$$N_{Kop B}$$

Bewertungstabelle zur Dokumentation des Objektivschritts

Die folgende Bewertungstabelle wird einerseits zur Dokumentation der Kenngrößen der Variantengerechtigkeit genutzt. Andererseits kann sie entwicklungsbegleitend als Checkliste für die Kriterien der Variantengerechtigkeit eingesetzt werden. So unterstützt sie die Identifikation von Verbesserungenpotenzialen in bestehenden Lösungskonzepten.

Tabelle 7: Bewertungstabelle für die alternativen Konzepte der Walzenbaugruppe

	Bestehende Produktfamilie	1. Konzept		2. Konzept		
		Absolut	Relativ	Absolut	Relativ	
Differenzierung und Reduzierung						
Anzahl der varianten Komponenten mit hohen anteiligen Kosten	$N_{Var A}$	1	0	-100%	0	-100%
Anzahl der varianten Komponenten mit mittleren anteiligen Kosten	$N_{Var B}$	1	1	0%	0	-100%
Anzahl aller varianten Komponenten	$N_{Var Ges}$	3	4	+33%	3	0%
Eins-zu-eins-Zuordnung						
Durchschnittliche Anzahl der zusätzlichen Komponenten, die aufgrund eines Unterscheidungsmerkmals variant sind.	K_{Unt}	0,67	0,33	-50%	0	-100%
Durchschnittliche Anzahl der zusätzlichen Unterscheidungsmerkmale, die die Varianz einer Komponente verursachen	K_{Komp}	0,67	0	-100%	0	-100%
Entkopplung						
Anzahl der varianten Komponenten mit starken Kopplungen	$N_{Kop A}$	0	0	0%	0	0%
Anzahl der varianten Komponenten mit mittleren Kopplungen	$N_{Kop B}$	2	1	-50%	0	-100%

In der obigen Bewertungstabelle werden die beiden Konzepte der Walzenbaugruppe verglichen (siehe Tabelle 7). Hier ist zu erkennen, dass beide Konzepte eine Verbesserung der Variantengerechtigkeit herbeiführen. Das zweite Konzept weist in den relevanten Punkten den idealen Wert Null auf und ist damit ideal variantengerecht. Das erste Konzept weist demgegenüber hinsichtlich aller Kriterien des Idealbilds geringere

Verbesserungen auf. So ist weiterhin eine variante Komponente mit mittleren anteiligen Kosten vorhanden, eine *Eins-zu-Eins-Zuordnung* ist nicht vollständig erreicht und eine Komponente mit mittleren Kopplungen konnte nicht vermieden werden. Zusätzlich steigt die Gesamtzahl der varianten Komponenten gegenüber der Ausgangssituation leicht an.

5.5.2 Subjektivschritt zur vergleichenden Bewertung der Lösungsalternativen

Die Entscheidung, welche Lösungsalternative weiterverfolgt werden soll, wird im Subjektivschritt herbeigeführt. Zur Unterstützung dieses Schritts steht eine Vielzahl unterschiedlicher Bewertungsmethoden zur Verfügung. Im Falle, dass Entscheidungen mit einer gewissen Unschärfe erfolgen müssen oder können, bieten sich sehr einfache Methoden, wie zum Beispiel *Vergleiche*, an [Lin07]. Ist dies nicht der Fall, eignen sich insbesondere *Punktbewertungen*.

Da die Methode der variantengerechten Gestaltung auf die Überarbeitung bestehender Produktfamilien abzielt, kann in der Bewertung der Lösungsalternativen auf eine gute Kenntnislage zurückgegriffen werden. Aufgrund der Tragweite der Entscheidung, welches Lösungskonzept einer Produktfamilie weiterverfolgt wird, ist auf *gewichtete Punktbewertungen* oder *Nutzwertanalysen* zurückzugreifen. Dadurch wird eine unnötige Unschärfe der Bewertung vermieden.

Die Zielsetzungen der variantengerechten Gestaltung, die im ersten Schritt des Vorgehens definiert werden, können als Kriterien in eine solche Bewertung integriert werden. Ist eine direkte Bewertung der Konzepte hinsichtlich dieser Kriterien nicht möglich, bieten die im Objektivschritt ermittelten Eigenschaftsgrößen einen objektiven Richtwert zum Bestimmen der Variantengerechtigkeit.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe ist die Bereitstellungszeit der Produktvarianten das entscheidende Bewertungskriterium für den Erfolg der variantengerechten Gestaltung. Weitere allgemeine Bewertungskriterien sind die Qualität der Funktionserfüllung, die Gesamtkosten der Konzepte, der benötigte Entwicklungsaufwand und das Entwicklungsrisiko. Im Hinblick auf den Aspekt der Bereitstellungszeit weisen beide Konzepte eine deutliche Verbesserung auf. Wie der Objektivschritt erwarten lässt, ist das zweite Konzept hinsichtlich dieses Aspekts besser als das erste.

Bezüglich aller weiteren technischen und wirtschaftlichen Kriterien wird dagegen das erste Konzept besser bewertet. Als Änderungskonstruktion weist es insbesondere ein geringeres Entwicklungsrisiko auf. In der Summe aller Kriterien der technisch-wirtschaftlichen Bewertung übertrifft es das zweite Konzept deutlich und ist deshalb weiterzuverfolgen.

5.6 Ergebnis der variantengerechten Produktgestaltung

Ergebnis des gesamten Vorgehens ist ein variantengerechtes Konzept, das in einer technisch-wirtschaftlichen Bewertung verschiedenerer alternativer Konzepte ausgewählt wurde. Zusätzlich zu dem gewählten Konzept liegt eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungsansätze vor, auf die im Zuge der Detaillierung zurückgegriffen werden kann.

Im Beispiel der Walzenbaugruppe ist ein Konzept entstanden, das bezüglich des Ziels der variantengerechten Gestaltung - der Reduzierung der Lieferzeiten - eine deutliche Verbesserung bewirkt. Dies wird durch die Differenzialbauweise der Walze erreicht, mit deren Hilfe es möglich wird, alle Varianten der Walzenbaugruppe aus wenigen Komponenten zu konfigurieren. Diese Komponenten können entweder kostengünstig gelagert (*Seitenteile*, *Mess-Einheit* und *Transportrad*) oder aufgrund ihrer einfachen Geometrie schnell und einfach produziert werden (*Mittelstück* und *Bodenplatte*). Die langen Bereitstellungzeiten der auftragsspezifisch zu beschaffenden integralen Walze entfallen.

In Bild 5-39 ist dieses variantengerechte Konzept dargestellt. Die hellgrauen Endstücke der Walze und die Seitenteile inklusive der Lagerungen bilden den Standardanteil der Produktfamilie. Die anderen Komponenten, wie z.B. die *Mess-Einheit*, bilden jeweils das unterhalb dargestellte Unterscheidungsmerkmal vollständig ab.

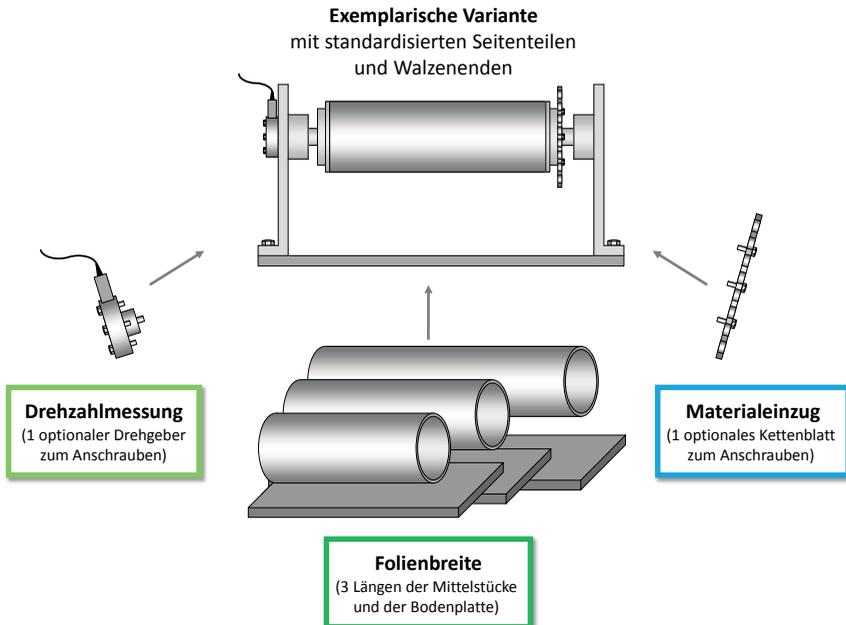


Bild 5-39: Gewähltes variantengerechtes Konzept der Walzenbaugruppe

Dieses Konzept erzielt eine erhebliche Verbesserung der Variantengerechtigkeit, obwohl Wirkprinzipien und Funktionsstruktur unverändert bleiben. Als reine Änderungskonstruktion ist es mit geringem Risiko einfach zu realisieren. Die Entstehung eines solchen Konzepts wird durch das Vorgehen zur Lösungssuche unterstützt, da Lösungsideen auf Ebene der Komponenten generiert werden, bevor die Wirkprinzipien und die Funktionsstruktur betrachtet werden.

Im folgenden Kapitel wird überprüft, ob in der industriellen Anwendung der Methode vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können, wie die im Erklärungsbeispiel beschrieben.

6 Validierung der Methode der variantengerechten Produktgestaltung

Das folgende Kapitel zeigt die Validierung der *Methode der variantengerechten Produktgestaltung*. Die Beschreibung ist in die Schritte Planung, Durchführung und Auswertung gegliedert.

6.1 Planung der Validierung

In der Validierung einer entwickelten Methode ist zu überprüfen, ob die Methode für ihre Aufgabe geeignet ist, und ob die beabsichtigte Auswirkung auf die Zielgrößen erreicht wird. Des Weiteren sind die Thesen zu überprüfen, auf denen die Entwicklung der Methode beruht [vgl. Bls09, Yin94]. Im ersten Schritt der Planung ist eine geeignete Forschungsmethode zu wählen, um diese Überprüfung zu ermöglichen. Anschließend sind die Aufgabe, die Zielgrößen und die grundlegenden Thesen der Methode zu bestimmen. Hieraus werden die Prüfungshypothesen abgeleitet und im letzten Schritt operationalisiert, um die Datenerhebung vorzubereiten. Die Ergebnisse dieser Schritte der Planung werden im Folgenden kurz beschrieben.

6.1.1 Auswahl der Forschungsmethode

Zur Validierung der Methode sind grundsätzlich drei alternative Forschungsmethoden geeignet: eine experimentelle Erprobung mithilfe von Testgruppen, eine Einzelfallstudie oder mehrfache Fallstudien. Die spezifischen Vor- und Nachteile dieser Forschungsmethoden hinsichtlich der Validierung der *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Die experimentelle Erprobung mithilfe von Testgruppen bietet die Möglichkeit die Ergebnisse der Studie statistisch oder durch Kontrollgruppen abzusichern. Aufgrund der zeitlichen Verfügbarkeit potenzieller Studienteilnehmer (Studierender) kann in der experimentellen Erprobung nur ein sehr einfacher Studienfall betrachtet werden. Eine solche Anwendung der Methode weist kaum Praxisbezug auf. Trotz des erheblichen

Aufwands sind die Ergebnisse einer experimentellen Erprobung deshalb nicht generalisierbar.

Tabelle 8: Bewertung der Validierungsmethoden

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

● erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt

Fallstudien erlauben eine Betrachtung der Anwendung der Methode im beabsichtigten Anwendungsfall, das heißt hier auf existierende Produktfamilien im industriellen Umfeld. Sofern diese Qualität des Studienfalls gegeben ist, sind die Ergebnisse der Fallstudie bedingt generalisierbar. Werden mehrere Studienfälle betrachtet, ist es zudem bedingt möglich, die Ergebnisse statistisch abzusichern. Aufgrund der beschränkten Verfügbarkeit geeigneter Studienfälle sind mehrfache Fallstudien in einem vertretbaren Zeitrahmen kaum umsetzbar. Für die Validierung der *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* bietet die Einzelfallstudie den besten Kompromiss zwischen Generalisierbarkeit und Realisierbarkeit.

Als Studienfall dient eine bestehende Produktfamilie von Herbizidsprühergeräten. Diese wird im Projekt „AUXESIA II - Entwicklung eines Universal-ULV-Düsenmoduls unter Betrachtung von Aspekten der Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit“ variantengerecht gestaltet und modularisiert [Eil11b]. Dieses Projekt wird im Rahmen des Programms ProINNO II vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BWMi) gefördert. Die *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* wird hierbei im Rahmen einer Workshop-Reihe gemeinsam mit dem Industriepartner, der *MANTIS ULV-Sprühergeräte GmbH*, angewendet. Durch die Anwendung der Methode auf eine

bestehende Produktfamilie im industriellen Umfeld sind die Ergebnisse der Fallstudie bedingt generalisierbar. Innerhalb des geförderten Forschungsprojekts ist zudem die Zugänglichkeit aller Daten und Dokumente sichergestellt.

6.1.2 Aufgabe, Erfolgsgrößen und grundlegende Thesen der Methode

In der Validierung sind die Eignung der Methode für ihre Aufgabe, die Wirkung auf die Zielgrößen und die grundlegenden Thesen zu überprüfen [vgl. Att00, Bls09]. Diese Elemente der Methode sind im Folgenden zusammengestellt.

Aufgabe der Methode

Die Methode der variantengerechten Produktgestaltung soll die Entwicklung von Produktfamilien mit minimierter interner Vielfalt unterstützen, ohne die externe Vielfalt zu beschränken.

Erfolgsgrößen resultierend aus der Aufgabenstellung

- *Interne Vielfalt - Ziel ist es, die interne Vielfalt der Produktfamilie zu minimieren. Eine signifikante Reduzierung kann somit als Erfolg gewertet werden.*
- *Externe Vielfalt - Ziel ist es, die externe Vielfalt der Produktfamilie nicht zu beschränken, eine Veränderung wird nicht angestrebt.*

Grundlegende Thesen der Methode

- *Eine Annäherung an die vier Kriterien des Idealbilds variantengerechter Produktfamilien (Differenzierung, Reduzierung, Eins-zu-eins-Zuordnung und Entkopplung) minimiert die interne Vielfalt, ohne dass eine Beschränkung der externen Vielfalt erforderlich ist.*
- *Alle Schritte der Gestaltung einer Produktfamilie, das heißt die Gestaltung der Funktionsstruktur, der Wirkprinzipien, der Komponenten und der Produktstruktur, können signifikant zur variantengerechten Gestaltung beitragen.*

6.1.3 Prüfungshypothesen

Um die vorhergehend beschriebenen Elemente der Methode im Studienfall zu überprüfen, werden die folgenden Prüfungshypothesen definiert.

- *Das gewählte Konzept der MANKAR-Roll-Familie ist ausschließlich durch eine sinngemäße und durchgängige Anwendung der Methode der variantengerechten Produktgestaltung entstanden.*

- *Das gewählte Konzept der MANKAR-Roll-Familie minimiert die interne Vielfalt, ohne dass die externe Vielfalt beschränkt wird.*
- *Verglichen mit dem Ausgangszustand ist das gewählte Konzept der MANKAR-Roll-Familie dem postulierten Idealbild variantengerechter Produktfamilien signifikant angenähert.*
- *Die Methode unterstützt die variantengerechte Produktgestaltung in allen Schritten des Entwicklungsprozesses.*

Die erste Prüfungshypothese ist hier ergänzt, da eine Bewertung nur möglich ist, wenn das resultierende Konzept ausschließlich durch sinngemäßes und durchgängiges Anwenden der Methode entstanden ist.

6.1.4 Operationalisieren der Prüfungshypothesen

In diesem Schritt werden innerhalb der Prüfungshypothesen die Begriffe und Relationen identifiziert, deren Ausprägungen im untersuchten Fall zu ermitteln sind, um eine Aussage über die Gültigkeit der Hypothese zu treffen. Diese Begriffe und Relationen werden anschließend definiert und in beobachtbare oder messbare Größen, sogenannte Indikatoren überführt [vgl. Sch99].

Beispielsweise beinhaltet die erste Prüfungshypothese die Begriffe *Konzept der MANKAR-Roll-Familie* und *Methode der variantengerechten Produktgestaltung*. Zwischen den Begriffen besteht die Relation *ausschließliche, sinngemäße und durchgängige Anwendung*.

Der Begriff *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* wird durch die beschriebenen Schritte, Visualisierungen und Aktivitäten definiert (siehe Kapitel 5.1 - Kapitel 5.5). Indikatoren für eine *durchgängige Anwendung* sind die Ergebnisse der Schritte, die entstandenen Dokumente und die beobachteten Aktivitäten. Die Aussage der *durchgängigen Anwendung* wird deshalb als gültig angesehen, wenn während der Fallstudie alle Schritte und wesentliche Aktivitäten der Methode beobachtet werden können und nach der Fallstudie alle zu erstellenden Dokumente vorliegen.

Die Indikatoren der weiteren Prüfungshypothese wurden entsprechend der vorgestellten Operationalisierung ermittelt. In der folgend beschriebenen Durchführung der Fallstudie werden die Indikatoren gemessen oder beobachtet.

6.2 Durchführung der Fallstudie

6.2.1 Vorstellung des Studienfalls

Der Hersteller der betrachteten Produktfamilie, die *MANTIS ULV-Sprühgeräte GmbH*, ist ein mittelständisches Unternehmen. Seine Kernprodukte sind *Ultra-Low-Volume-(ULV-) Herbizidsprühgeräte*, die im Garten- und Landschaftsbau, beim Anbau von Obst und Wein, in Baumschulen oder im kommunalen Bereich zur Pflege von Wegen und Plätzen eingesetzt werden. Diese Geräte bringen Herbizid unverdünnt in sehr geringen Mengen aus. Im Vergleich zu Geräten, die Herbizid mit Wasser verdünnt versprühen, werden pro Hektar bis zu 80% des benötigten Herbizids eingespart. Dies ermöglicht eine patentierte Segment-Rotationsdüse, die elementarer Bestandteil aller Geräte ist [Man09a].

Mantis bietet drei Produktfamilien der *Herbizidsprühgeräte* an: Die *MANKAR-Carry* Handgeräte, die *MANKAR-Roll* Schubkarrengeräte und die *MANKAR-Drive* Anbaugeräte. Als Studienfall dient die variantengerechte Produktgestaltung der Schubkarrengeräte (siehe Bild 6-1). Diese Produktfamilie zeichnet sich durch die größte Variantenvielfalt aus und weist hinter den Handgeräten die zweithöchsten Stückzahlen auf.



Bild 6-1: Überblick über die MANKAR-Roll-Familie der Mantis ULV-Sprühgeräte GmbH

Die MANKAR-Roll-Familie umfasst zwölf beworbene Geräte und 20 weitere Varianten, die auf Anfrage produziert werden. Die Geräte unterscheiden sich beispielsweise in der Ausführung des Sprühschirms, in der Größe des Rads oder in der Form des Rahmens. Nachfolgend wird der Aufbau der MANKAR-Roll-Geräte am Beispiel des *MANKAR P50* vorgestellt (siehe Bild 6-2). Dabei werden für die Komponenten die Originalbezeichnungen der Firma Mantis genutzt.

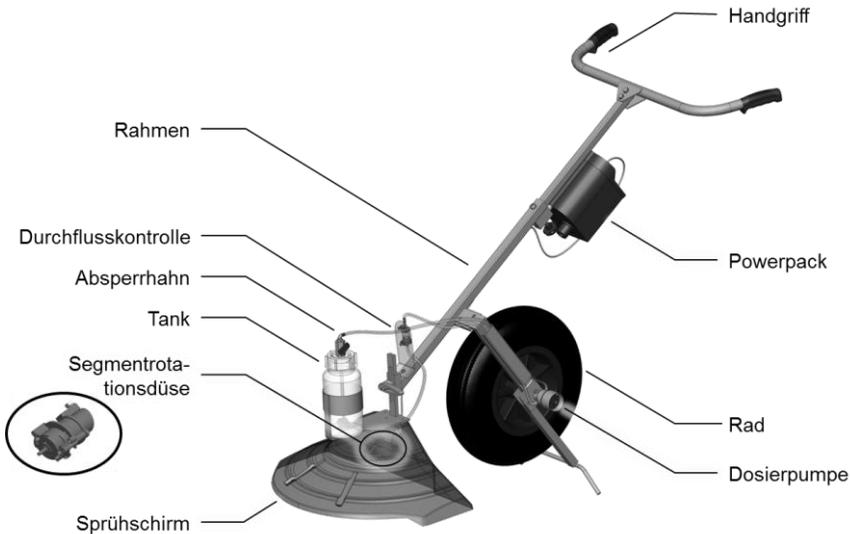


Bild 6-2: Aufbau des bestehenden MANKAR-Roll P-50

Jedes MANKAR-Roll-Gerät weist einen zentralen *Rahmen* auf. An ihm sind *Rad*, *Handgriffe* und alle weiteren Komponenten befestigt, die zur Herbizidausbringung erforderlich sind.

Das Herbizid wird in einem *Tank* gespeichert (in Bild 6-2 links unten). Bei geöffnetem *Absperrhahn* kann die *Dosierpumpe* das Herbizid durch einen Filter ansaugen. Die *Dosierpumpe* wird direkt vom *Rad* angetrieben, wodurch das Herbizid wegabhängig dosiert wird. Die dosierte Menge fließt durch die *Durchflusskontrolle* zur *Segmentrotationsdüse*. Die Option, das Sprühen per Tastendruck am *Handgriff* an- und abschalten zu können, wird durch ein zusätzliches 3/2-Wege-Magnetventil in dieser Leitung realisiert. Dieses Ventil leitet das Herbizid dann entweder zur Segmentrotationsdüse oder zurück in den Tank.

In der patentierten *Segmentrotationsdüse* wird das Herbizid in einen Zerstäuberbecher eingeleitet, der es über seinen gesamten Umfang zerstäubt. Nur der Teil des resultierenden Herbizidsprays, der sich innerhalb eines definierten Sprühsektors befindet, verlässt die Segmentrotationsdüse und fällt fein verteilt auf den Bewuchs. Bei Wind verhindert der umgebende Sprühschirm ein Abtreiben des Herbizidsprays.

Das Herbizidspray außerhalb des Sprühsektors wird von einer verstellbaren Blende aufgefangen und von dort ins Becherinnere zurückgeführt. Die Außenseite des Bechers wird dabei als Zirkulationspumpe genutzt.

Neben dem Herbizidumsatz weisen die Sprühgeräte der MANKAR-Roll-Familie einen Energieumsatz auf. Die elektrische Energie wird im *Powerpack* gespeichert, der Akku, Ein-/Ausschalter, Ladebuchse und Sicherung zusammenfasst. Sobald der Ein-/Ausschalter am *Powerpack* betätigt wird, fließt elektrische Energie aus dem Akku zur Segmentrotationsdüse. Dort treibt sie einen Elektromotor an, der den Zerstäuberbecher in Rotation versetzt. Wird das optionale An- und Abschalten am Handgriff gewünscht, wird der Schalter aus dem *Powerpack* an den Handgriff verlegt und als Taster ausgeführt. Durch das zusätzliche Magnetventil fließt nur dann Herbizid zur Segment-Rotationsdüse, wenn der Taster betätigt wird und damit auch Energie zur Verfügung steht.

Nachfolgend wird die variantengerechte Produktgestaltung der MANKAR-Roll-Familie beschrieben. Die Gliederung orientiert sich dabei an den Schritten der Methode.

6.2.2 Definition der Ziele der variantengerechten Produktgestaltung

Wie in Kapitel 5.1 beschrieben, wird zu Beginn der variantengerechten Produktgestaltung die Zielsetzung festgelegt. Bild 6-3 (folgende Seite) zeigt das resultierende Zielsystem des gesamten Projekts AUXESIA, das sowohl die variantengerechte Produktgestaltung als auch eine Modularisierung, vorsieht.

Daraus resultiert auch die Vielfalt und Bandbreite des Zielsystems, die durch die Kategorien *Produktion*, *Kosten* und *Sicht des Kunden* wiedergespiegelt wird. Ein Vergleich mit Tabelle 4 auf Seite 76 zeigt, dass alle drei Kategorien Ziele der variantengerechten Produktgestaltung enthalten. So soll *Wiederverwendung* die Produktion vereinfachen, *Skaleneffekte* sollen die Kostensituation verbessern und Kunden wünschen *Schnelligkeit in der Beratung* inklusive *Konfiguration*.

Die Ziele des Projekts sind nicht quantifiziert, da das Forschungsprojekt AUXESIA maximal mögliche Verbesserungspotenziale für die Neuentwicklung der MANKAR-Roll-Produktfamilie aufzeigen soll.

Andere enthaltene Ziele, z.B. die *Prüf-* und *Austauschbarkeit*, betreffen ausschließlich die Modularisierung und sind deshalb keine Erfolgskriterien für die variantengerechte Produktgestaltung.

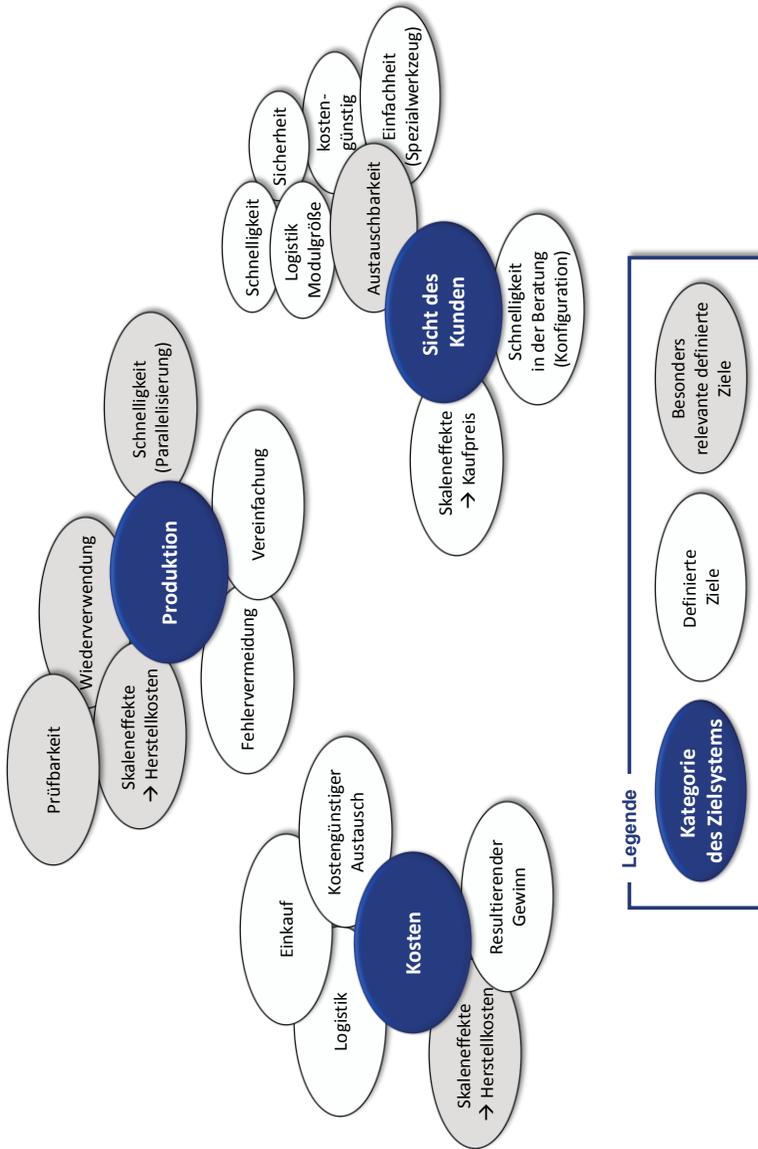


Bild 6-3: Zielsetzung der Produktstrukturierung im Projekt AUXESIA

6.2.3 Auswahl des zu betrachtenden Systems

Im zweiten Schritt der Methode (siehe Kapitel 5.2) werden einerseits die variantengerecht zu gestaltenden Hauptbaugruppen der Produktfamilie bestimmt und andererseits wird der Kontext bestimmt, in dem diese Hauptbaugruppen betrachtet werden.

Einzelne hinsichtlich der Zielsetzung relevante Hauptbaugruppen auszuwählen, wird im Projekt AUXESIA durch die Vielfalt der Ziele erschwert. Des Weiteren ermöglicht der einfache Aufbau der MANKAR-Roll-Geräte ihre vollständige Betrachtung. Aus diesen Gründen wird darauf verzichtet, die variantengerechte Produktgestaltung auf einzelne Hauptbaugruppen zu beschränken. Die vorgeschlagene Portfolio-Analyse (siehe Kapitel 5.2) kommt deshalb in der Fallstudie nicht zum Einsatz, weshalb eine Bewertung dieses Werkzeugs nicht möglich ist.

Neben dem System selbst wird in diesem Schritt der Kontext bestimmt, in dem das System betrachtet wird. Unter dem Kontext werden weitere Verwendungen von Komponenten verstanden, die bei der Erfassung der Unterscheidungsmerkmale und Anforderungen zu berücksichtigen sind.

Die drei bestehenden Produktfamilien MANKAR-Carry, MANKAR-Roll und MANKAR-Drive weisen gemeinsame Komponenten auf. Im Sinne der variantengerechten Produktgestaltung ist zu prüfen, ob diese Komponenten im Kontext aller drei Produktfamilien zu betrachten sind. Hierbei ist zwischen den Einschränkungen für die Gestaltung der MANKAR-ROLL-Familie und dem Nutzen der übergreifenden Verwendung der Komponenten in mehreren Produktfamilien abzuwägen. Im Hinblick auf die Zielsetzung des Forschungsprojekts AUXESIA, maximal mögliche Verbesserungspotenziale für die MANKAR-Roll-Familie aufzuzeigen, wird der Kontext auf diese Produktfamilie beschränkt.

Als Ergebnis des zweiten Schritts werden im Folgenden die gesamten MANKAR-Roll-Geräte betrachtet, wobei weitere Verwendungen bestehender Komponenten nicht beachtet werden.

6.2.4 Aufgabenklärung und Aufnahme der Variantenvielfalt der Sprühgeräte

Da die Klärung der Anforderungen keine Unterschiede gegenüber der Entwicklung von Einzelprodukten aufweist, wird im Folgenden nur die Aufnahme der Vielfalt beschrieben. Hierbei wird zuerst die externe Vielfalt anhand der Unterscheidungsmerkmale und ihrer Ausprägungen erfasst. Anschließend wird die Vielfalt der Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten ermittelt. Die gesamte Vielfalt wird zum Abschluss dieses Schritts im VAM zusammengefasst.

Aufnahme der Unterscheidungsmerkmale

Ergebnis der Aufnahme der Unterscheidungsmerkmale ist der in Bild 6-4 dargestellte Merkmalsbaum der MANKAR-ROLL-Familie. Dieser basiert auf einer Analyse von CAD-Modellen, einer Auswertung des bestehenden Produktkatalogs [Man09b], sowie den Ergebnissen eines gemeinsamen Workshops mit Mantis-Mitarbeitern verschiedener Fachbereiche. Das vollständige Originaldokument der Fallstudie ist im Anhang A.1 beigelegt.

Dem Merkmalsbaum ist zu entnehmen, dass eine der zwölf Produktvarianten nicht zur externen Vielfalt beiträgt. So weisen die Geräte *E 70-110 Select* und *P 70-110 Select* in allen Unterscheidungsmerkmalen identische Ausprägungen auf (in Bild 6-4 rechts, drittes und viertes Gerät von unten). Diese Geräte sind alternative technische Lösungen, um das *selektive Sprühen* zu ermöglichen. Demnach kann das Produktprogramm um eine der Varianten bereinigt werden, ohne die externe Vielfalt zu beschränken.

Weiterhin zeigt der Merkmalsbaum, dass die Ausprägungen des Unterscheidungsmerkmals *Sprühbreite* einen Bereich zwischen 20 und 110 cm abdecken (in Bild 6-4, erste Spalte von links). Innerhalb dieses Bereichs weisen die bestehenden Ausprägungen sowohl unnötige Überschneidungen, z.B. *20 - 45 cm* und *30 - 50 cm*, als auch eine unerwünschte Lücke zwischen 50 cm und 60 cm auf. In Zukunft soll der gesamte Wertebereich zwischen 20 und 110 cm abgedeckt werden. Die Ausprägungen des Unterscheidungsmerkmals sind hierfür neu zu definieren.

Zentrales Ergebnis dieses Schritts sind die sechs nachfolgend beschriebenen Unterscheidungsmerkmale (im Bild oben). Sie bilden die Basis für die erste Ebene des VAM der MANKAR-Roll-Familie und geben die bestehende Vielfalt aus Sicht der Kunden vollständig wieder.

- *Sprühbreite*. Dieses Unterscheidungsmerkmal gibt an, wie breit eine Bahn ist, die von einem einzelnen Sprühschirm abgedeckt wird. In den bestehenden Geräten existieren fünf verschiedene Ausprägungen des Unterscheidungsmerkmals: verstellbar *20 bis 45 cm*, *30 bis 50 cm*, *60 bis 80 cm*, *70 bis 110 cm* und fix *50 cm*.
- *Flexible Schirmanpassung*. Diese Option erleichtert das Sprühen zwischen Hindernissen, wie beispielsweise Stämmen in Baumschulen. Dazu weicht der Sprühschirm flexibel zurück, wenn er auf ein Hindernis stößt.
- *Selektives Sprühen*. Diese Option ermöglicht es, das Ausbringen des Herbizids per Knopfdruck am Handgriff an- und abzuschalten. Dadurch wird die Behandlung einzelner kleiner Flächen erleichtert. Dies ist beispielsweise auf Gehwegen oder Parkplätzen erforderlich.

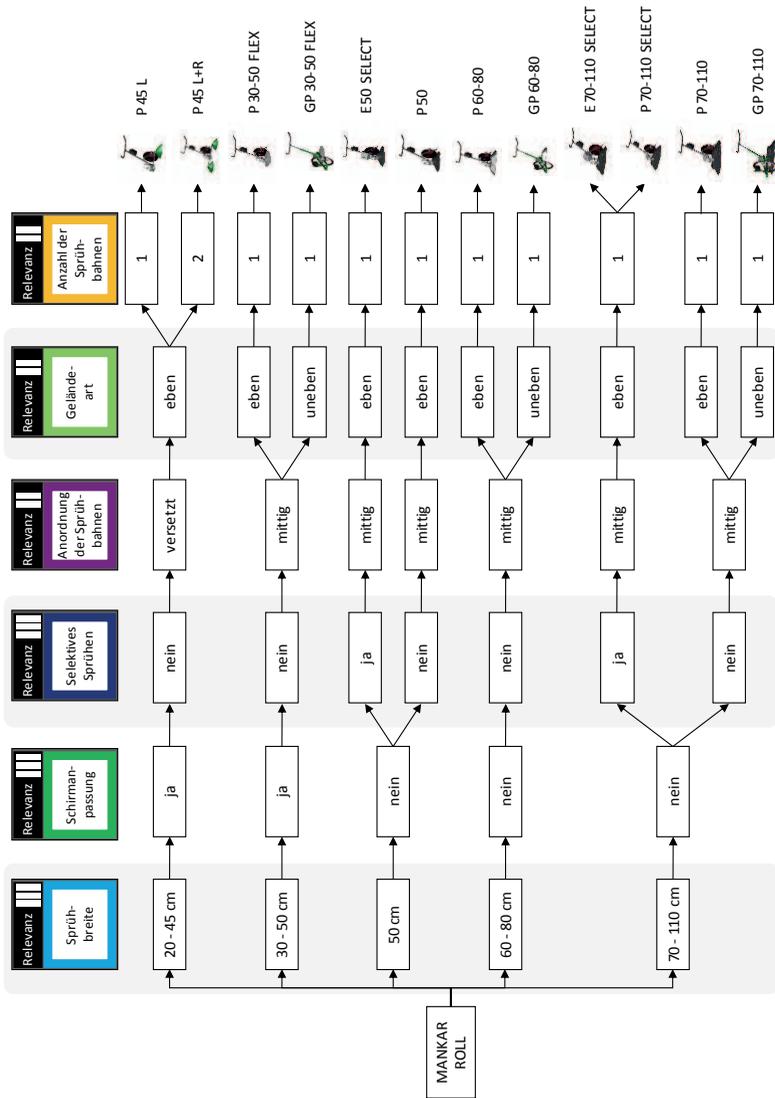


Bild 6-4: Merkmalsbaum der bestehenden MANKAR-Roll-Familie [vgl. Ble10b]

- *Anordnung der Sprühbahnen.* Die MANKAR-Roll-Geräte werden mit zentral oder seitlich angeordnetem Sprühschirm angeboten. Die zentrale Anordnung ist in Reihenkulturen zweckmäßig, wenn der Bereich zwischen den Nutzpflanzenreihen besprüht werden soll. Eine seitliche Anordnung wird benötigt, wenn der Bereich um einzelne Nutzpflanzen herum zu behandeln ist, z.B. um die Stämme in Baumschulen.
- *Geländeart.* Das Unterscheidungsmerkmal beschreibt, für welche Bodenverhältnisse die Geräte ausgelegt sind. Baumschulen benötigen Schubkarrengeräte, die speziell auf *unebene* Bodenverhältnisse ausgelegt sind. Zur Behandlung von Wegen und Parkplätzen sind dagegen Geräte für *ebenen* Untergrund erforderlich.
- *Anzahl der Sprühbahnen.* In der bestehenden Produktfamilie wird ein Gerät angeboten, das nicht *eine*, sondern *zwei* seitlich angeordnete Sprühbahnen besitzt. Der Nutzer kann damit beidseitig zwischen Nutzpflanzen sprühen. Die Wege und die Ausbringungszeit werden dadurch halbiert.

Diese sechs Unterscheidungsmerkmale und ihre Ausprägungen schaffen ein gemeinsames Verständnis für die externe Vielfalt. Sie bilden damit die Basis für die Entwicklung der zukünftigen MANKAR-Roll-Familie.

Aufnahme der Vielfalt der Funktionen der MANKAR-Roll-Familie

Die Vielfalt der Funktionen der MANKAR-Roll-Produktfamilie wird mithilfe einer umsatzorientierten Funktionsstruktur erfasst. Als Basis dient die Funktionsstruktur einer einzelnen Referenzvariante, die im Vergleich mit den restlichen Varianten zur *Funktionsstruktur der Produktfamilie* erweitert wird. Ein stilisierter Ausschnitt dieser Funktionsstruktur ist in Bild 6-5 dargestellt, die gesamte Funktionsstruktur ist in Anhang A.3 zu finden.

In der entstandenen Funktionsstruktur fällt auf, dass die Vielfalt innerhalb des Hauptumsatzes, das heißt innerhalb des Herbizidflusses, früh entsteht (siehe Bild 6-5 unten). So sind nur die ersten vier grau dargestellten Funktionen in allen Produktvarianten einheitlich (im Bild unten links). Alle weiteren Funktionen des Hauptumsatzes sind aufgrund der beiden Unterscheidungsmerkmale *Sprühbreite* und der *Anzahl der Sprühbahnen* variant und deshalb in der Funktionsstruktur rot umrandet dargestellt (im Bild unten rechts). Es ist somit anzustreben, die Vielfalt beider Unterscheidungsmerkmale im Verlauf des Hauptumsatzes später und durch separate Funktionen zu erzeugen.

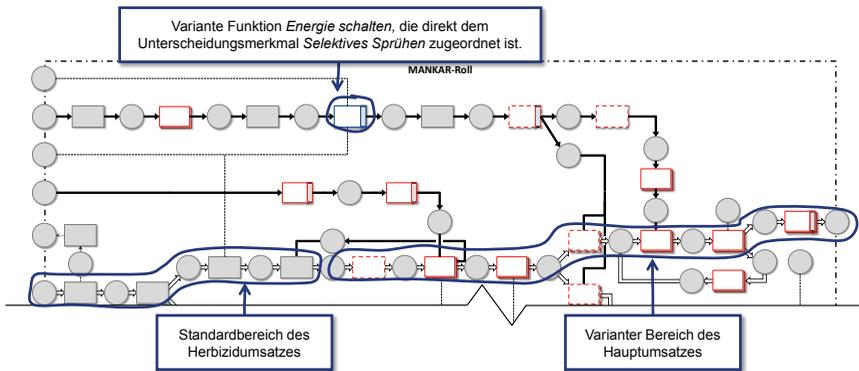


Bild 6-5: Ausschnitt der stilisierten Funktionsstruktur der MANKAR-Roll-Familie [vgl. Ble10b]

Des Weiteren fällt in Bild 6-5 auf, dass im dargestellten Bereich nahezu alle varianten Funktionen rot umrandet dargestellt sind. Ihre Vielfalt wird dementsprechend von mehreren Unterscheidungsmerkmalen verursacht. Insgesamt ist nur die Vielfalt von drei der 26 varianten Funktionen auf ein einzelnes Unterscheidungsmerkmal zurückzuführen. Für die Lösungssuche ist es demnach anzustreben, die Zuordnungsstruktur zwischen Unterscheidungsmerkmalen und varianten Funktionen zu vereinfachen.

Vielfalt der Wirkprinzipien und -elemente der MANKAR-Roll-Familie

In diesem Schritt wird die Vielfalt der Wirkprinzipien und -elemente erfasst. Dazu wird für jedes Wirkprinzip, das in der bestehenden Produktfamilie variante Bauteile enthält, eine Skizze erstellt. Die varianten Elemente des Wirkprinzips werden in diesen Skizzen markiert. In Bild 6-6 ist dies exemplarisch für das Wirkprinzip *Blende* dargestellt, das die Funktion *Spray aufteilen* erfüllt.

Ergebnis dieser Analyse des Wirkprinzips ist, dass das Wirkprinzip *Blende* in verschiedenen Geräten einerseits in unterschiedlicher Anzahl vorliegt und andererseits das Wirkelement Öffnung der Blende in der Breite variiert. Die Anzahl in der das Wirkprinzip auftritt ist abhängig von den Unterscheidungsmerkmalen *Anzahl der Sprühbahnen* und *Sprühbreite*. Die Breite der Öffnung der Blende wird dagegen nur von der *Sprühbreite* bestimmt.

Die Analyse der varianten Wirkelemente ermöglicht einen Vergleich der Varianz der Komponenten mit der erforderlichen Vielfalt der Wirkelemente. Dies schafft die Grundlage für Verbesserungen der Komponenten hinsichtlich des Kriteriums der *Reduzierung*.

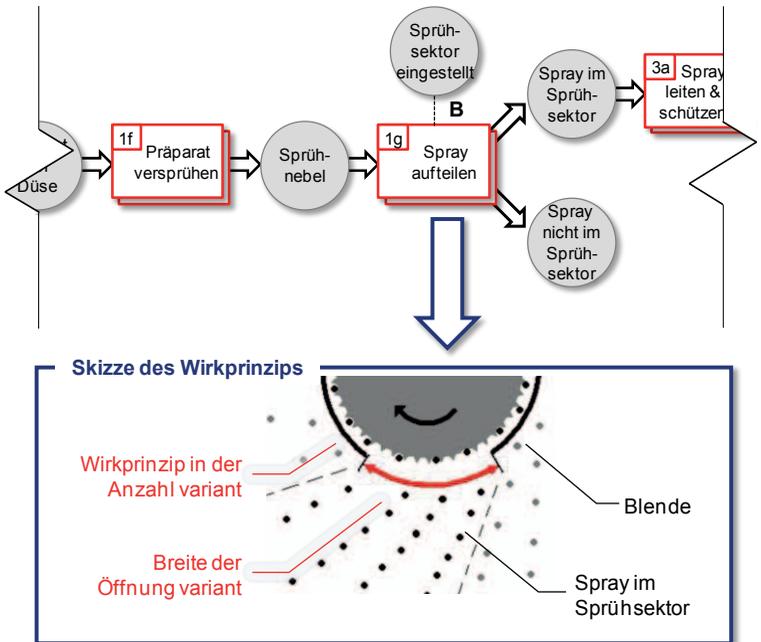


Bild 6-6: Erfassung der Vielfalt des Wirkprinzips zur Funktion *Spray aufteilen*

Aufnahme der Vielfalt der Komponenten der MANKAR-Roll-Familie

Ergebnis dieses Schritts ist eine Dekomposition der MANKAR-Roll-Geräte, die einerseits weniger als 30 Komponenten aufweist und andererseits am Montageprozess orientiert ist. So bilden variante Bauelemente, wie z.B. der *Taster*, die in der Montage einzeln verbaut werden, auch in der Dekomposition einzelne Komponenten (siehe Bild 6-7).

Der Darstellung der Dekomposition der MANKAR-Roll-Familie im Module Interface Graph (MIG) ist zu entnehmen, dass nur sechs der 23 Komponenten innerhalb der Produktfamilie standardisiert sind (weiß dargestellt). Die Vielfalt der anderen Komponenten kann teilweise keinem Unterscheidungsmerkmal zugeordnet werden.

Zudem weisen mehrere variante Komponenten, wie beispielsweise *Sprühschirm* oder *Zerstäuberdüse*, eine Vielzahl von Schnittstellen auf, was anhand der Darstellung der Kraft-, Energie- und Materialumsätze deutlich wird. Die Gestaltung der Komponenten widerspricht demnach den Kriterien der *Differenzierung* und *Entkopplung*.

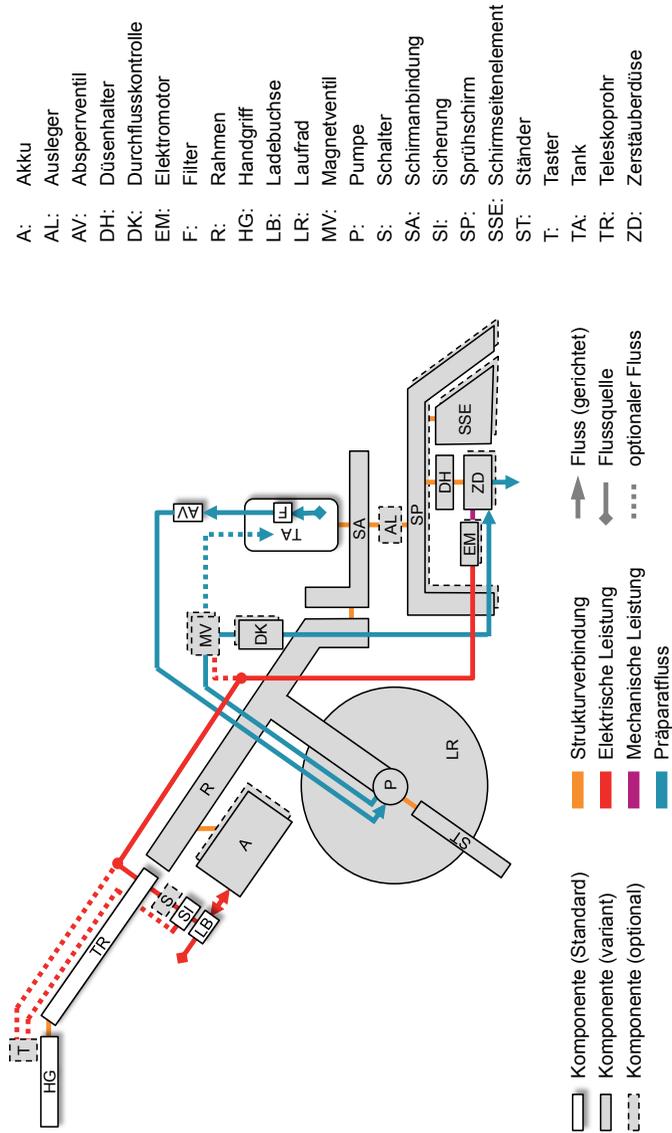


Bild 6-7: Module Interface Graph der MANKAR-Roll-Familie [vgl. Ble10b]

- A: Akku
- AL: Ausleger
- AV: Absperrventil
- DH: Düsenhalter
- DK: Durchflusskontrolle
- EM: Elektromotor
- F: Filter
- R: Rahmen
- HG: Handgriff
- LB: Ladebuchse
- LR: Laufrad
- MV: Magnetventil
- P: Pumpe
- S: Schalter
- SA: Schirmanbindung
- SI: Sicherung
- SP: Sprühschirm
- SSE: Schirmseitelement
- ST: Ständer
- T: Taster
- TA: Tank
- TR: Teleskoprohr
- ZD: Zerstäuberdüse

Zusammenfassen der Vielfalt der MANKAR-Roll-Familie im VAM

Die vorhergehend ermittelten und dokumentierten Daten werden zum VAM der MANKAR-Roll-Familie zusammengefasst. Ein Ausschnitt dieses Modells ist in Bild 6-8 dargestellt, das vollständige VAM ist in Anhang A.4 beigefügt. Im VAM der Produktfamilie fällt auf, dass die Unterscheidungsmerkmale *Sprühbreite* und *Anzahl der Sprühbahnen* eine Vielzahl von Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten beeinflussen. Darüber hinaus ist nahezu jede variante Funktion, jedes variante Wirkprinzip und jede variante Komponente rot dargestellt, das heißt sie wird von zwei oder mehr Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst. Die Produktfamilie birgt somit deutliche Verbesserungspotenziale für die variantengerechte Produktgestaltung, insbesondere hinsichtlich des Kriteriums der *Eins-zu-eins-Zuordnung*.

Zusätzlich zeigt das Ergebnis der ABC-Analyse, das unten im Bild innerhalb der Komponentenkarten dargestellt ist, dass viele variante Komponenten hinsichtlich ihrer Kosten A- und B-Teile sind. Ein Beispiel hierfür ist der *Sprühschirm* (in Bild 6-8 rechts unten dargestellt), der zudem eine Vielzahl von Kopplungen besitzt. Demnach weist diese Komponente erhebliche Verbesserungspotenziale hinsichtlich der Kriterien *Differenzierung* und *Entkopplung* auf.

Ein Vergleich zwischen der *Düse* und dem enthaltenen varianten Wirkelement *Blende* zeigt, dass auch hinsichtlich des Kriteriums der *Reduzierung* nicht der Ideal-Zustand erreicht ist.

Damit sind im VAM vielfältige Verbesserungspotenziale im Hinblick auf alle Kriterien des Idealbilds zu erkennen. Im Folgenden wird beschrieben, welche Handlungsschwerpunkte und Lösungsansätze daraus resultieren.

6.2.5 Suche nach alternativen variantengerechten Lösungsansätzen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Lösungssuche beschrieben, die innerhalb eines zweitägigen Workshops unter Verwendung des, in Kapitel 5.4 beschriebenen Vorgehens, entstanden sind. Dazu wird die Lösungssuche auf den unterschiedlichen Abstraktionsebenen jeweils anhand eines Beispiels beschrieben. Anschließend wird ein Überblick über die vier variantengerechten MANKAR-Roll-Konzepte gegeben, die aus den Lösungsideen des Workshops abgeleitet sind.

Lösungssuche auf Ebene der varianten Komponenten der MANKAR-Roll-Familie

In der Lösungssuche auf Ebene der Komponenten sind *Magnetventil*, *Sprühschirm*, *Pumpe* und *Geräteträger* von größter Relevanz. Diese vier Komponenten widersprechen dem Kriterium der *Differenzierung* deutlich (siehe VAM in Anhang A.4), da sie hinsichtlich ihrer Kosten A-Teile sind.

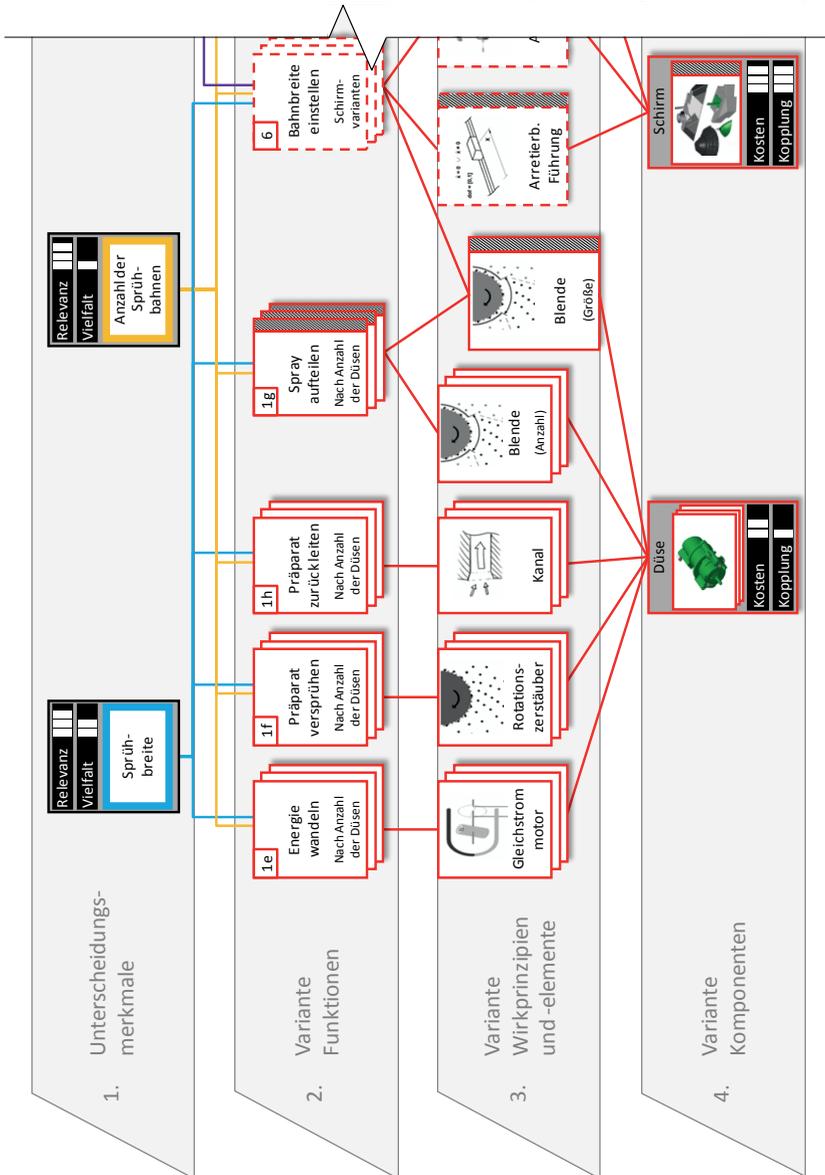


Bild 6-8: Ausschnitt des Variety Allocation Model der bestehenden MANKAR-Roll-Familie [vgl. Ble10b]

Der *Sprühschirm* widerspricht zusätzlich der *Eins-zu-eins-Zuordnung*, da die Auswahl einer Variante von den vier Unterscheidungsmerkmalen *Sprühbreite*, *Anzahl der Sprühbahnen*, *Anordnung der Sprühbahnen* und *flexible Schirmanpassung* bestimmt wird (siehe Bild 6-9 oben).

Zusätzlich wird der *Sprühschirm* auch dem vierten Kriterium des Idealbilds, der *Entkopplung* nicht gerecht, da er starke Kopplungen zu anderen Komponenten aufweist. Der *Sprühschirm* wird somit keinem Kriterium des Idealbilds gerecht. Deshalb wird die Lösungssuche auf Ebene der Komponenten anhand dieses Beispiels vorgestellt.

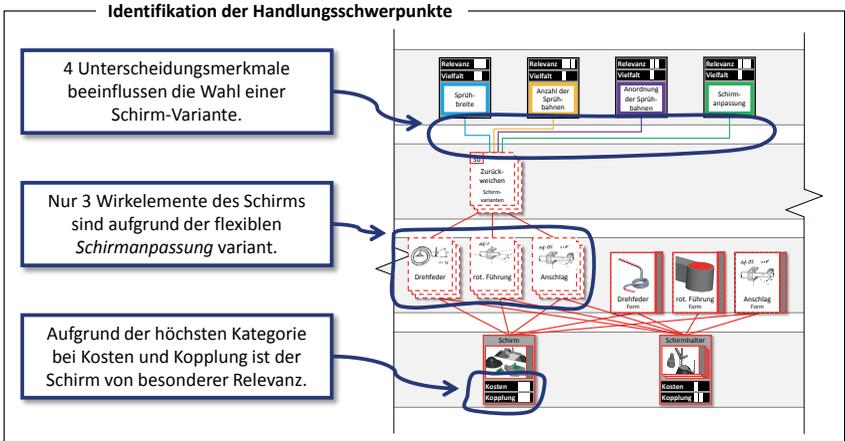
Da der *Sprühschirm* das zentrale Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* verletzt, ist er in Teilkomponenten zu zerlegen, welche von einem einzelnen Unterscheidungsmerkmal abhängen. Um dies zu erreichen, werden folgende Aufgabenstellungen in der konstruktiven Lösungssuche bearbeitet:

1. Wie kann die Option Ausweichen des Schirmes vor Hindernissen durch eine separate und kostengünstige Komponente realisiert werden?
2. Wie können die verschiedenen Sprühbreiten durch möglichst wenige, günstige und von anderen Unterscheidungsmerkmalen unabhängige Komponenten realisiert werden?

Die Ergebnisse werden anhand der ersten Aufgabenstellung exemplarisch vorgestellt. Die Ideen, die innerhalb der kreativen Lösungssuche entstanden sind, können zu den sechs Ansätzen zusammengefasst werden, die in Bild 6-9 Mitte beschrieben sind.

Im Rahmen der Konzeptbildung hat sich eine Kombination aus den Ansätzen *Abklappen als Standard*, *Schirm immer mittig teilen* und *Einsatz eines standardisierten Drehfederelements* als besonders zielführend erwiesen. Ergebnis der Detaillierung des Konzepts ist ein *Sprühschirmsystem*, welches aus zwei identischen, punktsymmetrisch verwendeten Halbschirmen besteht (siehe Bild 6-9 unten). Innerhalb dieses *Sprühschirmsystems* wird die Option *flexible Sprühschirmanpassung* durch ein optionales Torsionsfederelement realisiert, welches beidseitig verwendet werden kann. Als separate Komponente ist das Federelement ausschließlich aufgrund des Unterscheidungsmerkmals *flexible Sprühschirmanpassung* variant. Zudem sind die Kosten des separaten Federelements vergleichsweise niedrig und die Kopplungen der Komponente gering.

Das separate Federelement bewirkt eine deutliche Verbesserung hinsichtlich der Kriterien *Differenzierung* und *Eins-zu-eins-Zuordnung*. Dies ist auch dem VAM des ersten und vierten Konzepts zu entnehmen (siehe Bild 6-12 oder Bild 6-15), in denen dieser Ansatz genutzt wird.



Abgeleitete Aufgabenstellung

Wie kann die Option *Ausweichen des Schirmes vor Hindernissen* durch eine separate und kostengünstige Komponente realisiert werden?

Ergebnisse der Lösungssuche

- Abklappen als Standard
- Schirm immer mittig teilen
- Standardisiertes Drehfederelement
- Flexible Sprüh-schirme
- Bürsten als Endstücke
- Baukastenbauweise des Sprüh-schirms

Exemplarische Umsetzung in Konzept 1

- Der Sprüh-schirm besteht immer aus zwei identischen Halbschalen.
- Das *Ausweichen des Schirmes vor Hindernissen* wird durch ein optionales standardisiertes Drehfederelement realisiert.

optionales Federelement

Bild 6-9: Beispiel zur Lösungssuche auf Ebene der Komponenten

Lösungssuche auf Ebene der Wirkprinzipien der MANKAR-Roll-Familie

Da eine variantengerechte Gestaltung der Wirkprinzipien vornehmlich die Wertschöpfung aus Varianten- in Standardanteile verlagert, werden Handlungsschwerpunkte auf dieser Ebene aus den Komponentenkosten abgeleitet.

Neben dem *Sprühschirm* zählt die *Dosierpumpe* zu den besonders kostenintensiven Komponenten, weshalb sie dem Kriterium der *Differenzierung* widerspricht. Dem Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* wird sie ebenfalls nicht gerecht, da die Variante der *Dosierpumpe* anhand der Unterscheidungsmerkmale *Sprühbreite*, *Anzahl der Sprühbahnen* und *Geländeart* ausgewählt wird. Die *Dosierpumpe* und das verwendete Wirkprinzip bilden deshalb einen Handlungsschwerpunkt, anhand dessen die Lösungssuche auf Ebene der Wirkprinzipien vorgestellt wird.

Innerhalb dieser Lösungssuche hinsichtlich eines variantengerechten Wirkprinzips zum Dosieren des Herbizids wird folgende Aufgabenstellung bearbeitet:

Wie kann die [bestehende] Varianz der Dosierpumpe durch ein neues Konzept einfacher erzeugt werden?

Die Analyse innerhalb dieser Lösungssuche zeigt, dass die Vielfalt der Dosierpumpe zu zwei Unterscheidungsmerkmalen zusammengefasst werden kann:

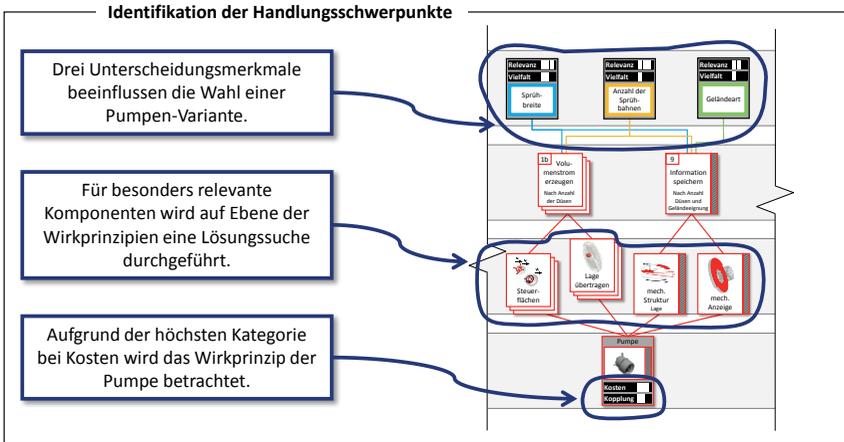
Die beiden Unterscheidungsmerkmale *Sprühbreite* und *Anzahl der Sprühbahnen* bestimmen gemeinsam, ob ein oder zwei separate Volumenströme zu dosieren sind.

Das Unterscheidungsmerkmal *Geländeart* bestimmt aufgrund der unterschiedlichen Radgrößen das Verhältnis zwischen Umdrehungen der Antriebswelle der Pumpe und zurückgelegtem Weg. Die Dosiermenge pro Strecke darf sich aber trotzdem nicht ändern.

Die gefunden Lösungsansätze können deshalb in zwei Kategorien aufgeteilt werden:

1. Wirkprinzipien, die eine effiziente Anpassung an ein oder zwei dosierte Volumenströme ermöglichen.
2. Wirkprinzipien, welche aufgrund unterschiedlicher Eingangsdrehzahlen keine oder nur eine geringe Vielfalt aufweisen.

Lösungsideen der ersten Kategorie sind die *Schlauchpumpe mit Anpassung der Schlauchanzahl*, die *Pumpe-Düse-Einheit* oder *ein oder zwei einfache Pumpen*. Dagegen reduzieren die *elektrische Pumpe mit Regelung*, die *Anbringung der Pumpe wie ein Fahrraddynamo*, das *Eingangsgetriebe bei großem Rad* oder die *Radialkolbenpumpe mit Anpassung des Hubs* die Abhängigkeit von der Eingangsdrehzahl.



Abgeleitete Aufgabenstellung

Wie kann die [bestehende] Varianz der *Dosierpumpe* durch ein neues Konzept einfacher erzeugt werden?

Ergebnisse der Lösungssuche

- Schlauchpumpe mit Anpassung der Schlauchanzahl
- Pumpe-Düse-System
- 1 oder 2 einfache Pumpen
- Elektrische Pumpe mit Regelung
- Anbringung der Pumpe wie Fahrraddynamo
- Eingangsgetriebe bei großem Rad

Exemplarische Umsetzung in Konzept 3

- Verwendung einer elektronisch geregelten Schlauchpumpe mit Drehzahlgeber am Rad.
- Integration der Schlauchpumpe und der Düse zu einer Pumpe-Düse-Einheit, die ausschließlich in ihrer Anzahl variant ist.

In der Anzahl variante Pumpe-Düse-Einheit

Bild 6-10: Beispiel zur Lösungssuche auf Ebene der Wirkprinzipien

In der Konzeptbildung wird wiederum eine Kombination mehrerer Lösungsideen gewählt. Beispielsweise fasst das dritte Konzept eine *elektrische Schlauchpumpe* und die *Segment-Rotationsdüse* zu einer Pumpe-Düse-Einheit zusammen (siehe Bild 6-10). Die Pumpe-Düse-Einheit ist unabhängig von der Radgröße (*Geländeart*) und nur in der Anzahl variant. Die Anpassung an unterschiedliche Radgrößen aufgrund der wegabhängigen Dosierung erfolgt innerhalb des Softwareanteils der Regelung.

Im Sinne der Methode nutzt dieses Konzept ein mechatronisches Wirkprinzip, um die bestehende physische Vielfalt in Softwareanteile zu verlagern.

Lösungssuche auf Ebene der Funktionen der MANKAR-Roll-Familie

Variantengerechte Lösungen auf Ebene der Funktionen verbessern insbesondere die *Eins-zu-eins-Zuordnung* zwischen den Unterscheidungsmerkmalen und Komponenten. Deshalb werden Funktionsbereiche betrachtet, die der *Eins-zu-eins-Zuordnung* deutlich widersprechen. Dies ist der Fall, wenn ein Unterscheidungsmerkmal die Vielfalt besonders vieler Funktionen verursacht.

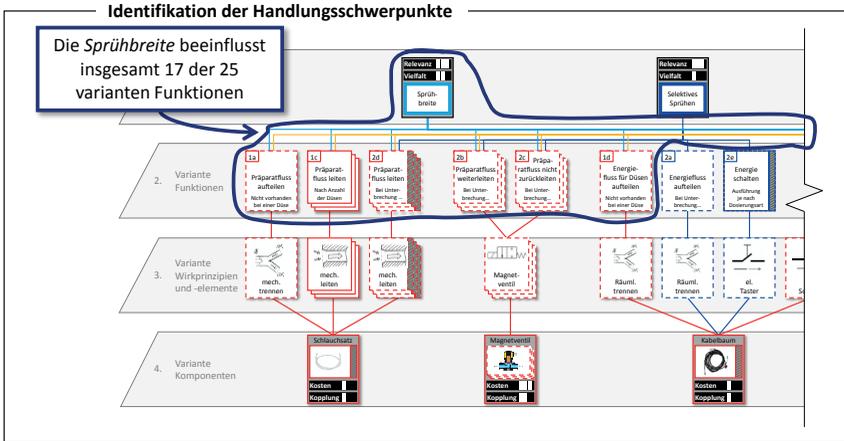
Im VAM der bestehenden MANKAR-Roll-Familie fällt auf, dass die Unterscheidungsmerkmale *Sprühbreite* und *Anzahl der Sprühbahnen* jeweils die Vielfalt von 17 Funktionen verursachen (siehe Bild 6-11 oben). Dagegen beeinflusst keines der anderen Unterscheidungsmerkmale mehr als sechs Funktionen. Im Vergleich weist das Unterscheidungsmerkmal *Sprühbreite* dabei die größere Vielfalt auf. Der zugehörige Funktionsbereich bildet somit den wichtigsten Handlungsschwerpunkt auf Ebene der Funktionen und dient im Folgenden als Beispiel.

Die Problematik der 17 varianten Funktionen wird in der Lösungssuche zu folgender Aufgabenstellung zusammengefasst:

Es sind alternative Produktkonzepte zu suchen, bei denen möglichst viele Funktionen unabhängig von der Sprühbreite sind.

Alle entstanden Ideen schieben die Variantenbildung entlang des Hauptumsatzes auf, das heißt sie wenden den beschriebenen Transfer der Postponement-Strategie auf die Funktionsstruktur an. Die Ideen können zu drei grundlegend unterschiedlichen Ansätzen zusammengefasst werden.

Der erste Ansatz ist die Kombination der Funktionen *Volumenstrom erzeugen* und *Präparat versprühen* in einer Pumpe-Düse-Einheit. Dadurch wird die Variantenbildung aufgrund der *Sprühbreite* bis zu dieser Einheit aufgeschoben.

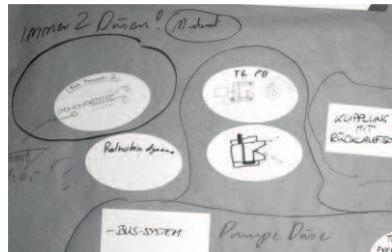


Abgeleitete Aufgabenstellung

Es sind alternative Produktkonzepte zu suchen, bei denen möglichst viele Funktionen unabhängig von der Sprühbreite sind.

Ergebnisse der Lösungssuche

- Pumpe-Düse-Systeme
- Hydraulische „Common-Rail“ Systeme
- MANKAR-Roll Varianten immer mit zwei Düsen ausstatten



Exemplarische Umsetzung in Konzept 1

- Alle Produktvarianten dieses Konzepts werden mit zwei Düsen ausgestattet.
- Die Variantenbildung aufgrund der Sprühbreite wird dadurch bis zu den Segmentrotationsdüsen und den Halbschalen des Schirms aufgeschoben.



Bild 6-11: Beispiel zur Lösungssuche auf Ebene der Funktionen [vgl. Ble10b]

Der zweite Ansatz ist die Dosierung des Präparats mithilfe eines Prinzips, das in der Lösungssuche die Bezeichnung *Common-Rail-System* erhalten hat. In diesem Funktionsprinzip wird unabhängig von der Anzahl der Düsen ein Druck zentral erzeugt, geregelt und gespeichert. Mit diesem Druck wird das Präparat im *Common-Rail* beaufschlagt. Die Dosierung des Präparats erfolgt dezentral durch einen Strömungswiderstand zwischen *Common-Rail* und *Segment-Rotationsdüse*, welcher in Kombination mit dem geregelten Druck die Dosiermenge festlegt.

Der dritte Ansatz basiert auf der Verwendung von zwei Düsen in allen MANKAR-Roll-Varianten. Die Variantenbildung aufgrund des Unterscheidungsmerkmals *Sprühbreite* wird so bis hin zum Ausgang der Düsen aufgeschoben. Dieser Ansatz ist kontrovers zu bewerten: Von Nachteil ist die resultierende unerwünschte Überdimensionierung, entscheidender Vorteil ist die einfache Umsetzbarkeit auf Basis bestehender Komponenten. Aufgrund dieses Vorteils wird die Idee in den Konzepten 1 und 4 aufgegriffen. Der Nutzen zeigt sich in den VAM dieser Konzepte (siehe Bild 6-12). Hier ist zu erkennen, dass das Unterscheidungsmerkmal *Sprühbreite* nur noch zwei statt bisher 17 Funktionen beeinflusst.

6.2.6 Vorstellung der variantengerechten MANKAR-Roll-Konzepte

Im folgenden Absatz werden die variantengerechten MANKAR-Roll-Konzepte vorgestellt, um die entstandene Lösungsvielfalt aufzuzeigen. Hier wird beschrieben, welche Zielsetzung die Konzepte verfolgen und mithilfe welcher Lösungsansätze diese erreicht wird. Abschließend werden anhand des jeweiligen VAM die Stärken und Schwächen der Konzepte aus Sicht der Variantengerechtigkeit diskutiert.

Vorstellung des ersten variantengerechten Konzepts

Das erste MANKAR-Roll-Konzept soll mit geringem Entwicklungsaufwand möglichst als Änderungskonstruktion zu realisieren sein.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird das mittig geteilte Schirmsystem mit optionalem Drehfederelement genutzt, welches in der Lösungssuche auf Ebene der Komponenten beschrieben wurde (siehe Bild 6-12). In Verbindung mit der bestehenden *Segmentrotationsdüse* und *Dosierpumpe* ist dies mit geringem Aufwand zu entwickeln.

Obwohl das Konzept dadurch keine reine Änderungskonstruktion mehr ist, werden zwei neue Wirkprinzipien eingeführt, um die Variantengerechtigkeit zu verbessern. So ersetzt eine optionale *Magnetkupplung* zwischen Rad und Dosierpumpe die *Magnetventile*, um die Auswirkungen des *Selektiven Sprühens* zu reduzieren. Ein optionales *Getriebe* vereinheitlicht die Eingangsdrehzahl der Pumpe für die zwei unterschiedlichen Radgrößen. Beide Wirkprinzipien sind mit verfügbaren Maschinenelementen zu realisieren, weshalb der Entwicklungsaufwand gering bleibt.

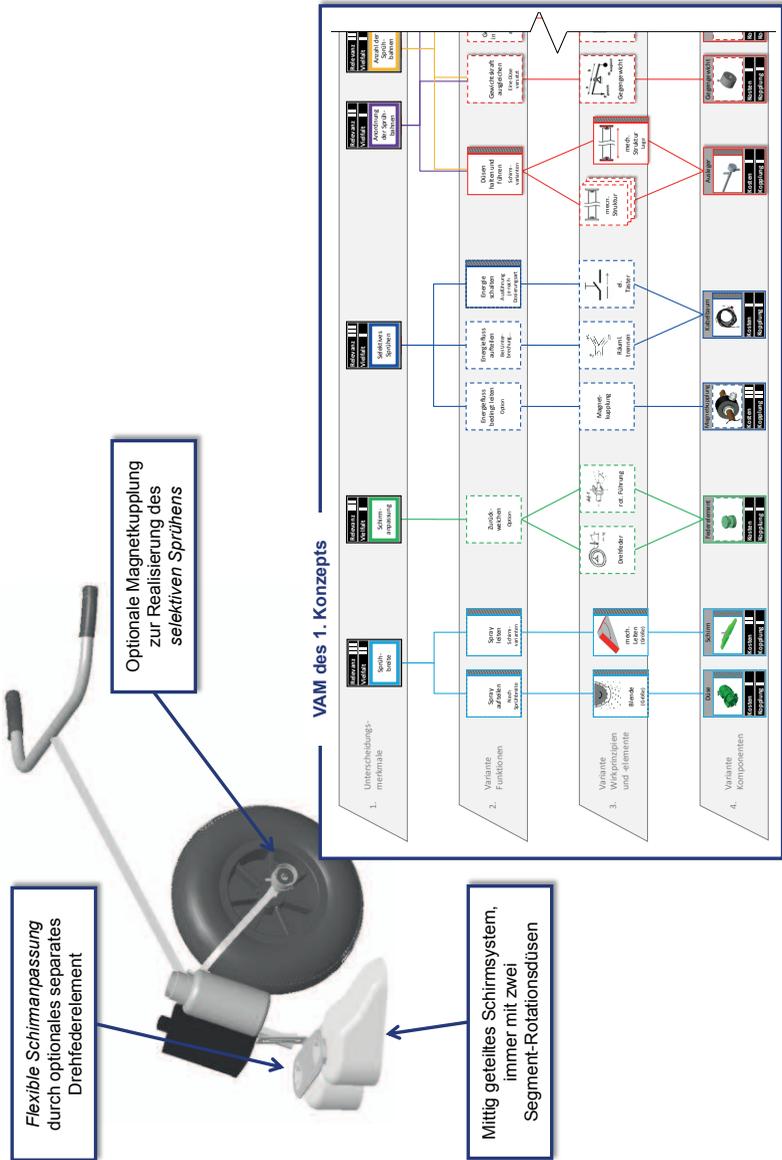


Bild 6-12: Erstes variantengerechtes Konzept der MANKAR-Roll-Familie [vgl. Ble10b]

Auf Ebene der Funktionen wird das Prinzip *immer zwei Düsen einsetzen* aufgegriffen. Dieses Prinzip beschränkt nur die bestehende Vielfalt der Funktionsstrukturen, wodurch der Entwicklungsaufwand besonders gering ausfällt. Nachteil des Ansatzes ist, dass bei einigen MANKAR-Roll-Varianten dem Nutzen des Prinzips die Kosten einer zusätzlichen Düse gegenüber stehen.

Das VAM rechts in Bild 6-12 zeigt, dass das Konzept eine erheblich verbesserte *Eins-zu-eins-Zuordnung* aufweist. Neun der zwölf varianten Komponenten werden von genau einem Unterscheidungsmerkmal beeinflusst. Des Weiteren ist eine deutliche Verbesserung hinsichtlich der Kriterien der *Differenzierung* und *Reduzierung* festzustellen. So wird die Vielfalt mit nur zwölf Komponenten abgebildet, unter denen nur die *Magnetkupplung* ein A-Teil ist. Dagegen sind in der bestehenden Produktfamilie 15 Komponenten variant, darunter vier A-Teile.

Vorstellung des zweiten variantengerechten Konzepts

Zielsetzung des zweiten Konzepts ist es, eine weitere Verbesserung der Variantengerechtigkeit zu erzielen und die unerwünschte Überdimensionierung zu vermeiden. Dafür werden ein mittlerer Neuheitsgrad und Entwicklungsaufwand in Kauf genommen.

Auf Ebene der Komponenten findet der Ansatz der *Baukastenbauweise des Sprüh-schirms* Verwendung (siehe Bild 6-13). Der Baukasten bildet auf Basis von standardisierten Breitenbausteinen, Endstücken, Federelementen und Düsenhaltern die Vielfalt der Schirme ab.

Auf Ebene der Wirkprinzipien werden weitere Ansätze mit höherem Neuheitsgrad aufgegriffen: eine modular aufgebaute Radialkolbenpumpe ersetzt die variantenreiche integrale Axialkolbenpumpe und die *Magnetventile* werden durch eine *mechanisch betätigte Schlauch-Klemmung* ersetzt, die das *selektive Sprühen* ermöglicht. Dies reduziert die Kosten der zugehörigen optionalen Komponenten deutlich.

Auf die Verwendung mechatronischer Wirkprinzipien oder alternativer Funktionsstrukturen wird verzichtet, um einen mittleren Neuheitsgrad und Entwicklungsaufwand nicht zu überschreiten. Der Verzicht auf eine Änderung der Funktionsstruktur vermeidet ebenfalls die unerwünschte Überdimensionierung des ersten Konzepts.

Das VAM des zweiten Konzepts zeigt hinsichtlich der Kriterien der *Differenzierung* und *Reduzierung* eine Verbesserung, die mit dem ersten Konzept vergleichbar ist. Die Anzahl der varianten Komponenten wird auf zwölf und die Anzahl der varianten A-Teile auf eins reduziert. In Bezug auf das Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* erreicht das zweite Konzept eine deutlich geringere Verbesserung. So werden zehn der zwölf varianten Komponenten von mehreren Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst. Dies ist im VAM in Bild 6-13 anhand der Vielzahl der rot umrandeten Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten zu erkennen.

Vorstellung des dritten variantengerechten Konzepts

Ziel der beiden folgenden Konzepte ist es, alle Freiheitsgrade einer Neukonstruktion zu nutzen, um die Potenziale einer variantengerechten Produktgestaltung der MANKAR-Roll-Familie aufzuzeigen. Beim dritten Konzept wird unerwünschte Überdimensionierung vermieden und beim vierten eine bestmögliche Eins-zu-eins-Zuordnung angestrebt.

Die Funktionsstruktur des dritten Konzepts wird entsprechend des *Pumpe-Düse-Ansatzes* umgestaltet, um die Variantenbildung entlang des Herbizidumsatzes aufzuschieben.

Das Wirkprinzip der *Dosierpumpe* und ihres rein mechanischen Antriebs wird durch eine *elektrische Pumpe mit [elektronischer] Regelung*, also durch ein mechatronisches Wirkprinzip ersetzt, das die Bildung dezentraler *Pumpe-Düse-Einheiten* unterstützt.

Auf Ebene der Komponenten wird eine abgewandelte Form des *mittig geteilten Schirmsystems* mit *optionalen Drehfederelementen* genutzt. Die unerwünschte Überdimensionierung wird vermieden, indem entweder ein Schirmelement mittig oder zwei nebeneinander verbaut werden. Dadurch werden abhängig von der *Sprühbreite* und *Anzahl der Sprühbahnen* ein oder zwei *Pumpe-Düse-Einheiten* benötigt. Die Verlagerung der Einstellung der Breite des Sprühsektors aus der Düse in den Schirm reduziert zusätzlich die Vielfalt der Pumpe-Düse-Einheit.

Im VAM (siehe Bild 6-14) ist zu erkennen, dass das dritte Konzept die bisher größte Verbesserung hinsichtlich der Kriterien *Differenzierung* und *Reduzierung* erzielt. Hier sind nur elf variante Komponenten zur Erzeugung der Vielfalt erforderlich. Dem Ideal der *Eins-zu-eins-Zuordnung* wird die Produktfamilie dagegen nur wenig angenähert.

Vorstellung des vierten variantengerechten Konzepts

Zielsetzung des vierten Konzepts ist es, ohne jede Restriktion die Potenziale einer variantengerechten Gestaltung der MANKAR-Roll-Familie aufzuzeigen.

Auf Ebene der Wirkprinzipien werden alle Lösungen des dritten Konzepts aufgegriffen. Auf Ebene der Funktionen wird das Prinzip *immer zwei Düsen* aufgegriffen und nicht der Ansatz *Pumpe-Düse-Einheit* verwendet. Dabei wird die *elektrische Pumpe mit [elektronischer] Regelung* zentral verbaut und weist immer zwei separate Volumenströme auf.

Die Einstellung der Breite des Sprühsektors wird auch in diesem Konzept aus den Düsen abgetrennt und als fixe Geometrie in die Varianten der Schirmelemente integriert. Damit beeinflusst das Unterscheidungsmerkmal *Sprühbreite* ausschließlich die Komponente *Schirmelement*.

Im VAM dieses Konzepts (siehe Bild 6-15) ist anhand der Komponentenkarten zu erkennen, dass nahezu alle varianten Komponenten geringe anteilige Kosten und geringe Kopplungen aufweisen und einem Unterscheidungsmerkmal direkt zugeordnet sind. Es sind nur neun variante Komponenten verblieben und keine dieser Komponenten ist ein A-Teil. In drei Fällen wird eine ideale *Eins-zu-eins-Zuordnung* zwischen Unterscheidungsmerkmal und Komponente erreicht. Demnach weist das Konzept die größte Verbesserung hinsichtlich der Kriterien *Differenzierung*, *Reduzierung* und *Eins-zu-eins-Zuordnung* auf.

6.2.7 Variantenorientierte Bewertung der MANKAR-Roll-Konzepte

Wie in Kapitel 5.5 erfolgt die Bewertung variantengerechter Konzepte in zwei Schritten, dem Objektiv- und dem Subjektivschritt. Im Objektivschritt werden den Bewertungskriterien Eigenschaftsgrößen zugeordnet. Dieser Schritt wird nachfolgend für die Kriterien der Variantengerechtigkeit beschrieben. Die Ermittlung von Eigenschaftsgrößen für die Variantengerechtigkeit erfolgt mithilfe der Tabelle 9, die auf den VAM der vier Konzepte basiert.

Anhand der Tabelle ist zu erkennen, dass alle Konzepte hinsichtlich der Kriterien *Differenzierung* und *Reduzierung* eine deutliche Verbesserung herbeiführen. Die größte Verbesserung hinsichtlich dieser Kriterien erzielt das vierte Konzept. In Bezug auf das Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* erreichen das vierte und das erste Konzept die größte Verbesserung. Das zweite und dritte Konzept erzielen nur eine vergleichsweise geringe Verbesserung. Dem Ideal der *Entkopplung* wird die Produktfamilie durch jedes Konzept stark angenähert, es treten nur geringe Unterschiede zwischen den Konzepten auf.

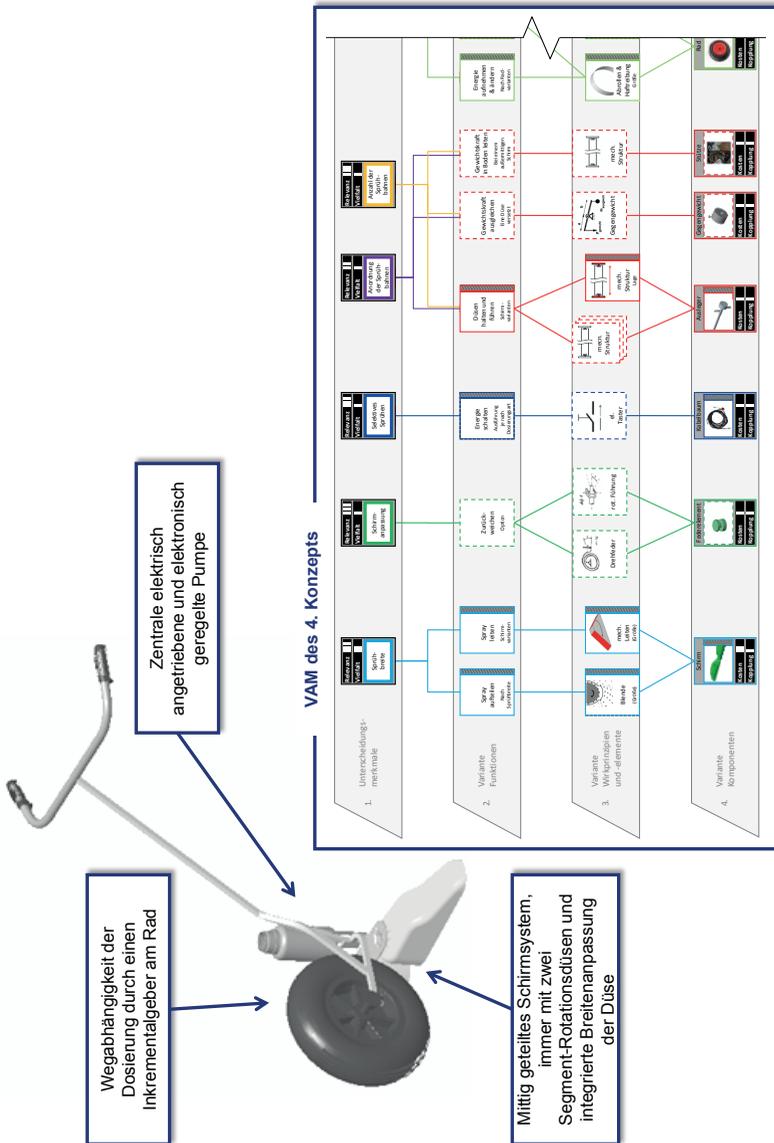


Bild 6-15: Viertes variantengerechtes Konzept der MANKAR-Roll-Familie

Das Ergebnis des Objektivschritts zeigt, dass das vierte Konzept die größte Annäherung an das Idealbild variantengerechter Produktfamilien bewirkt. Darüber hinaus wird anhand Tabelle 9 deutlich, dass das erste Konzept trotz des geringen Realisierungsaufwands bereits eine erheblich verbesserte Variantengerechtigkeit bewirkt.

Tabelle 9: Eigenschaftsgrößen für die Variantengerechtigkeit der MANKAR-Roll-Konzepte

	Bestehende Produktfamilie	1. Konzept		2. Konzept		3. Konzept		4. Konzept	
		Absolut	Relativ	Absolut	Relativ	Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
Differenzierung und Reduzierung									
Anzahl der varianten Komponenten mit hohen anteiligen Kosten	$N_{\text{Var A}}$	1	-83 %	1	-83 %	1	-83 %	0	-100 %
Anzahl der varianten Komponenten mit mittleren anteiligen Kosten	$N_{\text{Var B}}$	4	+100 %	4	+100 %	3	+50 %	3	+50 %
Anzahl aller varianten Komponenten	$N_{\text{Var Ges}}$	12	-20 %	12	-20 %	11	-27 %	9	-40 %
Eins-zu-eins-Zuordnung									
Durchschnittliche Anzahl der zusätzlichen Komponenten, welche aufgrund eines Unterscheidungsmerkmals variant sind.	K_{Unt}	0	-100 %	2,8	-43 %	2,2	-56 %	0	-100 %
Durchschnittliche Anzahl der zusätzlichen Unterscheidungsmerkmale, welche die Varianz einer Komponente verursachen.	K_{Komp}	0,2	-86 %	0,9	-35 %	1,9	+36 %	0,2	-86 %
Entkopplung									
Anzahl der varianten Komponenten mit starken Kopplungen	$N_{\text{Kop A}}$	0	-100 %	0	-100 %	0	-100 %	0	-100 %
Anzahl der varianten Komponenten mit mittleren Kopplungen	$N_{\text{Kop B}}$	3	-25 %	2	-50 %	3	-25 %	2	-50 %

Die eigentliche Bewertung der Konzepte unter Berücksichtigung von technischen und wirtschaftlichen Kriterien sowie der Variantengerechtigkeit erfolgt im Subjektivschritt. Dazu wird ein Bewertungssystem nach VDI 2225 entwickelt. Im Fall der MANKAR-Roll-Produktfamilie besteht dieses Bewertungssystem aus folgenden Kriterienfeldern, die jeweils mithilfe einzelner Kriterien weiter detailliert sind:

- Erfüllung der technischen Anforderungen (Qualitätsmerkmale)
- Konzept-Entwicklung (Aufwand und Risiko)
- Produktion und Herstellkosten
- Variantengerechtigkeit

Diese Bereiche und die enthaltenen Kriterien sind gegeneinander gewichtet, um die Erfüllungsgrade der Konzepte bestimmen zu können. Des Weiteren ist zu erkennen, dass einerseits die Variantengerechtigkeit des vierten Konzepts sehr positiv bewertet wird. Andererseits erhält das erste Konzept in allen anderen Bereichen die beste Wertung, was auf die Verwendung von vielen bestehenden Komponenten und Wirkprinzipien zurückzuführen ist.

Tabelle 10 fasst das Ergebnis der Gewichtung und der Bewertung zusammen. Wie ihr zu entnehmen ist, geht die Variantengerechtigkeit mit 25 % in die Bewertung der Konzepte ein. Des Weiteren ist zu erkennen, dass einerseits die Variantengerechtigkeit des vierten Konzepts sehr positiv bewertet wird. Andererseits erhält das erste Konzept in allen anderen Bereichen die beste Wertung, was auf die Verwendung von vielen bestehenden Komponenten und Wirkprinzipien zurückzuführen ist.

Tabelle 10: Zusammenfassung des Ergebnisses der Bewertung der Konzepte

Kriterienbereich	Gewichtung	Ø Erfüllungsgrad im Kriterienbereich*			
		Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4
Erfüllung der technischen Anforderungen	40 %	2,5	2,1	2,4	2,2
Konzept-Entwicklung (Aufwand und Risiko)	10 %	3,7	2,0	1,0	1,0
Produktion & Herstellkosten	25 %	3,0	2,9	2,1	2,4
Variantengerechtigkeit	25 %	2,0	1,2	2,0	3,0
Durchschnittlicher Gesamterfüllungsgrad*		2,6	2,1	2,1	2,3

*) Wertungsbereich der Erfüllungsgrade von 0 (untragbar) bis 4 (ausgezeichnet)

Aufgrund der insgesamt besten Bewertung und der zweitbesten Bewertung der Variantengerechtigkeit wird das erste Konzept gewählt und als Basis für die Entwicklung einer

neuen MANKAR-Roll-Generation genutzt. Es wird als Ergebnis der Fallstudie im Folgenden beschrieben.

6.2.8 Ergebnis der variantengerechten Produktgestaltung

Resultat der variantengerechten Produktgestaltung ist das in Bild 6-16 dargestellte modulare MANKAR-Roll-Konzept, auf dessen Basis jede bisher vertriebene Produktvariante abgebildet werden kann. Dieses modulare Konzept wird im Folgenden anhand der im ersten Schritt definierten Projektziele diskutiert.

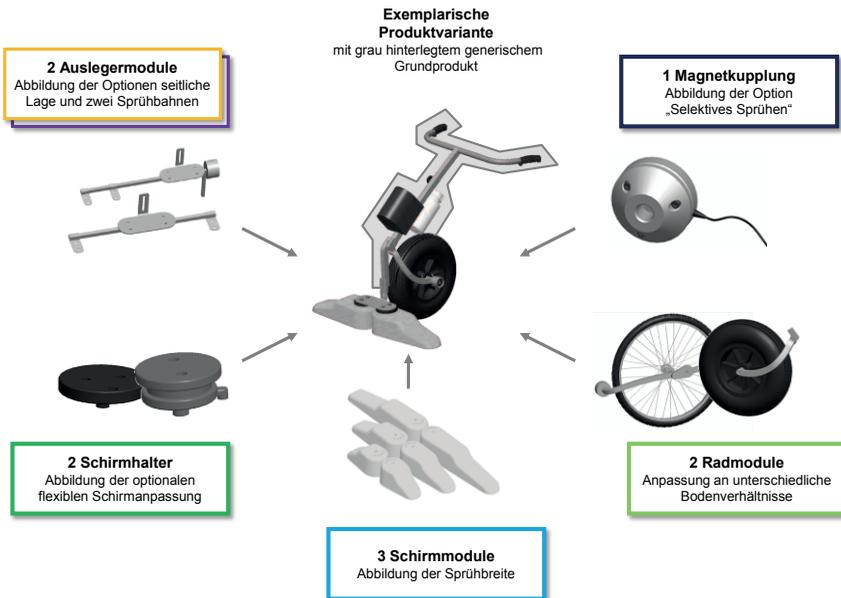


Bild 6-16: Gewähltes variantengerechtes Konzept [vgl. Ble10b]

Zentrales Ziel des Projekts AUXESIA ist es, Skaleneffekte in der Produktion zu erzielen und dadurch die Herstellkosten der MANKAR-Roll-Geräte zu senken. Um zu überprüfen, ob dieses Ziel erreicht ist, werden die Herstellkosten einer Referenzvariante mit dem bestehenden Produkt verglichen und analysiert, inwieweit Skaleneffekte vorliegen.

Als Referenzvariante dient das bestehende MANKAR-Roll P50, das mit der entsprechenden Konfiguration des neuen Konzepts verglichen wird. Diese Variante dient aus zwei Gründen als Referenz. Zum einen, weil sie die höchsten Stückzahlen erzielt, zum anderen, weil das bestehende Gerät nur eine Düse aufweist und die Variante deshalb von der funktionalen Überdimensionierung besonders betroffen ist. Die Kalkulation

ergibt jedoch bereits ohne Berücksichtigung von Skaleneffekten leicht reduzierte Herstellkosten. Wenn die angestrebten Skaleneffekte erzielt werden, ist eine deutliche Kostensenkung zu erwarten.

Die Analyse der internen Vielfalt des variantengerechten Konzepts zeigt, dass bei gleicher Dekomposition nur 28 unterschiedliche Komponenten nötig sind, um die gesamte Produktfamilie abzubilden (siehe Bild 6-17). Das bestehende Konzept erfordert 46 unterschiedliche Komponenten. Im Fall der Referenzvariante MANKAR-Roll P50 wird der Wert des varianten Anteils von bisher 85 % auf 31 % gesenkt. Es werden also 54 % des Wertes aus dem varianten in den Standardanteil verlagert.

Die beschriebene Kostensituation der Referenzvariante und der erheblich vergrößerte Standardanteil der Produktfamilie lassen eine deutliche Reduzierung der Herstellkosten unter Betrachtung der Skalen- und Lernkurveneffekte erwarten. Das zentrale Ziel der variantengerechten Produktgestaltung im Projekt AUXESIA, die Herstellkosten der MANKAR-Roll-Geräte zu senken, wird somit erreicht.

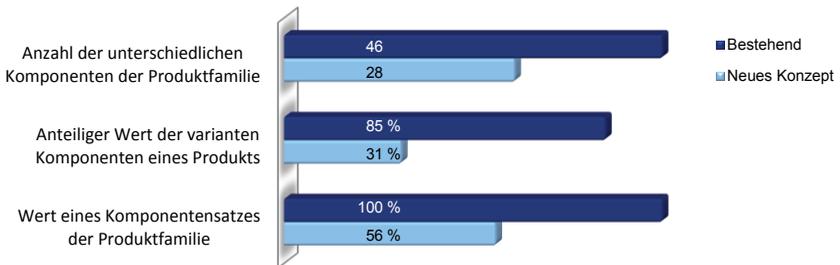


Bild 6-17: Kenngrößen zur Bewertung des finalen variantengerechten Konzepts

Darüber hinaus resultieren aus dem modularen Konzept Einsparungspotenziale im Bereich After-Sales, da es den Wert eines vollständigen Komponentensatzes der Produktfamilie um 44 % senkt. Die Teile zu bevorraten, verursacht deshalb eine wesentlich geringere Kapitalbindung.

Weitere Potenziale ergeben sich, wenn die Wertschöpfungskette an das modulare Konzept angepasst wird. Aufgrund der verbesserten *Eins-zu-eins-Zuordnung* können die verbliebenen 28 Komponenten zu elf Modulen zusammengefasst werden, die auftragsneutral montiert werden können. Durch Konfiguration dieser elf Module kann jede bisher bestehende MANKAR-Roll-Variante abgebildet werden. Die Komplexität der Konfiguration (siehe Bild 6-16) und der verbleibende Aufwand zur Endmontage sind gering, sodass ein Aufschieben der Variantenbildung zu den Vertriebspartnern möglich wird. Die Folge sind größere Chargen in Produktion und Logistik und der Entfall einzelner Montageschritte, wodurch weitere Einsparungen erzielt werden können. In

einzelnen Märkten fallen zusätzlich geringere Zölle an, wenn nur Module und nicht fertig montierte Geräte eingeführt werden.

Den Vertriebspartnern eröffnet diese Postponement-Strategie aufgrund der günstigen Variantenkomponenten die Möglichkeit, die gesamte Produktvielfalt mit sehr geringer Kapitalbindung anzubieten. Zusätzlich sinkt die Prognoseunsicherheit im Einkauf der Vertriebspartner, da nur der Gesamtbedarf an Modulen, nicht aber der Bedarf an einzelnen Varianten abzuschätzen ist.

Den Kunden bieten die modulare Produktfamilie und die resultierende Konfiguration beim Vertriebspartner die Möglichkeit, dass auch selten gefragte Varianten vor Ort beim Vertriebspartner ohne lange Lieferzeiten bereitgestellt werden können. Zusätzlich schafft die Kosteneinsparung in der Wertschöpfungskette neue Spielräume in der Preisgestaltung, von denen die Kunden profitieren können. Die nächste Generation der MANKAR-Roll-Familie soll dadurch höhere Marktanteile erzielen und kostensensitive Märkte erschließen.

Das finale Konzept erreicht demnach bei geringem Entwicklungsaufwand alle wesentlichen Projektziele. Deshalb basiert die Entwicklung der neuen Generation der MANKAR-Roll-Familie auf diesem Konzept.

6.3 Auswertung der Fallstudie

Wissenschaftliches Ziel der Fallstudie zur *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* ist die Validierung der Methode. Nachfolgend wird deshalb die Gültigkeit der Prüfungshypothesen untersucht (siehe Kapitel 6.1.3 und 6.1.4).

Hypothese 1: Anwendung der variantengerechten Produktgestaltung

Anhand der ersten Prüfungshypothese wird bewertet, ob die Ergebnisse *ausschließlich* durch die *durchgängige* und *sinngemäße* Anwendung der Methode entstanden sind.

Das Vorgehen in der Fallstudie folgt in nahezu allen Schritten der *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* und führt in diesen Schritten alle vorgesehenen Aktivitäten durch. Die einzige Ausnahme bildet der zweite Schritt, das heißt die *Auswahl des zu betrachtenden Systems*, auf die verzichtet wurde. Diese Ausnahme ist begründet und stellt damit nicht die durchgängige Anwendung der Methode in Frage. Zudem sind alle vorgesehenen Analysen und Modelle vorhanden. Die Anwendung der Methode kann somit als *durchgängig* betrachtet werden (siehe Auswertung in Anhang B.1).

Des Weiteren zeigt der Studienfall eine *sinngemäße* Anwendung der Methode. Alle Konzepte sind *ausschließlich* Ergebnis der Anwendung dieser Methode und nicht das Resultat anderer Aktivitäten.

Demnach ist das gewählte Konzept der MANKAR-Roll-Familie ausschließlich durch eine sinngemäße und durchgängige Anwendung der Methode entstanden.

Hypothese 2: Minimierte interne Vielfalt ohne beschränkte externe Vielfalt

Die unbeschränkte externe Vielfalt kann einerseits objektiv anhand der bereitgestellten Merkmalskombinationen belegt werden, andererseits zeigt das Ergebnis einer Befragung, dass auch die subjektiv wahrgenommene Vielfalt vollständig erhalten ist (siehe Protokoll in Anhang B.2).

Entsprechend der vorhergehenden Diskussion reduziert das gewählte Konzept der MANKAR-Roll-Familie die interne Vielfalt deutlich (siehe Kapitel 6.2.8). So wird die Anzahl unterschiedlicher Komponenten innerhalb der Produktfamilie bei gleicher Dekomposition von 46 auf 28, das heißt um 39 % reduziert.

Dementsprechend reduziert das gewählte Konzept deutlich die interne Vielfalt der MANKAR-Roll-Familie, ohne die externe Vielfalt zu beschränken. Darüber hinaus kann die Vielfalt auf Basis des modularen Systems sogar gesteigert werden, ohne dass zusätzlicher Aufwand entsteht.

Hypothese 3: Annäherung an das Idealbild variantengerechter Produktfamilien

Die Gültigkeit dieser Prüfungshypothese wird mithilfe eines Satzes von Kennzahlen für die Kriterien des postulierten Idealbilds bewertet. Um eine objektive Bewertung sicherzustellen, sind diese Kennzahlen nicht Teil der Methode und sie greifen nicht auf das VAM zurück (siehe Anhang B.3).

Entsprechend dieser Kennzahlen erreicht das Konzept hinsichtlich der Kriterien des Idealbilds einen durchschnittlichen Erfüllungsgrad von 86%, während der Ausgangszustand einen Erfüllungsgrad von 65% erreicht. Hinsichtlich des Kriteriums *Eins-zu-eins-Zuordnung* wird die größte Annäherung von 52% auf 93% Erfüllungsgrad erzielt.

Die Hypothese, dass das Konzept der MANKAR-Roll-Familie dem postulierten Idealbild signifikant angenähert ist, ist somit gültig.

Hypothese 4: Unterstützung aller Schritte des Entwicklungsprozesses

Zur Überprüfung der vierten Hypothese werden die gefundenen Handlungsschwerpunkte, die formulierten Aufgaben und die gefundenen Teillösungen den Schritten des Konstruktionsprozesses nach VDI 2221 zugeordnet (siehe Anhang B.4).

Die Analyse ergibt, dass für den Studienfall keine Aktivitäten hinsichtlich der Phase des Planens und Klärens der Entwicklungsaufgabe dokumentiert sind. Demgegenüber sind in den Phasen zwei bis vier gleichmäßig verteilt Aktivitäten nachzuweisen.

Die Gültigkeit der Hypothese, dass die Methode der variantengerechten Produktgestaltung alle Phasen des Entwicklungsprozesses unterstützt, ist anhand der Fallstudie nicht in vollem Umfang zu belegen. Die Fallstudie zeigt aber, dass eine variantengerechte Gestaltung der Funktionsstrukturen, Wirkprinzipien und Komponenten unterstützt wird.

Die Analyse des gewählten Konzepts zeigt zudem, dass die Lösung erst durch die Kombination einer Änderung der Funktionsstruktur mit neuen Wirkprinzipien und umgestalteten Komponenten möglich wird.

Die Fallstudie zeigt somit die Nutzbarkeit der Methode und unterstützt ihre grundlegenden Thesen. Des Weiteren wird belegt, dass *die Methode der variantengerechten Produktgestaltung* im betrachteten Studienfall die ursprünglich beabsichtigte Unterstützung bereitgestellt hat.

Separat genutzt wird die Methode damit ihrer Zielsetzung gerecht. Im Folgenden wird zusätzlich geprüft, ob die Methode auch innerhalb des *integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien* die erwünschten Ergebnisse erzielt.

7 Integration in den PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien

Wie in Kapitel 1 beschrieben, soll die entwickelte Methode ein Element des *integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien* bilden. Als weiteres Element der Methodik ist in einer weiteren Dissertation die *Produktlebensphasen-Modularisierung* [Ble11] entstanden. Im Folgenden wird das Potenzial einer integrierten Anwendung dieser Methodenbausteine untersucht.

Dazu werden erst die grundlegenden Elemente der *Produktlebensphasen-Modularisierung* erläutert, bevor ein Konzept zu einer integrierten Verwendung abgeleitet wird. Um eine Bewertung dieses Konzepts zu ermöglichen, wird es anhand eines durchgängigen Beispiels aus der Praxis vorgestellt.

7.1 Vorstellung der Produktlebensphasen-Modularisierung

Ziel der *Produktlebensphasen-Modularisierung* ist die Entwicklung eines abgestimmten Systems modularer Produktstrukturen, welche separat für die verschiedenen Produktlebensphasen erarbeitet werden. Diese phasenspezifischen Modularisierungen bleiben im finalen Konzept parallel bestehen. Sie werden aufeinander abgestimmt, sodass keine Konflikte zwischen den unterschiedlichen Modularisierungen bestehen bleiben. Dadurch können die spezifischen Anforderungen der Produktlebensphasen besser erfüllt werden, als dies mit einer gemeinsamen Modularisierung möglich wäre [Ble09]. Das Vorgehen der *Produktlebensphasen-Modularisierung* besteht aus den folgenden Schritten:

- Entwicklung einer technisch-funktionalen Modularisierung
- Entwicklung von produktstrategischen Modularisierungen
- Zusammenführung der Modularisierungen
- Ableitung der modularen Produktstruktur

Die technisch-funktionale Modularisierung spiegelt die Sicht der Phase Produktentwicklung wider und bildet die Basis der Modularisierung. Hier werden technisch-funktional entkoppelte Module gebildet, um die Komplexität der Entwicklungsaufgabe zu reduzieren und eine parallele Entwicklung zu ermöglichen.

Zur Erarbeitung dieser Modularisierung werden die drei Heuristiken *Dominanter Fluss*, *Verzweigender Fluss* sowie *Umwandlung und Übertragung* nach STONE genutzt [Sto97]. Als Basis zur Anwendung der Heuristiken dient der Module Interface Graph (MIG) und nicht eine Funktionsstruktur. Da der MIG die ungefähre Größe, Lage und Form der Komponenten visualisiert, unterstützt dies die Beachtung räumlicher Randbedingungen in der Modularisierung [Ble08a].

Im zweiten Schritt werden Modularisierungen für die folgenden Produktlebensphasen entwickelt. Dazu werden die phasenspezifischen Modultreiber genutzt, die in Bild 7-1 zusammengefasst sind.

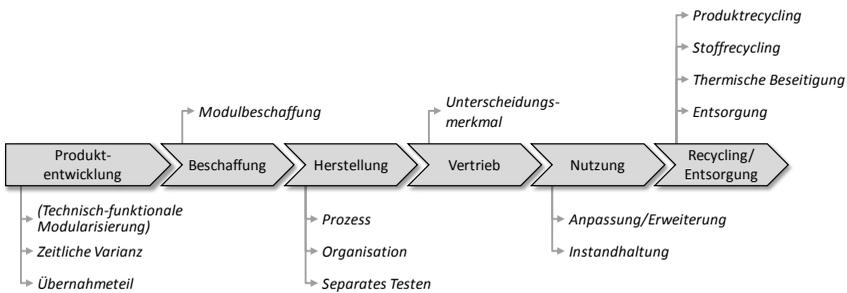


Bild 7-1: Modultreiber der Produktlebensphasen [Ble10a]

Zur Entwicklung von Modulen werden diese Modultreiber durch produktspezifische Ausprägungen konkretisiert und mithilfe eines Netzplans den Komponenten des Produkts gegenübergestellt (siehe Bild 7-2). Im Bild wird beispielsweise der Modultreiber Unterscheidungsmerkmal durch die verschiedenen Unterscheidungsmerkmale der Produktfamilie konkretisiert. Beziehungen zwischen diesen *Modultreiber ausprägungen* und den *Komponenten* werden im Netzplan durch Verbindungslinien dargestellt. Anschließend werden Module gebildet, indem Komponenten zusammengefasst werden, die Beziehungen zu den gleichen Modultreiber ausprägungen aufweisen. Im dargestellten Netzplan ist das Unterscheidungsmerkmal *Geländegängigkeit* eine Modultreiber ausprägung. Anhand des Netzplans wird ein Modul aus *Radrahmen*, *Achse*, *Welle*, *Pumpengetriebe* und *Laufgrad* gebildet, das eine Anpassung an das Unterscheidungsmerkmal *Geländegängigkeit* erlaubt.

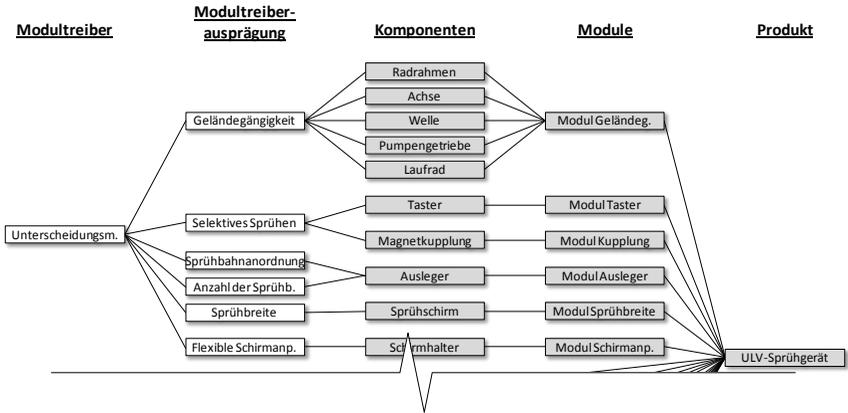


Bild 7-2: Modularisierungs-Netzplan der Vertriebsphase am Beispiel der MANKAR-Roll-Familie [Ble10a]

Im Anschluss an die Entwicklung der phasenspezifischen Modularisierungen werden diese im sogenannten *Module Process Chart (MPC)* zusammengefasst (siehe Bild 7-3) [Ble10a]. Wie im Bild gekennzeichnet, werden Module im MPC als zusammenhängende Form dargestellt und separate Komponenten als Punkte dargestellt.

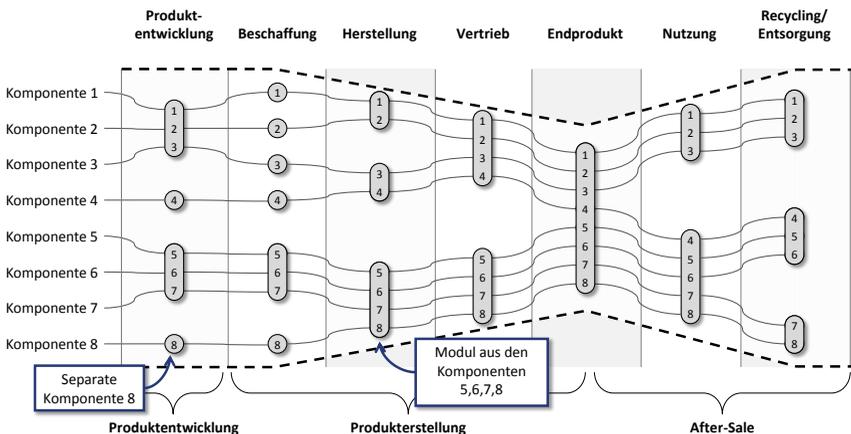


Bild 7-3: Module Process Chart (MPC) am Beispiel eines Sprühgeräts nach [Ble10a]

In den Lebensphasen des Produkts ist von der Beschaffung bis zum Endprodukt eine zunehmende Integration und anschließend wieder eine zunehmende Dekomposition der Komponenten anzustreben. Im MPC wird einerseits visualisiert, ob dieses Ziel erreicht ist und andererseits, ob Konflikte zwischen den Modularisierungen der

Lebensphasen bestehen. Dies fördert eine frühzeitige Abstimmung zwischen den Sichten der Produktlebensphasen. Dadurch entsteht als Ergebnis der Methode ein abgestimmtes System phasenspezifischer Modularisierungen.

Im Folgenden wird ein Konzept zur integrierten Anwendung der *Produktlebensphasen-Modularisierung* und der *variantengerechten Produktgestaltung* vorgestellt. Dieses wird durch eine kurze Analyse der Methoden hergeleitet und anhand eines durchgängigen Beispiels aus der Praxis erklärt.

7.2 Konzept zur Integration der Methoden

Die Methode der *variantengerechten Produktgestaltung* unterstützt die Entwicklung von Konzepten mit einer minimierten internen Vielfalt und einer unveränderten externen Vielfalt. Resultierende Konzepte weisen somit Funktionsstrukturen, Wirkprinzipien und Komponenten auf, die gemeinsam mit der resultierenden Produktstruktur die interne Vielfalt minimieren. Andere Aspekte des Produktlebenszyklus, beispielsweise aus Einkauf oder Fertigung, werden in dieser Methode nicht beachtet.

Mithilfe der *Produktlebensphasen-Modularisierung* werden dagegen Produktstrukturen entwickelt, die auf einer umfassenden Betrachtung der Produktlebensphasen basieren. Diese Methode unterstützt keine Umgestaltung der Funktionsstrukturen, Wirkprinzipien und Komponenten zur Minimierung der internen Vielfalt. Dies begrenzt den Einfluss auf die interne Vielfalt einer Produktfamilie. Eine minimierte interne Vielfalt ist jedoch eine Grundvoraussetzung für eine effektive Modularisierung, denn sie ermöglicht eine optimale Abstimmung auf die vielfältigen Anforderungen der Produktlebensphasen. Somit kann eine Reduzierung der internen Vielfalt mithilfe der *variantengerechten Produktgestaltung* eine optimale Basis für eine *Produktlebensphasen-Modularisierung* schaffen [Ble10b].

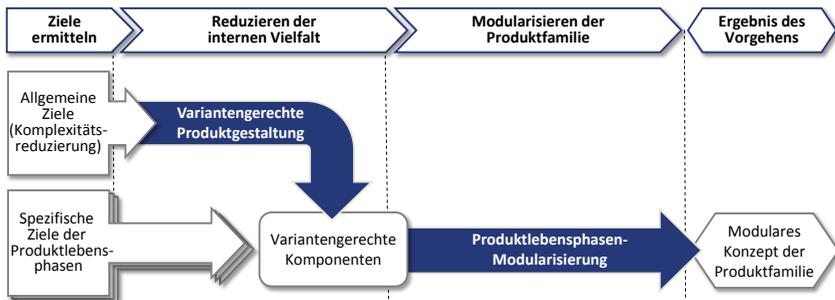


Bild 7-4: Ansatz zur Integration der variantengerechten Produktgestaltung und Produktlebensphasen-Modularisierung [Kip10]

Die Modularisierung stimmt hierbei ein bestehendes variantengerechtes Konzept auf die Anforderungen aller Produktlebensphasen ab. Um Synergien zu nutzen und nicht beide Methoden sequentiell anzuwenden, werden sie, wie in Bild 7-4 dargestellt, zu einem gemeinsamen Ansatz integriert. Der integrierte Ansatz fasst die Aufnahme der Ziele und des Ist-Zustands zusammen, was den Aufwand der Methodenanwendung reduziert.

Die integrierte Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien kann, wie in Bild 7-4 dargestellt, in drei Schritte gegliedert werden:

- Ermitteln der Ziele und Aufnahme des Ist-Zustands
- Reduzieren der internen Vielfalt (Variantengerechte Produktgestaltung)
- Modularisieren der Produktfamilie (Produktlebensphasen-Modularisierung)

Dieser Ansatz bildet die Basis des *integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien*. Im Folgenden wird seine Anwendung detailliert anhand eines Anwendungsfalls aus der Praxis vorgestellt.

7.3 Anwendung des integrierten Ansatzes

7.3.1 Vorstellung des Anwendungsfalls

Als Anwendungsfall dient eine in einem Industrieprojekt bearbeitete und hier abgewandelt dargestellte Produktfamilie von Tauchpumpen mit interner Energieversorgung. Je nach Variante können diese Pumpen zum Abpumpen verunreinigter oder leicht entflammbarer bzw. explosiver Fluide genutzt werden. Aufgrund der vielfältigen Anforderungen der unterschiedlichen Anwendungen weist die Produktfamilie eine große externe Vielfalt auf.

In der Neuentwicklung wird eine einfach konfigurierbare modulare Produktfamilie mit geringer interner Vielfalt angestrebt. Die Produktfamilie soll darüber hinaus in allen Lebensphasen die Potenziale modularer Produktstrukturen nutzen.

Der Anwendungsfall wurde in Zusammenarbeit mit BLEES bearbeitet und wird hier zur Vorstellung des integrierten Ansatzes genutzt. Eine detaillierte Vorstellung dieser Fallstudie ist in der Dissertation von Blees zu finden [Ble11].

7.3.2 Gemeinsame Definition der Ziele und Aufnahme des Ist-Zustands

In diesem Schritt werden zuerst die Ziele für die Entwicklung der Produktfamilie der Tauchpumpen definiert. Dabei festgelegte Ziele sind beispielsweise die *individuelle Kombinierbarkeit der Komponenten* und die *Anwendung einer Postponement-Strategie*.

An dem erarbeiteten Zielsystem orientiert sich die gesamte Entwicklung der modularen Produktfamilie.

Nach der Erarbeitung der Ziele wird in diesem Schritt die externe Vielfalt erfasst. Als Basis dienen hierbei eine bestehende Produktfamilie und eine umfassende Analyse der Marktbedürfnisse. Daraus wird ein *Merkmalsbaum* der Produktfamilie abgeleitet (siehe Bild 7-5), der den Entscheidungsprozess der Kunden vollständig wiedergibt.

Die gemeinsame Aufnahme des Ist-Zustands wird durch eine Erfassung der internen Vielfalt abgeschlossen. Dazu werden die Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten der Produktfamilie und ihre Vielfalt erfasst. Die Dekomposition wird mithilfe des MIG dokumentiert, der in Bild 7-6 dargestellt ist. Im MIG der Produktfamilie fällt auf, dass im aufgenommenen Ist-Zustand nur einzelne Komponenten wie *Motor* und *Pumpenrad* innerhalb der Produktfamilie standardisiert sind.

Basierend auf den Ergebnissen der Aufnahme des Ist-Zustands wird im folgenden Schritt ein Konzept zur Reduzierung der internen Vielfalt der Produktfamilie erarbeitet.

7.3.3 Reduzieren der internen Vielfalt der Produktfamilie

In diesem Schritt wird die *variantengerechte Produktgestaltung* durchgeführt. Dazu wird basierend auf der Ist-Aufnahme das VAM der Produktfamilie erarbeitet und mit dem Idealbild variantengerechter Produktfamilien verglichen (siehe Bild 7-7).

Im dargestellten Ausschnitt des VAM ist zu erkennen, dass der Ist-Zustand der Produktfamilie der Tauchpumpen dem Kriterium der *Eins-zu-eins-Zuordnung* nicht vollständig gerecht wird. Zum einen hat das Unterscheidungsmerkmal *Explosionsschutz* eine Auswirkung auf eine Vielzahl von Funktionen. Zum anderen wird die Komponente *Akku* von zwei Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst. Aus diesen im VAM identifizierten Handlungsschwerpunkten werden Aufgabenstellungen für die Lösungssuche der variantengerechten Produktgestaltung abgeleitet.

In dieser Lösungssuche ist beispielsweise für die Komponente *Akku* die Lösung entstanden, ein oder zwei gleiche Akkumulatoren anstatt der Varianten für unterschiedliche Betriebsdauern zu verwenden. Dadurch kann die Vielfalt der Akkumulatoren von vier auf zwei gesenkt werden. Des Weiteren ist die Lösung entstanden den Ex-Schutz auf ein Elektronikmodul des Grundgeräts und den Akku zu begrenzen. In allen anderen Bereichen ist eine entsprechende Überdimensionierung ohne signifikante Mehrkosten möglich.

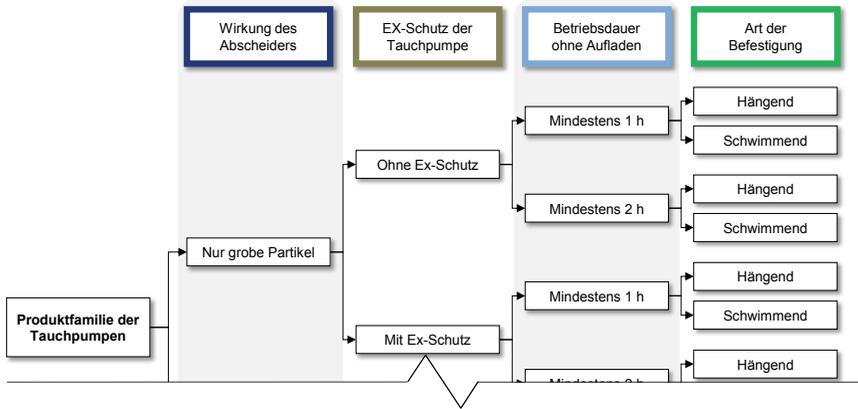


Bild 7-5: Ausschnitt aus dem Merkmalsbaum der Produktfamilie der Tauchpumpen

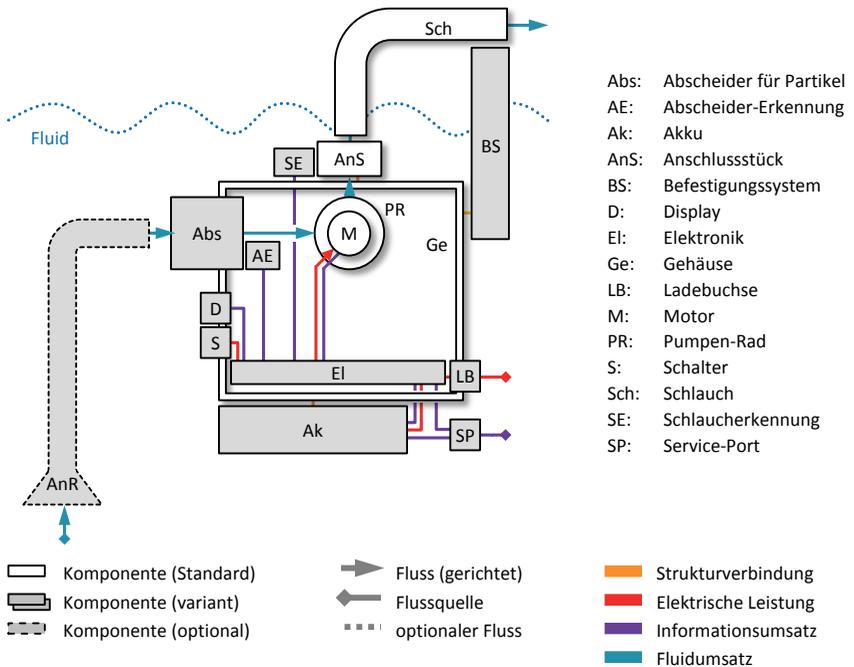


Bild 7-6: Module Interface Graph (MIG) der Familie der Tauchpumpen vgl. [Kip10]

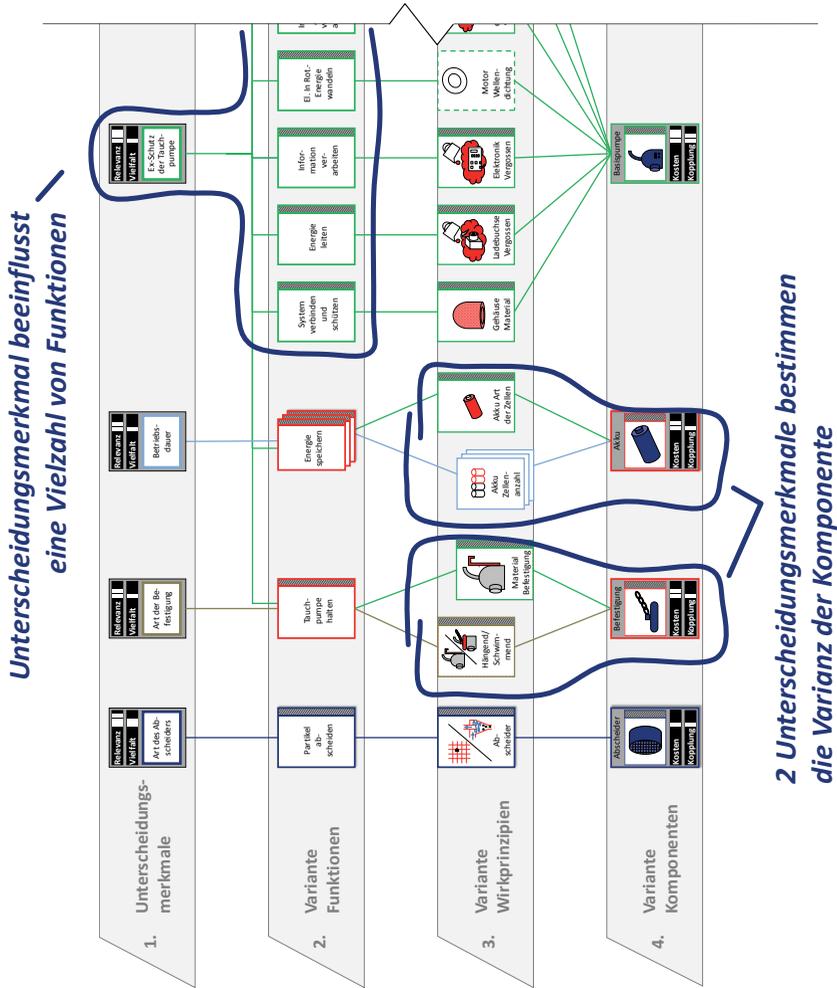


Bild 7-7: Handlungsschwerpunkte im VAM der Familie der Tauchpumpen [vgl. Kip10]

Auf Basis der entstandenen Lösungsideen werden unterschiedliche Konzepte zusammengestellt und jeweils mithilfe eines MIG visualisiert. Von diesen Konzepten wird das nachfolgend als VAM dargestellte mithilfe einer einfachen Punktbewertung ausgewählt.

Kernelement des variantengerechte Konzepts ist ein standardisiertes Basismodul, das einen erheblichen Anteil der Kosten trägt. Die Variantenkomponenten weisen dadurch

maximal mittlere anteilige Kosten auf. Zusätzlich halbieren die oben beschriebenen Maßnahmen die Variantenvielfalt des *Befestigungssystem*s und des *Akkus*.

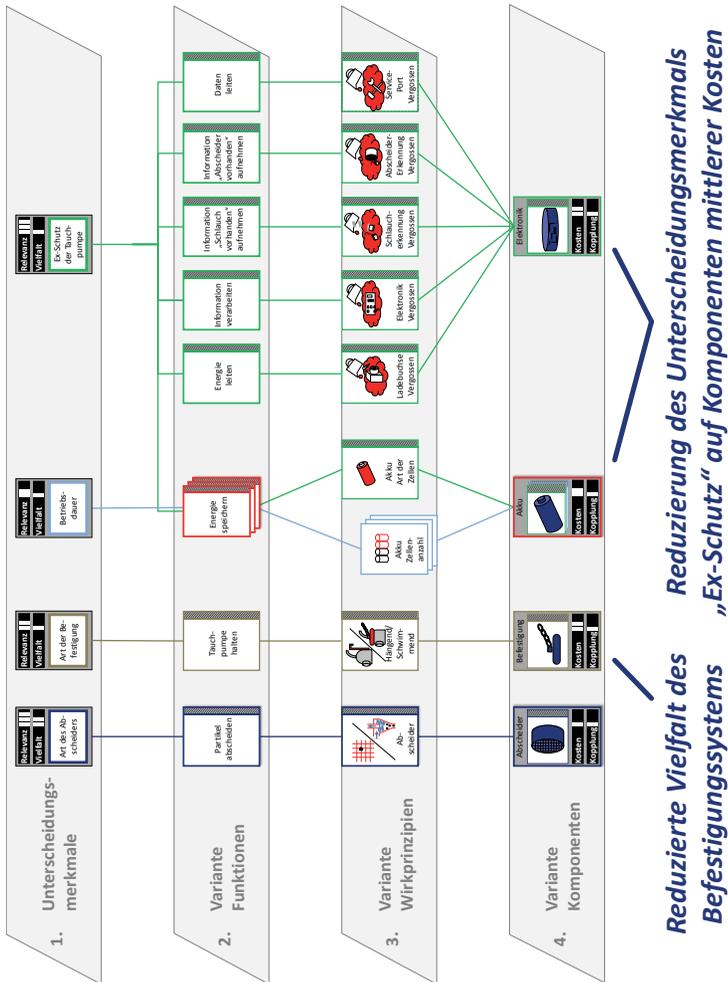


Bild 7-8: VAM des gewählten variantengerechten Konzepts der Familie der Tauchpumpen [Kip10]

Das Konzept dient als Basis für die im Folgenden vorgestellte *Produktlebensphasen-Modularisierung* der Produktfamilie der Tauchpumpen.

7.3.4 Modularisieren der Produktfamilie

Ziel dieses Schritts der integrierten Methode ist es, ein abgestimmtes System modularer Produktstrukturen für das variantengerechte Konzept zu entwickeln, das allen Phasen des Produktlebenszyklus gerecht wird. Dazu wird pro Lebensphase eine spezifische Modularisierung entwickelt [vgl. Ble11].

Als Basis für diese Modularisierungen werden die phasenspezifischen Modultreiber mit Vertretern der jeweiligen Unternehmenssicht konkretisiert. Für die konkreten Modultreiberausprägungen werden die Auswirkungen auf die Komponenten ermittelt. Das Ergebnis wird in phasenspezifischen Netzplänen dokumentiert (siehe Bild 7-9). Basierend auf den Zuordnungen zwischen Modultreiberausprägungen und Komponenten werden phasenspezifische Modularisierungen entwickelt. Diese werden rechts innerhalb der Netzpläne und mithilfe des MIG visualisiert.

In Bild 7-9 ist zu erkennen, dass beispielsweise für die Herstellung der Tauchpumpen der Modultreiber *Separates Testen* durch die Ausprägung *Dichtigkeitsprüfung* spezifiziert wurde. Diese betrifft die Komponenten *Anschlussstück* und *Schlauch*, weshalb beide in der Phase Herstellung zu einem Modul zusammengefasst werden.

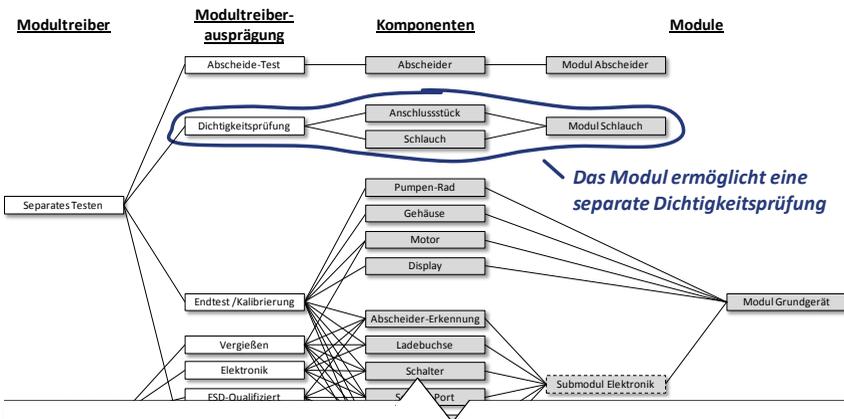


Bild 7-9: Modulbildung für die Herstellungsphase der Tauchpumpen-Familie [Kip10]

Nach Bildung der phasenspezifischen Modularisierungen wird ein abgestimmtes konfliktfreies System entwickelt. Dazu wird das Zusammenwirken der phasenspezifischen Modularisierungen im *Module Process Chart* visualisiert. Diese Darstellung der Modularisierungen in einem Prozessablauf verdeutlicht Konflikte zwischen den spezifischen Modularisierungen [Ble11]. In Bild 7-10 ist der MPC der Produktfamilie der Tauchpumpen dargestellt.

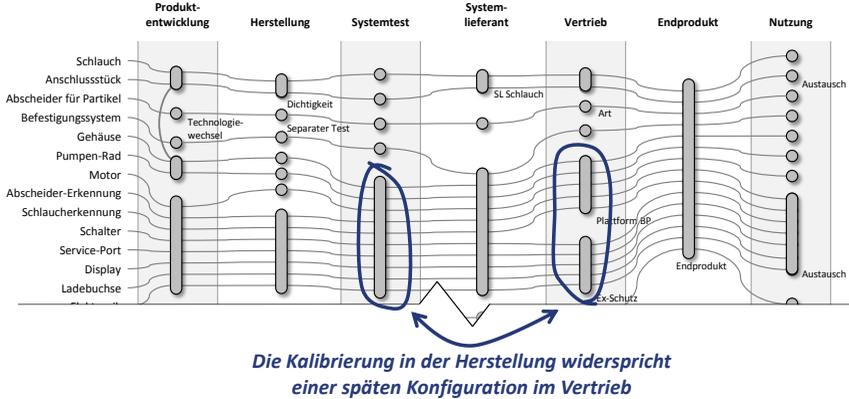


Bild 7-10: Module Process Chart (MPC) der Tauchpumpen-Familie [Kip10]

Hier fällt auf, dass der wesentliche Konflikt zwischen den Modularisierungen der Sichten *Systemtest* und *Vertrieb* besteht. Die Phase *Systemtest* erfordert ein vollständiges Basisgerät, um eine Kalibrierung zu ermöglichen. Die Phase *Vertrieb* benötigt ein separates Elektronikmodul, um eine kundennahe Konfiguration zu ermöglichen. Resultat der folgenden Lösungssuche ist eine innovative Lösung, die den Konflikt so auflöst, dass sowohl eine Kalibrierung, als auch eine kundennahe Konfiguration möglich sind.

Ergebnis des integrierten Vorgehens ist ein modulares Konzept für die Tauchpumpen-Familie, das eine geringe interne Vielfalt aufweist und den Anforderungen aller Lebensphasen gerecht wird. Dieses umfasst mehrere phasenspezifische Modularisierungen, welche im Produktlebenszyklus konfliktfrei koexistieren.

7.3.5 Bewertung des integrierten Ansatzes anhand des Anwendungsfalls

Das resultierende Konzept der Tauchpumpen weist einerseits eine gute Konfigurierbarkeit und eine geringe interne Vielfalt auf. Andererseits umfasst es verschiedene Modularisierungen, die den Phasen des Produktlebenszyklus gut gerecht werden. Die Konflikte zwischen den Lebensphasen konnten mehrheitlich durch neue Lösungen aufgelöst werden. Das Ergebnis wird den definierten Zielen gerecht.

Aus Sicht des Industriepartners sind positive Aspekte des integrierten Vorgehens die *gemeinsame Erarbeitung der Ziele*, die *Erfassung der externen Vielfalt und ihre Visualisierung mithilfe des Merkmalsbaums* sowie die *Konkretisierung des prinzipiellen Aufbaus mithilfe des MIG*. Besonders positiv ist die durchgängige Verwendung des MIG und der spezifischen Visualisierungsmodelle aufgefallen. Hierbei ist die Einschränkung zu beachten, dass einige Modelle hilfreich aber aufwändig zu verstehen sind.

Weiterhin wird die umfassende Betrachtung der unterschiedlichen Produktlebensphasen in der Modularisierung positiv bewertet. Benannte Verbesserungspotenziale bestehen hier in Abstimmung zwischen den Sichten der Modularisierung und der Wertschöpfungskette des Unternehmens.

7.4 Ergebnis der Integration der Methoden

Die Diskussion des resultierenden Konzepts zeigt, dass sich die Methode der *variantengerechten Produktgestaltung* und die Methode *Produktlebensphasen-Modularisierung* in der gemeinsamen Anwendung ideal ergänzen.

Die fokussierte Betrachtung in der *variantengerechten Produktgestaltung* unterstützt die Entwicklung von Funktionsstrukturen, Wirkprinzipien und Komponenten, die die interne Vielfalt signifikant reduzieren. Die umfassende Betrachtung in der *Produktlebensphasen-Modularisierung* stimmt die Produktstruktur des entstandenen Konzepts auf die Anforderungen aller Lebensphasen des Produkts ab.

Die detaillierte Auswertung dieser Fallstudie durch BLEES [vgl. Ble11] zeigt, dass der integrierte Ansatz dieses Ergebnis erzielt und sich als praktikabel erwiesen hat. Hierbei hat sich insbesondere die durchgängige Unterstützung mithilfe des MIG und der spezifischen Visualisierungen bewährt.

Damit zeigt der Anwendungsfall, dass die Methode der *variantengerechten Gestaltung* nicht nur separat zur Reduzierung der internen Vielfalt geeignet ist, sondern einen wichtigen Bestandteil des *integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien* bildet.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Die Vielfalt der Produktvarianten steigt seit Jahren kontinuierlich an. Ursachen dieser Entwicklung sind insbesondere die Megatrends Globalisierung und Individualisierung. So wächst infolge der Globalisierung beispielsweise die Vielfalt der Ländervarianten, während im Zuge der Individualisierung in allen Märkten der Wunsch nach differenzierten Produkten zunimmt. Ein Ende dieser Entwicklung ist derzeit nicht absehbar.

In der Folge steigt die interne Vielfalt innerhalb der Unternehmen ebenfalls kontinuierlich an. Daraus resultieren Kosten, die funktionsübergreifend und zeitverzögert auftreten und durch das Reduzieren der Vielfalt nicht wieder vollständig abzubauen sind.

Die Produktentwicklung steht deshalb vor der Herausforderung, eine Zunahme der internen Vielfalt soweit als möglich präventiv zu vermeiden. Die geforderte externe Vielfalt ist dazu mit einer verhältnismäßig immer geringeren internen Vielfalt bereitzustellen.

Zur Optimierung des Verhältnisses von interner zu externer Vielfalt werden in der Literatur im Wesentlichen modulare Produktstrukturen und Plattformstrategien diskutiert. Hierbei wird versucht, durch Standardisieren und Regruppieren von bestehenden Komponenten sowie durch die Definition standardisierter Schnittstellen die interne Vielfalt zu minimieren. Daraus leitet sich das Ziel der entwickelten Methode der variantengerechten Produktgestaltung ab, alle Schritte des Entwicklungsprozesses in die Minimierung der internen Vielfalt miteinzubeziehen, und dies nicht auf die Gestaltung der Produktstruktur zu beschränken.

Dazu wird das *Idealbild variantengerechter Produktfamilien* vorgestellt, das mit den vier Kriterien *Differenzierung*, *Reduzierung*, *Eins-zu-eins-Zuordnung* und *Entkopplung* das Ziel der variantengerechten Gestaltung vorgibt. Um die betrachtete Produktfamilie diesem Idealbild anzunähern, wird in der Aufnahme der bestehenden Variantenvielfalt das *Variety-Allocation-Model (VAM)* erarbeitet. Dieses Modell visualisiert die Vielfalt

der Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten und ordnet sie den Unterscheidungsmerkmalen zu. Damit schafft das VAM die Möglichkeit Handlungsschwerpunkte auf allen Abstraktionsstufen der Produktentwicklung zu ermitteln. In der folgenden Lösungssuche werden mithilfe vorgeschlagener Maßnahmen Lösungsideen zu den identifizierten Handlungsschwerpunkten entwickelt. Damit unterstützt die Methode eine variantengerechte Gestaltung der Produktfamilie, die die Funktionsstruktur, die Wirkprinzipien, die Konstruktion der Komponenten und die Produktstruktur umfasst.

In der ersten Fallstudie wird die entwickelte Methode am Beispiel einer Produktfamilie von Herbizidsprühgeräten durchgängig in der Praxis angewendet. Als Resultat der Fallstudie ist ein Konzept entstanden, das es mit geringem Aufwand erlaubt, die bestehende angebotene Vielfalt der Herbizidsprühgeräte zu erhalten oder sogar zu erweitern und die interne Vielfalt signifikant zu reduzieren. Die Analyse der entstandenen Lösungsideen zeigt, dass gleichmäßig verteilt auf allen Abstraktionsebenen der Produktentwicklung Lösungsansätze zur variantengerechten Gestaltung entstanden sind. Die erzielte erhebliche Verringerung der internen Vielfalt im gewählten Konzept wird nur durch das Zusammenwirken einer Änderung der Funktionsstruktur, neuer Wirkprinzipien, der Neukonstruktion mehrerer Komponenten und einer neuen Produktstruktur möglich. Die Methode der variantengerechten Produktgestaltung schafft somit Möglichkeiten zur Reduzierung der internen Vielfalt, die deutlich über eine reine Änderung der Produktstruktur hinausgehen.

In einer weiteren Fallstudie am Beispiel einer Produktfamilie von Tauchpumpen wird die *Methode der variantengerechten Produktgestaltung* gemeinsam mit der von BLEES entwickelten *Produktlebensphasen-Modularisierung* angewendet [vgl. Ble11]. Die variantengerechte Produktgestaltung unterstützt hierbei die Reduzierung der internen Vielfalt und verringert damit die Komplexität für die folgende Modularisierung. Dadurch wird es möglich, die modulare Produktstruktur besser auf die Anforderungen aller Lebensphasen abzustimmen. Der betrachtete Studienfall bestätigt dies. Die Methoden bilden deshalb gemeinsam die Basis des *integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien*.

8.2 Ausblick

Weiterer Forschungsbedarf in der Entwicklung eines *integrierten Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien* besteht insbesondere hinsichtlich der Integration der strategischen Produktplanung, denn der bestehende Ansatz geht von einer definierten externen Vielfalt aus. Die optimale externe Vielfalt kann jedoch nur gemeinsam von Produktmanagement, Produktentwicklung und Produktion festgelegt werden, da insbesondere die Produktentwicklung in erheblichem Maße beeinflusst, welche Produktvielfalt wirtschaftlich optimal ist. Eine solche Methode, die im Zusammenspiel mit

der variantengerechten Gestaltung die optimale externe Vielfalt bestimmt, ist aktuell Gegenstand der Forschung [Jon10].

Des Weiteren besteht der Bedarf die Value und Supply Chain in einen integrierten Ansatz zur Minimierung der internen Vielfalt mit einzubeziehen, da insbesondere die Vielfalt der Prozesse erheblich zur unternehmensinternen Komplexität beiträgt. Um die Potenziale modularer Produktfamilien zur Minimierung der internen Vielfalt vollständig auszuschöpfen, ist somit eine gemeinsame Betrachtung der internen Komplexität auf Produkt- und Prozessebene erforderlich. Ein erster Ansatz hierzu wurde von Brosch vorgestellt [Brs11].

Um die interne Komplexität innerhalb der Unternehmen zu minimieren, ist es auch erforderlich, die interne Vielfalt nicht nur innerhalb einer Produktfamilie sondern im gesamten Produktprogramm zu minimieren. Eine entsprechende Weiterentwicklung des Ansatzes ist ebenfalls aktuell Gegenstand der Forschung und wurde bereits in einer ersten Fallstudie erfolgreich angewendet [Eil11a].

Die Methode der variantengerechten Gestaltung bildet somit einen Grundstein des *integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien*. Sie unterstützt mithilfe des *Idealbilds variantengerechter Produktfamilien* und des *Variety Allocation Models* die Minimierung der internen Vielfalt auf Produktebene, ohne die externe Vielfalt zu beschränken. Eine ganzheitliche Methodik, die die Gestaltung der externen Vielfalt und die Minimierung der internen Vielfalt im gesamten Unternehmen auf Produkt- und Prozessebene unterstützt, bleibt jedoch weiterhin aktueller Gegenstand der Forschung.

Anhang

A. Originalmodelle und -daten der Fallstudie

In diesem Abschnitt sind die wesentlichen Originalmodelle der Fallstudie zusammengestellt. Dazu zählen der Merkmalsbaum, die Funktionsstruktur und der MIG der MANKAR-Roll-Produktfamilie. Die Modelle sind unverändert der Fallstudie entnommen. Sie weisen ein abweichendes Farbschema auf, das den Stand der Methode der variantengerechten Produktgestaltung im Herbst 2009 bei Durchführung der Fallstudie wiedergibt.

A.1 Merkmalsbaum der MANKAR-Roll-Produktfamilie

Der in Bild A-1 dargestellte unbearbeitete Merkmalsbaum der MANKAR-Roll-Produktfamilie unterscheidet sich in der Farbgebung der Unterscheidungsmerkmale, da das überarbeitete Farbkonzept hier eine Änderung erfordert. Des Weiteren ist hier zusätzlich die Beschreibung der einzelnen Gerätevarianten dargestellt.

A.2 MIG der MANKAR-Roll-Produktfamilie

Der Original-MIG (siehe Bild A-2) der Fallstudie unterscheidet sich ebenfalls nur im Farbschema von dem in Kapitel 6.2.4 dargestellten MIG.

In der Originaldarstellung des MIG aus der Fallstudie sind alle varianten Komponenten schwarz dargestellt. Dies fördert weder die Übersichtlichkeit noch die Wiedererkennung des Modells in der gemeinsamen Anwendung mit der Produktlebensphasen-Modularisierung.

Basierend auf dieser Erfahrung werden im aktuellen Farbkonzept die varianten Elemente grau dargestellt und die Material-, Energie und Informationsflüsse farbig, wodurch die Durchgängigkeit zur Produktlebensphasen-Modularisierung nach BLEES sichergestellt ist.

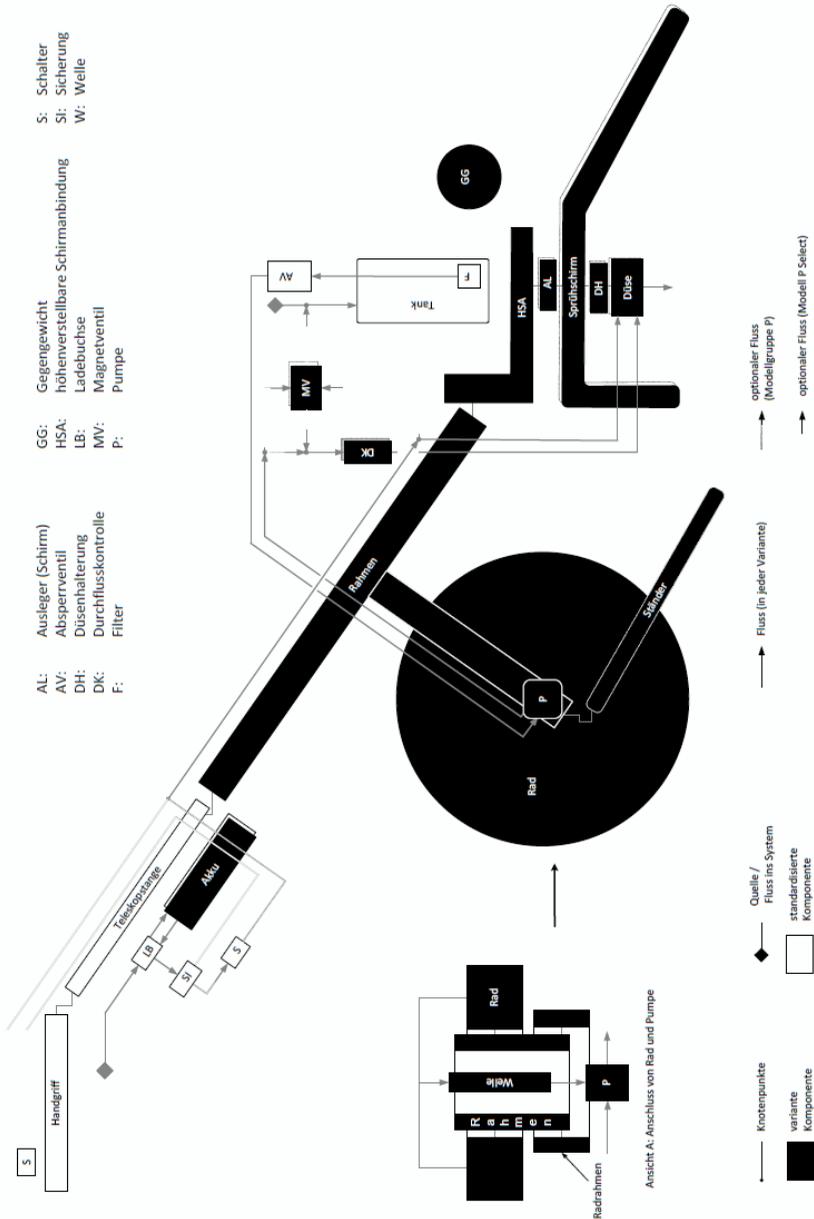


Bild A-2: Original MIG der MANKAR-Roll-Produktfamilie

A.3 Umsatzorientierte Funktionsstruktur der MANKAR-Roll-Produktfamilie

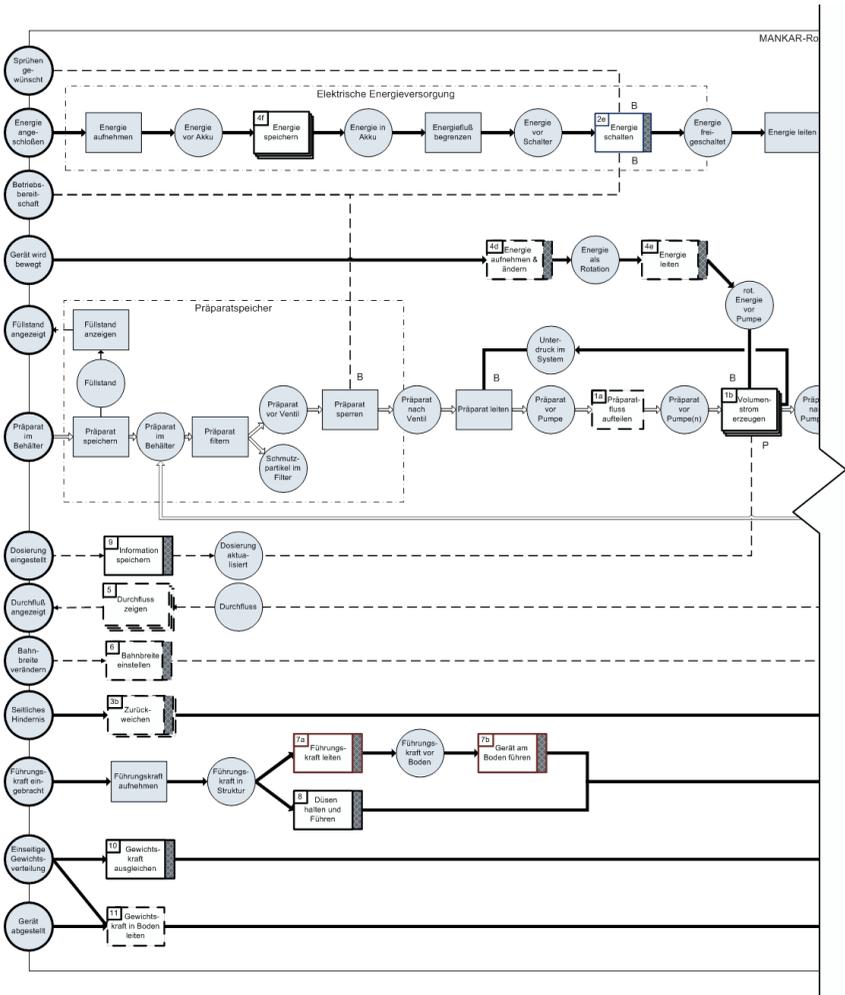


Bild A-3: Original Funktionsstruktur der MANKAR-Roll-Produktfamilie (linker Teil)

In der dargestellten Originalfunktionsstruktur sind nahezu alle varianten Funktionen weiß mit schwarzen Rahmen darstellt. Der schwarze Rahmen markiert im Farbschema Stand 2009 variante Elemente, die von mehreren Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst werden. Er entspricht somit dem roten Rahmen in dem in Kapitel 5.3.2 beschriebenen Farbschema.

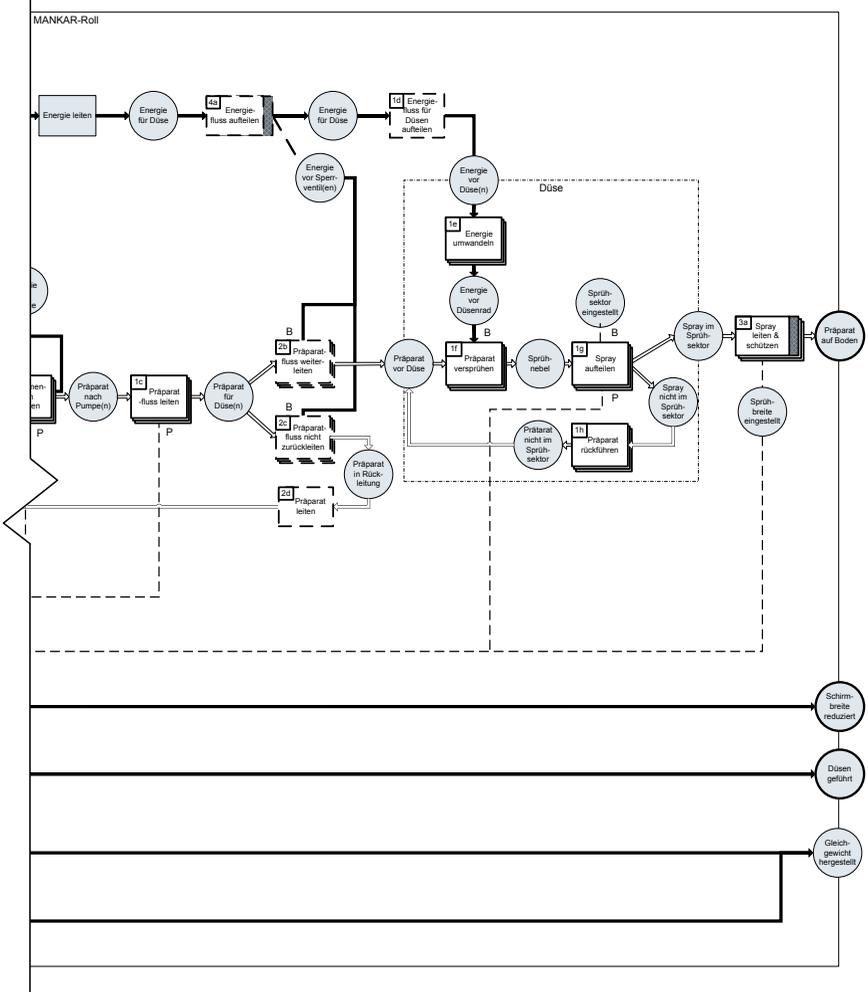


Bild A-4: Original Funktionsstruktur der MANKAR-Roll-Produktfamilie (rechter Teil)

A.4 Variety Allocation Model der MANKAR-Roll-Familie

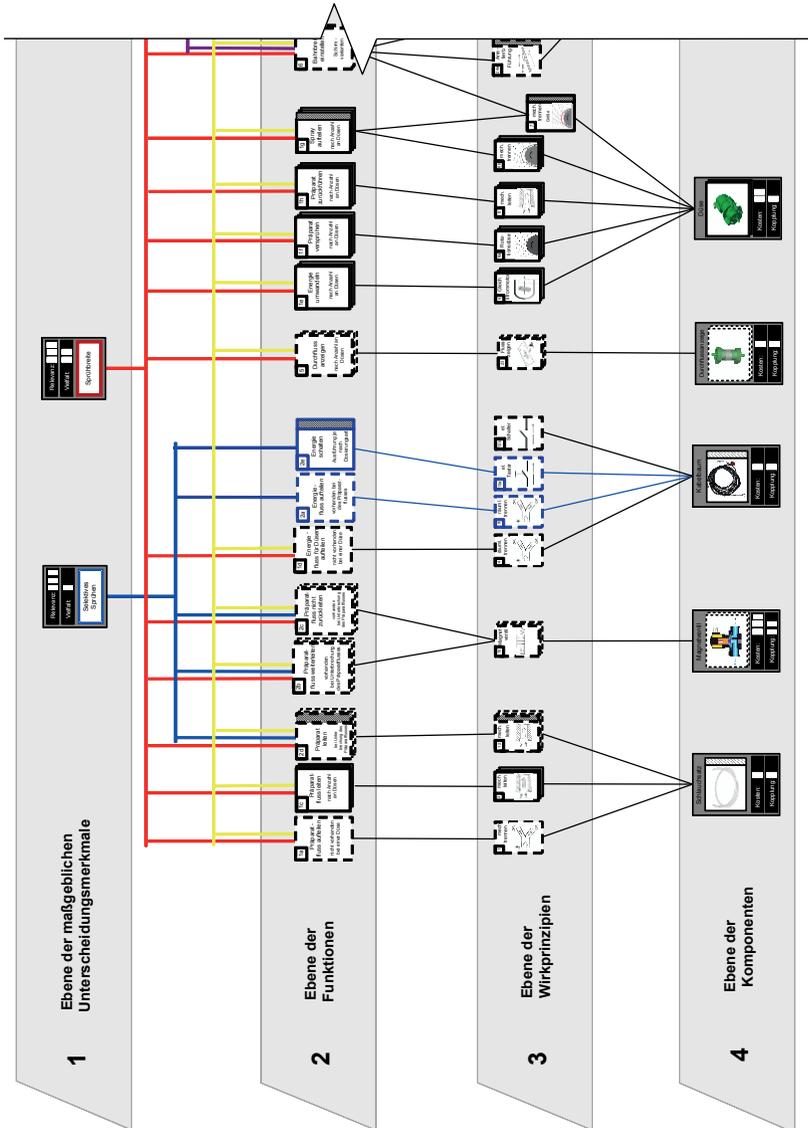


Bild A-5: Original VAM der MANKAR-Roll Produktfamilie (linker Teil)

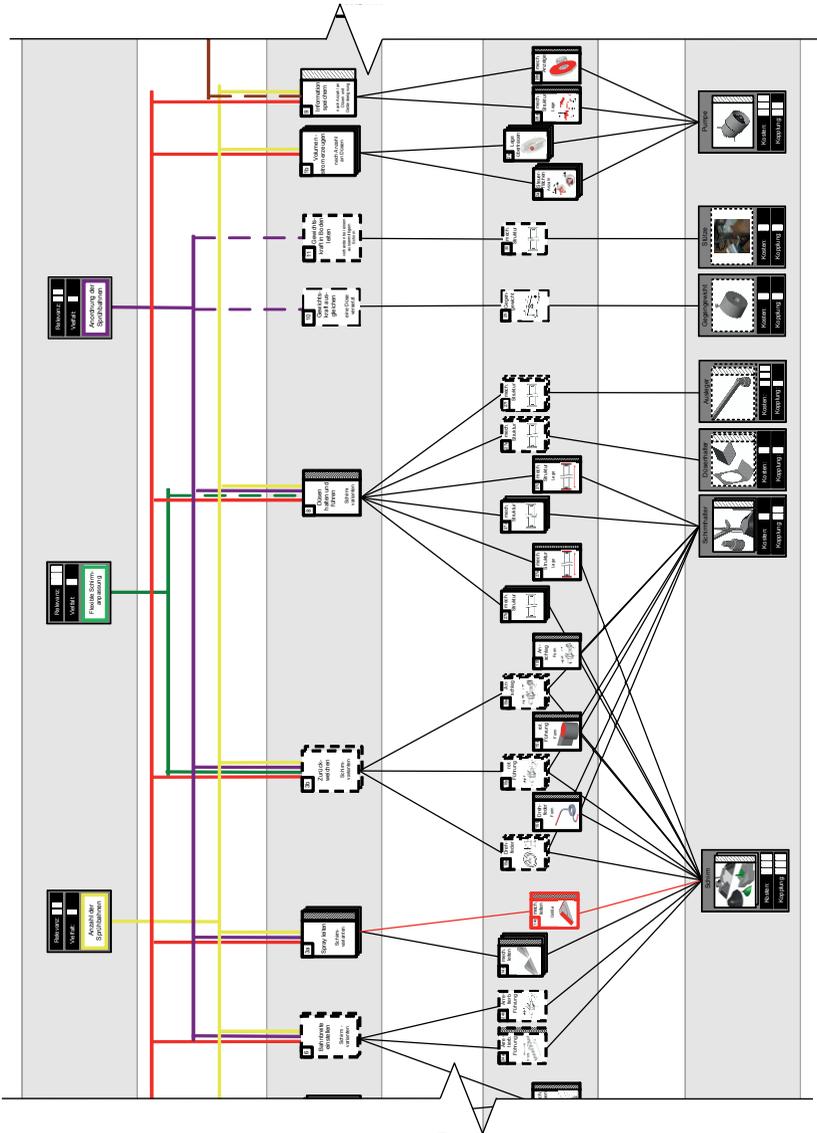


Bild A-6: Original VAM der MANKAR-Roll Produktfamilie (mittlerer Teil)

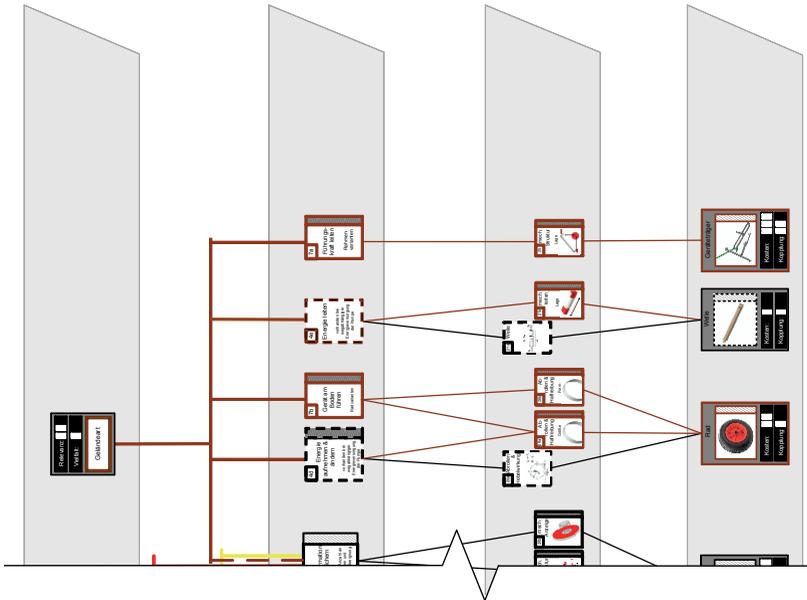


Bild A-7: Original VAM der MANKAR-Roll Produktfamilie (rechter Teil)

Das Original-VAM der Fallstudie unterscheidet sich ebenfalls in der Farbgebung von den in Kapitel 6.2 dargestellten Modellen. Elemente die von mehreren Unterscheidungsmerkmalen beeinflusst werden sind hier wiederum mit schwarzen Rahmen dargestellt. Des Weiteren entsprechen hier die Farben der Unterscheidungsmerkmale dem Original-Merkmalbaum.

A.5 Variety Allocation Model des gewählten Konzepts

Das Original-VAM des gewählten Konzepts der Fallstudie greift wiederum das bereits mehrfach beschriebene alte Farbschema auf. Im VAM des gewählten Konzepts ist die deutliche Vereinfachung gegenüber dem Ausgangszustand klar zu erkennen. Insbesondere die Verbesserung der Eins-zu-eins-Zuordnung wird deutlich.

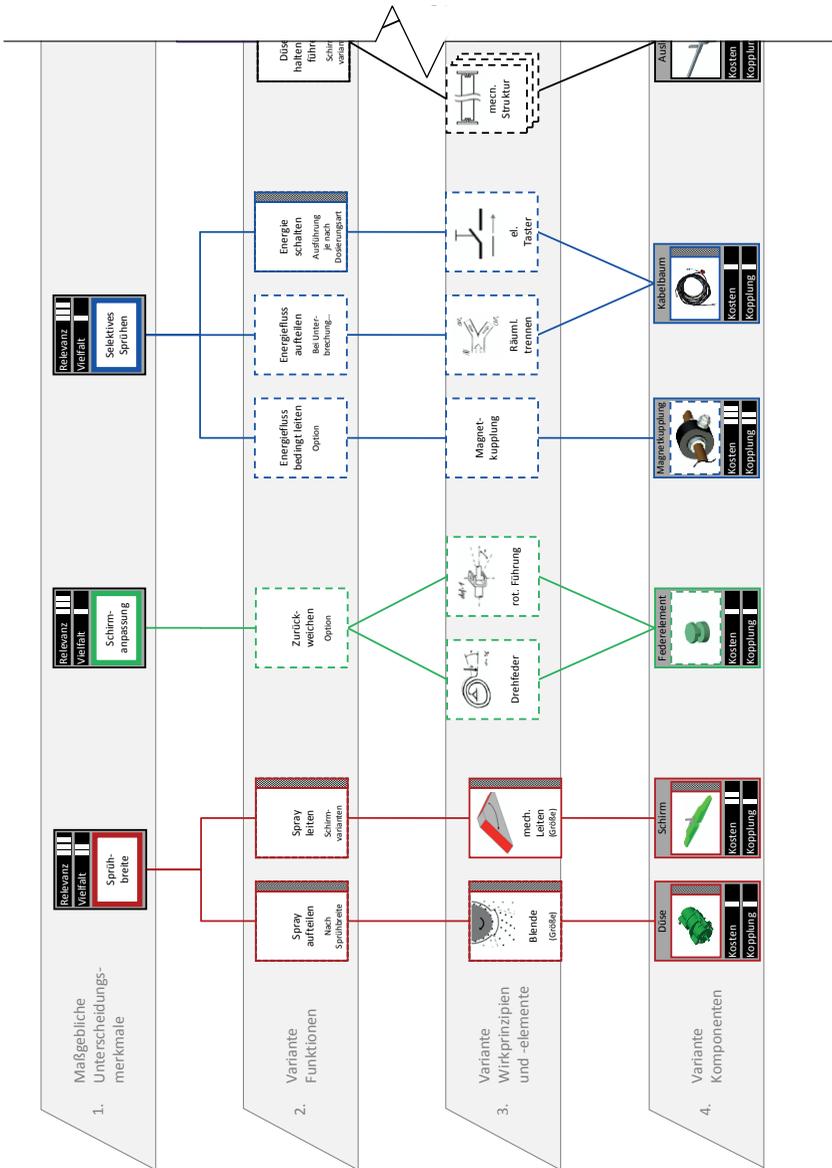


Bild A-8: Original VAM des gewählten MANKAR-Roll-Konzepts (linker Teil)

B. Auswertung der Fallstudie

Im Folgenden sind die wesentlichen Daten und Auswertungen der Fallstudie zusammengestellt, mit deren Hilfe die Prüfungshypothesen in Kapitel 6.3 evaluiert werden.

B.1 Überprüfung der vollständigen Anwendung der Methode

Die Prüfung der vollständigen Anwendung der Methode basiert auf der nachfolgend dargestellten Tabelle, in der die Methode in einzelne Aktivitäten aufgeteilt wird. Jeder dieser Aktivitäten ist in dieser Tabelle die vorgesehene Dokumentation ihres Ergebnisses hinterlegt. Die letzte Spalte zeigt das Resultat der Überprüfung, ob der jeweilige Schritt in der Fallstudie sinngemäß durchgeführt wurde.

Tabelle 11: Überprüfung der Anwendung der Methode

Phase der Methode	Aktivitäten	Vorgesehene Dokumentation	Sinngemäße Ausführung
1. Zieldefinition	Identifikation von varianteninduzierten Problemen & Formulierung quantifizierter Ziele	Zielsystem zur variantengerechten Gestaltung	Ja
2. Variantenorientierte Produktanalyse	Untersuchung der Hauptbaugruppen	Festlegung des zu bearbeitenden Systems	Nein
	Festlegung des zu gestaltenden Systems		Ja
3. Erfassung der Varianz	Aufnahme der technischen Anforderungen	Anforderungsliste	Ja
	Erfassung der Angebotsvielfalt	Partialmodell Merkmalsbaum	Ja
	Erfassung der Varianz der Teilfunktionen	Partialmodell variantenorientierte Funktionsstruktur	Ja
	Erfassung der Varianz der Wirkprinzipien	Dokumentation innerhalb des Variety-Allocation-Model (VAM)	Ja
	Erfassung der Varianz der Komponenten	Variantenorientierter Module Interface Graph (MIG)	Ja
	Darstellung und Vernetzung der Varianz im Variety-Allocation-Model (VAM)	Variety-Allocation-Model (VAM)	Ja
4. Entwicklung alternativer Lösungskonzepte	Identifikation von Arbeitsschwerpunkten & Formulierung von Gestaltungsaufgaben	Aufgabenliste	Ja
	Bearbeitung der Aufgaben durch variantengerechte Gestaltung	Teillösungen der Bearbeitung	Ja
	Konzeption unter Aspekten der Variantengerechtigkeit	Menge an Lösungskonzepten	Ja
5. Bewertung der alternativen Lösungskonzepte	Bewertung der Eigenschaften des Idealbildes	Bewertungskennzahlen der Konzepte	Ja
	Nutzwertanalyse der Lösungskonzepte	Nutzwertanalyse	Ja
	Konzeptauswahl	-	Ja
	Schwachstellenanalyse und Identifikation weiteren Arbeitsbedarfes	-	Ja
	Iteration der variantengerechten Gestaltung	-	Nein

Die Auswertung der Tabelle zeigt, dass die Methode in der Fallstudie mit Ausnahme des zweiten Schritts vollständig und sinngemäß angewendet wurde.

B.2 Subjektive Bewertung der externen Vielfalt

Zur subjektiven Bewertung der externen Vielfalt des entstandenen Konzepts wurde exemplarisch ein Vertriebsmitarbeiter der Mantis ULV-Sprühgeräte GmbH befragt.

Diese Befragung wurde auf Basis eines Produktkatalogs durchgeführt, indem die Realisierung der bestehenden Produktvarianten mithilfe des gewählten modularen Produktkonzepts dargestellt wurde. Im Folgenden ist die Dokumentation dieser Befragung dargestellt:

Datenbedarf

- Aussage zur externen Angebotsvielfalt
- Vergleich des neuen Produktkonzeptes mit der bestehenden Produktfamilie

Bewertung

- Durch den Leiter des Mantis Vertriebs
- Am 12. November 2009

Bewertungsgrundlage

- Bestehende Kenntnisse der aktuellen Produktfamilie
- Repetieren der Differenzierungen des Marktbedarfes und der technischen Anforderungen
- Darstellung des neuen Produktfamilienkonzeptes als kundenorientierte Präsentation nach bisherigem Layout

Interview: Vergleichende Bewertung der Angebotsvielfalt

1. Sind die grundlegenden Kundenbedürfnisse der MANKAR-Roll Geräte durch die Produkte des neuen Konzeptes bedient?

Ja, vollständig

2. Wie gut bedient das neue Produktfamilienkonzept die Marktbedürfnisse im Vergleich zur bestehenden Produktfamilie?

deutlich besser	besser	identisch	schlechter	deutlich schlechter	unge-nügend	nicht ver-gleichbar
X						

Das Ergebnis der Befragung zeigt eindeutig, dass die subjektiv wahrgenommenen Differenzierung im entstandenen Konzept vollständig erhalten bleibt. Des Weiteren wird

auch die Qualität der Lösungen besser bewertet, sodass das neue Konzept die Markbedürfnisse bei gleicher Differenzierung „deutlich besser“ abdeckt.

B.3 Kennzahlen zur Bewertung der Annäherung an das Idealbild

Um eine objektive Bewertung der Annäherung an das *Idealbild variantengerechter Produktfamilien* sicherzustellen, wird separat von der Methode ein Satz von sechs Kennzahlen entwickelt, die den Erfüllungsgrad der Kriterien des Idealbilds bewerten. Die innerhalb der Methode entwickelten Kennzahlen werden nicht verwendet, um sicherzustellen, dass die Bewertung nicht auf Hypothesen der entwickelten Methode beruht.

Die Bewertung mithilfe dieser Kennzahlen erfolgt anhand der CAD-Modelle des neuen Konzepts und eines bestehenden Referenzprodukts. Die Bewertung erfolgt nicht anhand von Modellen, die in der Anwendung der Methode entstehen. Jede Kennzahl weist bei vollständiger Erfüllung der Kriterien des Idealbilds den Wert 1 auf. Im Folgenden werden diese sechs Kennzahlen kurz vorgestellt:

1. Kennzahl: Anteil Standard- und Variantenkomponenten

Diese Kennzahl dient der Bewertung hinsichtlich des Kriteriums *Differenzierung*. Hierzu wird die Anzahl der Standardkomponenten n_{std} und die Anzahl der Variantenkomponenten n_{var*} mit Bezug zu einem Unterscheidungsmerkmal ermittelt. Geteilt durch die Anzahl aller Komponenten n_{ges} wird so der Anteil der Komponenten gemessen, die dem Kriterium Differenzierung gerecht werden. Die anteiligen Kosten werde in dieser Kennzahl nicht beachtet werden.

$$C_{Diff-Anteil} = \frac{n_{std} + n_{var*}}{n_{ges}} \in [0; 1] \quad (8)$$

2. Kennzahl: Erfüllungsgrad der geringen anteiligen Kosten der Variantenkomponenten

Diese Kennzahl dient ebenfalls der Bewertung hinsichtlich des Kriteriums *Differenzierung*. Hier werden die Kosten der Variantenkomponenten K_{var} und die Kosten aller Komponenten K_{ges} für eine Referenzvariante ermittelt. Anhand dessen wird wie folgt der Erfüllungsgrad für die geringen anteiligen Kosten der Variantenkomponenten bestimmt:

$$C_{Diff-Kosten} = 1 - \frac{K_{var}}{K_{ges}} \in [0; 1] \quad (9)$$

3. Kennzahl: Erfüllungsgrad der Reduzierung der Variantenkomponenten

Der Erfüllungsgrad des Kriteriums *Reduzierung* wird anhand der Anzahl der Wirkelemente $n_{relevant\ Varkomp}$ ermittelt, die innerhalb einer Variantenkomponenten zur Abbildung des jeweiligen Unterscheidungsmerkmals beitragen. Der durchschnittliche Anteil dieser Elemente je Variantenkomponente zeigt den Erfüllungsgrad des Kriteriums *Reduzierung*.

$$C_{Red} = \left(\frac{n_{relevant\ Varkomp}}{n_{ges\ Varkomp}} \right)_{aritm} \in [0; 1] \quad (10)$$

4. Kennzahl: Erfüllungsgrad der Eins-zu-eins-Zuordnung

Zur Ermittlung des Erfüllungsgrads der *Eins-zu-eins-Zuordnung* werden die Unterscheidungsmerkmale den Variantenkomponenten in einer Matrix gegenübergestellt. Jede Zuordnung wird mit einer Eins markiert. Anhand der Zeilen- und Spaltensummen S wird dann wie folgt überprüft, ob eine ideale *Eins-zu-eins-Zuordnung* besteht:

$$C_{1:1} = 1 - \frac{\sum_m |(\sum_n S_{mn}) - 1| + \sum_n |(\sum_m S_{mn}) - 1|}{2mn - m - n} \in [0; 1] \quad (11)$$

5. und 6. Kennzahl: Erfüllungsgrad der Entkopplung

Zur Ermittlung des Erfüllungsgrads der *Entkopplung* wird eine DSM genutzt, die oberhalb der Diagonale ausgefüllt ist. Die Summe der Schnittstellen abzüglich der minimal notwendigen Anzahl der Schnittstellen wird dann als Kennzahl genutzt. Die Kennzahl wird wie folgt differenziert für die Entkopplung der Variantenkomponenten $C_{Ent\ Var}$ und die Entkopplung der Standardkomponenten $C_{Ent\ Std}$ ermittelt:

$$C_{Ent\ Var} = 1 - \frac{2 \times (\sum DSM_{Var} - m + 1)}{m \times (2n + m - 1)} \in [0; 1] \quad (12)$$

$$C_{Ent\ Std} = 1 - \frac{2 \times (\sum DSM_{Std} - n + 1)}{n \times (n - 1)} \in [0; 1] \quad (13)$$

mit: DSM_{Var} = Bereich der DSM mit Beteiligung der Variantenkomponenten

DSM_{Std} = Bereich der DSM der ausschließlich Standardkomponenten betrifft

m = Anzahl der Variantenkomponenten

n = Anzahl der Standardkomponenten

Bewertung der Annäherung an das Idealbild

Zur Bewertung der Annäherung an das Idealbild sind im folgenden Bild die Werte der Kennzahlen des entstandenen Konzepts (hellblau) dem bestehenden Gerät (dunkelblau) gegenüber gestellt. Hier ist zu erkennen, dass hinsichtlich aller vier Kriterien eine deutliche Verbesserung erreicht wurde.

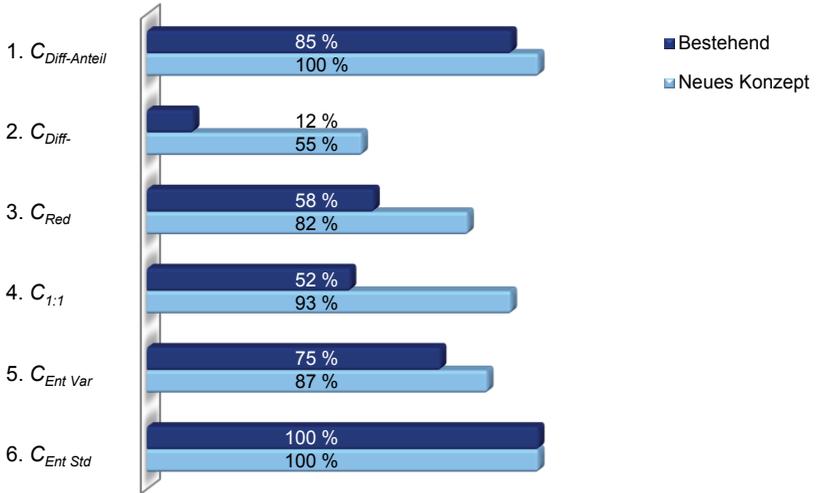


Bild B-1: Kennzahlen zur Annäherung an das Idealbild variantengerechter Produktfamilien

B.4 Bewertung der Unterstützung aller Schritte des Entwicklungsprozesses

Zur Bewertung der Unterstützung des gesamten Entwicklungsprozesses wurden alle innerhalb der Fallstudie identifizierten Handlungsschwerpunkte, formulierten Aufgabenstellungen und gefundenen Teillösungen den sieben Arbeitsschritten nach VDI 2221 zugeordnet [VDI93]. Die Zuordnung zeigt, dass ab dem zweiten Schritt des Entwicklungsprozesses eine durchgängige Unterstützung bereitgestellt wird.

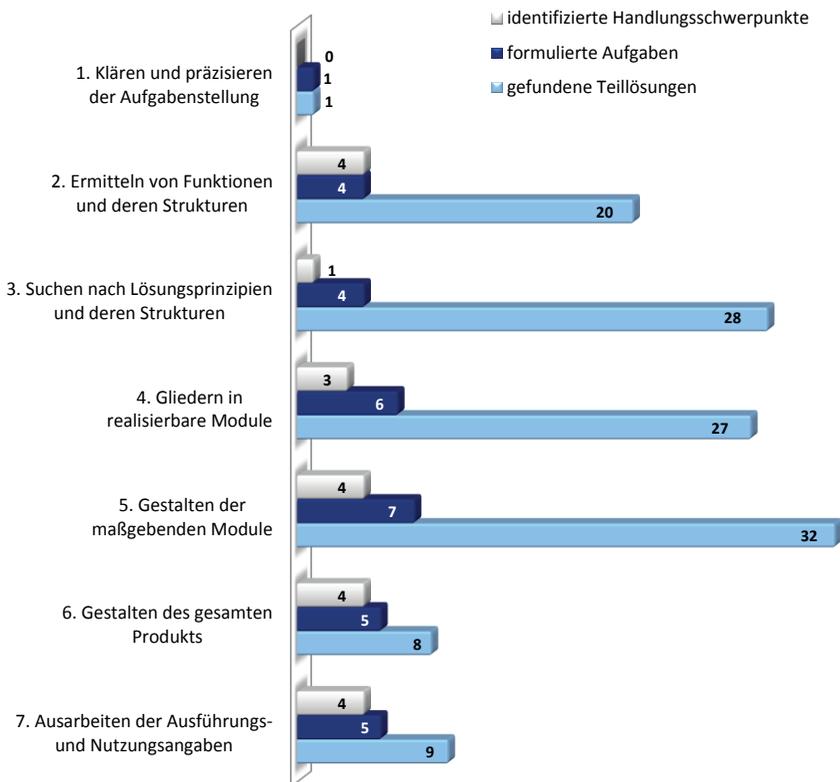


Bild B-2: Zuordnung der Handlungsfelder, Aufgabenstellungen und Lösungen zu den Arbeitsschritten nach VDI 2221

Literatur

- [Abd08] Abdelkafi, N.: „Variety induced complexity in mass customization: concepts and management“, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2008.
- [And06] Anderson, C.: „The long tail: why the future of business is selling less of more“, Hyperion, New York City, USA, 2006.
- [Ali08] Alizon, F.; Shooter, S.; Simpson T. W.: „Henry Ford and the Model T: Lessons for Product Platforming and Mass Customization“, ASME 2008 International Design Engineering Technical Conference, New York City, USA, 2008.
- [Att00] Atteslander, P.; Cromm, J.: „Methoden der empirischen Sozialforschung“, de Gruyter, Berlin, 2000.
- [Bal02] Baldwin, C. Y.; Clark K. B.: „The Option Value of Modularity in Design“, Havard Business School, 2002.
- [Ble08a] Bles, C.; Krause, D.: „On the development of modular product structures: a differentiated approach“, 10th International Design Conference - Design 2008, Dubrovnik, 2008, S. 301-308.
- [Ble08b] Bles, C. et al.: „Entwurf von modularen Produktarchitekturen unter Betrachtung unterschiedlicher Unternehmenssichten“, Design for X, Beiträge zum 19. Symposium, Neukirchen, 2008, S. 149-158.
- [Ble09] Bles, C.; Jonas, H.; Krause, D.: „Perspective-based Development of Modular Product Architectures“, Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design (ICED), Stanford, USA, 2009, S. 4-95 - 4-106.
- [Ble10a] Bles, C.; Jonas, H.; „Krause, D.: „Development of Modular Product Families“, Proceedings of 12th International DSM Conference, Cambridge, England, 2010.
- [Ble10b] Bles, C. et. al.: „Development of Modular Product Families: Integration of Design for Variety and Modularization“, Proceedings of norddesign2010, Gothenburg, Sweden, 2010, S. 159 - 168.

- [Ble11] Blee, C: „Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“, TuTech-Verlag, Hamburg, 2011.
- [Bls09] Blessing, L. T. M.; Chakrabarti, A.: „DRM, a Design Research Methodology“, Springer, Berlin, 2009.
- [Bro01] Browning, Tyson R.: „Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and IntegrationnProblems: A Review and new Directions“, IEEE Transactions on Engineering Management, Volume 48, 2001, S. 292 – 306.
- [Brs11] Brosch, M. et al.: „Design for Value Chain – Handlungsfelder zur ganzheitlichen Komplexitätsbeherrschung“, Design for X, Beiträge zum 22. DfX-Symposium, Tutzing 2011, S. 67-78.
- [Bul02] Bullock, P. J.: „Knowing When to Use Postponement“, International Logistics, University of Sydney, 2002.
- [Cae91] Caesar, C.: „Kostenorientierte Methodik für variantenreiche Serienprodukte - Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)“, Fortschritt-Berichte VDI, Aachen, 1991.
- [Dap92] Daprian, P.: „Benetton – Global logistics in action“, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 1992.
- [Del06] Dellanoi, R.: „Kommunalitäten bei der Entwicklung variantenreicher Produktfamilien“, Dissertation, Difo-Druck GmbH, Bamberg, 2006.
- [DIN02] DIN 199-3: „Begriffe für Stücklisten und das Stücklistenwesen“, Beuth Verlag, Berlin, 2002.
- [Eil11a] Eilmus, S. et al.: „Modulare Produktstrukturen methodisch umsetzen – Entwicklung von Standardumfängen und Integration von Erfahrungswissen“, Design for X, Beiträge zum 22. DfX-Symposium, Tutzing 2011, S. 99-118.
- [Eil11b] Eilmus, S.; Krause, D.: „AUXESIA II - Entwicklung eines Universal-ULV-Düsenmoduls unter Betrachtung von Aspekten der Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit“, Sachbericht PRO INNO II, Hamburg, 2011.
- [Ehr07] Ehrlenspiel, K.: „Integrierte Produktentwicklung“, Hanser Verlag, München, 2007.
- [Eri98] Erixon, G.: „Modular function deployment: a method for product modularisation“, KTH Högskoletyckeriert, Stockholm, 1998.
- [Eri99] Ericsson, A.; Erixon, G.: „Controlling Design Variants: Modular Product Platforms“, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn Michigan, 1999.

- [Fei97] Feitzinger, E.; Lee, H.L.: „Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement“, *Harvard Business Review* (1/1997), 1997, S. 115-121.
- [Fir03] Firchau, N. L.: „Variantenoptimierende Produktgestaltung“, Dissertation, Cuvillier Verlag, Göttingen, 2003.
- [Fra93] Franke, H.-J. et al.: „Standardisierung der Produktstruktur zur Verbesserung der Ablauforganisation in einem Unternehmen des Spezialmaschinenbaus“, VDI-Z 135, Springer, 1993, S. 70-75.
- [Fra02a] Franke, H.-J. et al.: „Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung“, Carl Hanser, München, 2002.
- [Fra02b] Franke, H.-J.; Firchau, N. L.: „Schlußbericht der technischen Universität Braunschweig zum Verbundprojekt EVAPRO“, IKMF TU Braunschweig, 2002.
- [Ger03] Gershenson, J. K.; Prasad, G. J.; Zhang, Y.: „Product modularity: Definitions and benefits“, *Journal of Engineering Design*, 2003, S. 295-313.
- [Göp98] Göpfert, J.: „Modulare Produktentwicklung – Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation“, Dissertation, Gabler, Wiesbaden 1998.
- [Göp00] Göpfert, J.; Steinbrecher, M.: „Modulare Produktentwicklung leistet mehr: Warum Produktarchitektur und Projektorganisation gemeinsam gestaltet werden müssen“, *Havard Business Manager*, 2000.
- [Göp01] Göpfert, J.; Steinbrecher, M.: „Komplexitätsbeherrschung durch modulare Produktentwicklung“ VDI-Berichte - Variantenvielfalt in Methoden und Prozessen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001, S. 268-351.
- [Hei99] Heina, J.: „Variantenmanagement – Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt“, Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, Wiesbaden, 1999.
- [Hic85] Hichert, R.: „Probleme der Vielfalt, Teil 1: Soll man auf Exoten verzichten?“, *wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung*, Springer-Verlag, 1985, S. 235 - 237.
- [Hic86a] Hichert, R.: „Probleme der Vielfalt, Teil 2: Was kostet eine Variante?“, *wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung*, Springer-Verlag, 1986, S. 141 - 145.
- [Hic86b] Hichert, R.: „Probleme der Vielfalt, Teil 3: Was bestimmt die optimale Erzeugnisvielfalt?“, *wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung*, Springer-Verlag, 1986, S. 673 - 676.
- [Hoe99] Van Hoek, R.; Peelen, E.; Commandeur, H. R.: „Achieving Mass Customization Through Postponement: A Study of international Changes“, *Journal of Market Focused Management*, 1999, S. 353 - 368.

- [Höl07] Hölttä-Otto, K.; de Weck, O.: „Degree of Modularity in Engineering Systems and Products with Technical and Business Constraints“. Concurrent Engineering: Research and Applications, Volume 15, 2007, S. 113-125.
- [Jes97] Jeschke, A.: „Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion“, Berichte des Instituts für Konstruktionslehre, Maschinen- und Feinwerkelemente, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, 1997.
- [Jia99] Jiao, J.; Tseng, M. M.: „A methodology of developing product family architecture for mass customization“, Journal of Intelligent Manufacturing, 1999.
- [Jia07] Jiao, J.; Simpson, T. W.; Siddique, Z.: „Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review“, Journal of intelligent manufacturing, Springer online, 2007.
- [Jon10] Jonas, H.; Krause, D.: „Produktfamilienentwicklung im Rahmen des Varianten-managements“, Design for X, Beiträge zum 21. DfX-Symposium, Buchholz i.d.N., 2010, S. 169-180.
- [Kip07] Kipp, T.; Krause, D.: „Entwicklung von Methoden zur variantengerechten Produktgestaltung“, Design for X, Beiträge zum 18. Symposium, Neukirchen, 2007, S. 23-32.
- [Kip08] Kipp, T.; Krause, D.: „Design for Variety - efficient support for design engineers“, 10th International Design Conference - Design 2008, Dubrovnik Kroatien, 2008, S. 425-432.
- [Kip08a] Kipp, T.; Krause, D.: „Design for Variety – Ein Ansatz zur variantengerechten Produktstrukturierung“, 6. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2008, Aachen, 2008, S. 159-168.
- [Kip08b] Kipp, T.; Krause, D.: „Methodischer Ansatz der variantengerechten Produktstrukturierung“, Berliner Kreis - Jahrestagung 2008, München, 2008, S. 177 -200.
- [Kip09] Kipp, T.; Krause D.: „Computer Aided Size Range Development - Data Mining vs. Optimization“. Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design (ICED), Stanford USA, 2009, S. 4-179 - 4-190.
- [Kip10] Kipp, T.; Bles, C.; Krause D.: „Anwendung einer integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“, Design for X - Beiträge zu 21. DfX-Symposium, Buchholz i.d.N., 2010, S. 157 - 168.
- [Lin06] Lindemann, U.; Reichwald R.; Zäh, M. F.: „Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion“, Springer-Verlag, Berlin, 2006.

- [Lin07] Lindemann, U.: „Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden“, 2. Bearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2007.
- [Lin09] Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: „Structural Complexity Management – An Approach for the Field of Product Design“, Springer-Verlag, Berlin, 2009.
- [Man09a] Mantis ULV-Sprühgeräte GmbH: Homepage, <http://www.mantis-ulv.eu>, Stand Oktober 2009.
- [Man09b] Mantis ULV-Sprühegeräte GmbH: Produktkatalog der Mankar Herbizid ULV-Sprühsysteme, Stand Oktober 2009.
- [Mar99] Martin, M. V.: „Design for Variety: A methodology for developing product platform architectures“, Stanford University, 1999.
- [Mar00] Martin, M. V.: „Design for Variety: A Methodology for Developing Product Platform Architectures“, National Manufacturing Week 2000. Chicago, USA, 2000.
- [Mar02] Martin, M. V.; Ishii, K.: „Design für variety: developing standardized and modularized product platform architectures“, Research in Engineering Design, Springer, New York, 2002, S. 213-235.
- [Mas91] Maskell, B.-H.: „Performance Measurement for World Class Manufacturing“, Productivity Press, New York, 1991.
- [Mau05] Maurer, M. et al.: „A Tool for Modelling Flexible Product Structures – MOFLEPS“, Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design (ICED), Melbourne, Australien, 2005.
- [Mey97] Meyer, M. H.; Lehnerd, A. P.: „The power of product platforms: building value and cost leadership“, The Free Press, New York, 1997.
- [Muk05] Mukhopadhyay, S. K.; Setoputro, R.: „Optimal return policy and modular design of build-to-order products“, Journal of Operations Management, Volume 23, 2005, S. 496–506.
- [Nai92] Naisbitt, J.; Aburdene, P.: „Megatrends 2000: Zehn Perspektiven für den Weg ins nächste Jahrtausend.“, ECON Executive Verlag GmbH, Düsseldorf, 1992.
- [Pag98] Pagh, J. D.; Cooper, M.-C.: „Supply chain postponement and speculation strategies: How to choose the right strategy“, Journal of Business Logistics, 1998.
- [Pah07] Pahl, G; Beitz, W. et al.: „Konstruktionslehre“, Springer, Berlin, 2007.

- [Pil99] Piller, F.; Waringer, D.: „Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien“, Shaker-Verlag, Aachen, 1999.
- [Pil06] Piller, F.: „Mass Customization: Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2006.
- [Pim94] Pimpler, T.; Eppinger, S.: „Integration analysis of product decompositions“, Design theory and methodology – DTM'94, ASME, New York, 1994.
- [Pin92] Pine II, B. J.: „Mass Customization: The New Frontier in Business Competition“, Harvard Business Review, 1992.
- [Pon08] Ponn, J.; Lindemann U.: „Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte“, Springer, Berlin, 2008.
- [Por08] Porter, M. E.: „Wettbewerbsstrategie – Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten“, Campus Verlag GmbH, Frankfurt/Main, 2008.
- [Rat93] Rathnow, P. J.: „Integriertes Variantenmanagement – Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt“, Vandenhoeck & Ruprecht, Goettingen, 1993.
- [Rob98] Robertson, D.; Ulrich, K.: „Planning for Product Platforms“, Sloan management review, Cambridge, 1998, S. 19-31.
- [Rup80] Rupp, M.: „Produkt/Markt-Strategien“, Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1980.
- [Sal07] Salvador, F.: „Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization“, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 54, Madrid, 2007.
- [San95] Sanderson, S.; Uzumeri, M.: „Managing product families: The case of the Sony Walkman“, Research Policy, Volume 24, Elsevier B.V., 1995.
- [Sch99] Schnell, R.; Hill, P. B.; Esser, E.: „Methoden der empirischen Sozialforschung“, Oldenbourg, München, 1999.
- [Sch89] Schuh, G.: „Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten“, Fortschritts-Berichte VDI, VDI Verlag, Düsseldorf, 1989.
- [Sch01] Schuh, G.; Schwenk, U.: „Produktkomplexität managen – Strategien, Methoden, Tool“, Carl Hanser Verlag, München, 2001.
- [Sch09] Schütt, C.: „Besichtigung im BMW Werk Leipzig im Juni 2009“, Online-Beitrag in 7-forum.com, 2009.
- [She05] Shen, T.: „A Framework for Developing Postponement Strategies“, MIT Center for Transportation and Logistics, Postponement Project Working Paper, 2005.

- [Sim01] Simpson, T. W.; et al.: „Product platform design: method and application“, Research in engineering design (13), 2001, S. 2-22.
- [Sim06] Simpson, T. W.; et al.: „Product platform and product family design“, Springer, New York, 2006.
- [Ste81] Steward, D.: „The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. EM-28, No. 3, New York, 1981, S. 71-74.
- [Sto97] Stone, R. B.: „Towards a theory of modular design“, University of Texas, Austin, 1997.
- [Suh90] Suh, N. P.: „The principles of design“, Oxford University Press, Oxford, 1990.
- [Tre87] Treleven, M.; Wacker, J.-G.: „The Sources, Measurements, and Managerial Implications of Process Commonality“, Journal of Operations Management, 1987.
- [Rie06] Rietze S.-M.: „Case Studies of Postponement in the Supply Chain“, Master Thesis, MIT, 2006.
- [Ulr91] Ulrich, K.; Tung, K.: „Fundamentals of product modularity“, ASME Issues in Design / Manufacture / Integration, 1991, S. 73-79.
- [Ulr95] Ulrich, K.: „The role of product architecture in the manufacturing firm“, Research Policy, Volume 24, Elsevier B.V., 1995.
- [Ulr04] Ulrich, K.; Eppinger, S.: „Product Design and Development“, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 2004.
- [VDI93] VDI-Richtlinie 2221: „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“, Beuth Verlag, Berlin, 1993.
- [Wöh05] Wöhe, G.; Döring, U.: „Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre“, Verlag Franz Vahlen, München, 2005.
- [Yin94] Yin, Robert K.: „Case Study Research“, Sage, Newbury Park, California, Thousand Oaks, Calif. 2007.
- [Zin88] Zinn, W., Bowersox, D.: „Planning Physical Distribution with the Principle of Postponement“, Journal of Business Logistics, 1988.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Geboren am 18.05.1979 in München,

ledig

Berufliche Tätigkeiten

01/2011 – heute	Unternehmensberater bei der ID-Consult GmbH in München
03/2006 – 10/2010	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der TU Hamburg Harburg
05/2004 – 02/2006	Konstrukteur bei der Ingenieur Gemeinschaft Erich Leitner AG in Ebersberg bei München

Hochschulstudium

10/1998 – 12/2003	Studium Maschinenwesen an der TU München Abschluss: Diplom-Ingenieur Maschinenbau
-------------------	--

Schulbildung

1996 – 1998	Lion-Feuchtwanger-Gymnasium in München Abschluss: Abitur
1989 – 1996	Willi-Graf-Gymnasium in München
1985 – 1989	Grundschule an der Nadistraße in München

Die Methode der variantengerechten Produktgestaltung zielt darauf ab, Produktfamilien zu entwickeln, die eine große marktseitige Vielfalt mit einer minimalen internen Vielfalt bereitstellen.

Dazu wird als Basis der Methode ein Idealbild variantengerechter Produktfamilien entwickelt. Die Methode strebt dieses Idealbild an und bezieht dabei alle Schritte der Produktentwicklung in die variantengerechte Gestaltung ein.

Der Praxisbezug wird durch zwei Fallstudien am Beispiel eines landwirtschaftlichen Geräts und einer Tauchpumpe sichergestellt.



ISSN 1868-6885
ISBN 978-3-941492-47-9
www.tutechverlag.de