

Lehrstuhl für Produktentwicklung
der Technischen Universität München

Gestaltung von Produktvariantenspektren mittels matrixbasierter Methoden

Heiner Kesper

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

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Univ.-Prof. Dr.-Ing Birgit Vogel-Heuser
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause,
Technische Universität Hamburg-Harburg

Die Dissertation wurde am 16.04.2012 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 14.09.2012 angenommen.

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Problemstellung

Die immer konsequentere Kundenorientierung der letzten Jahrzehnte hat zu einem erheblichen Anstieg der Variantenvielfalt in den meisten Branchen geführt. Die negativen Auswirkungen hoher Variantenvielfalt stellen insbesondere die produzierende Industrie vor große Herausforderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Nicht erst seit die negativen Auswirkungen die Beherrschbarkeitsgrenze in vielen Unternehmen zu überschreiten drohen wurde der Ruf nach einem wirksamen Variantenmanagement laut. Infolgedessen wurde eine Reihe von Konzepten zur Handhabung, Reduzierung und Vermeidung der Variantenvielfalt entwickelt. Dabei konzentrieren sich die meisten dieser Konzepte auf die konstruktive Umsetzung der geforderten Varianz – auf anderen Gebieten fehlen jedoch bis heute Ansätzen zum systematischen Umgang mit deren Ursachen und Auswirkungen. Daher werden notwendige und wegweisende Entscheidungen im Variantenmanagement immer noch viel zu oft auf Grundlage subjektiver Einschätzungen getroffen.

Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines generischen Ansatzes zur Modellierung und Analyse der Eigenschaften- und Komponentenkombinationen ganzer Produktvariantenspektren. Auf Grundlage der erzielbaren Analyseergebnisse sollen reproduzierbar problemspezifische Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Dadurch sollen die dringend notwendige Systematisierung und Objektivierung der Entscheidungsfindung im Variantenmanagement vorangetrieben werden.

Ergebnisse

Der strukturierte Umgang mit den Varianten technischer Produkte setzt die strikte gedankliche Trennung der Eigenschaften- und Komponentensicht voraus. Die vorliegende Arbeit nutzt eine matrixbasierte Notation, um die Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen von Produktvarianten abzubilden und macht sie damit Analysemethoden zugänglich, die sich in jüngerer Zeit zur Lösung komplexer Aufgabenstellungen in verschiedenen Bereichen der Produktentwicklung bewähren konnten. Zwei Vorgehensmodelle sowie ein Software-Werkzeug unterstützen Anwender bei der Bewältigung aktueller Herausforderungen des Variantenmanagements, die von verschiedenen Kooperationspartnern aus der Industrie formuliert wurden.

Folgerungen für die industrielle Praxis

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konzepte machen vorhandene Daten in vielen Fällen erstmals für das Variantenmanagement nutzbar. Die Vorgehensmodelle leiten Produktentwickler bei Identifikation signifikanter Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen und bei der darauf basierenden Ableitung von Handlungsoptionen. Mit dem adaptierten Software-Werkzeug steht ihnen dabei das notwendige Hilfsmittel zur Bewältigung großer Daten-

umfänge und damit zur Untersuchung umfangreicher Variantenspektren zur Verfügung. So können die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit maßgeblich zur Erhöhung der Entscheidungsgüte und Planungssicherheit in der industriellen Praxis beitragen.

Folgerungen für Forschung und Wissenschaft

Die matrixbasierte Notation zur Abbildung von Eigenschaften- und Komponentenkombinationen stellt eine konzeptionelle Grundlage dar, die über diese Arbeit hinaus genutzt werden kann. Die Integration zusätzlicher Informationen und die Adaption weiterer Analysealgorithmen bieten vielfältige Möglichkeiten zur Erweiterung der vorgestellten sowie zur Erschließung gänzlich neuer Anwendungsbereiche innerhalb des Variantenmanagements.

Garching, im Oktober 2012

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München

DANKSAGUNG DES AUTORS

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Berater bei der TESEON GmbH von Dezember 2007 bis Oktober 2012.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Professor Dr.-Ing. Udo Lindemann, der es mir ermöglicht hat, neben meiner beruflichen Tätigkeit am Lehrstuhl für Produktentwicklung zu promovieren. Seine Unterstützung und die Tatsache, dass seine Tür auch mir als Lehrstuhlexternem jederzeit offen stand waren wesentliche Voraussetzungen für das Gelingen meiner Arbeit.

Professor Dr.-Ing. Dieter Krause danke ich für die Übernahme des Korreferats und das hohe Maß an Flexibilität, das es mir erlaubt hat, meine Prüfung trotz widriger Umstände am vorgesehenen Tag abzulegen.

Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission danke ich Professor Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser.

Besonderer Dank gilt auch Dr.-Ing. Thomas Braun und Dr.-Ing. Maik Maurer, die mir seitens der TESEON GmbH die Gelegenheit zur berufsbegleitenden Promotion gegeben haben. Die in zahlreichen gemeinsam durchgeführten Projekten und intensiven Diskussionen gewonnenen Erkenntnisse bilden das Fundament meiner Arbeit. Dabei war die Zusammenarbeit auch in Zeiten höchster Belastung immer hervorragend. Gleiches gilt für meine Kollegen Martin Strattner und Oleg Skrypnyuk sowie meinen geschätzten Ex-Kollegen Wieland Biedermann, dem ich für die inhaltliche und organisatorische Unterstützung meiner Promotion danke.

Ich bedanke mich bei allen Projektpartnern, mit denen ich im Verlauf der letzten Jahre zusammenarbeiten und immer wieder auch erkenntnisreiche Gespräche abseits des Tagesgeschäfts führen durfte.

Ich danke meinen Freunden und meiner Familie für den Rückhalt, den sie mir bieten und das Verständnis, das sie in den letzten Jahren immer wieder aufgebracht haben. Allen voran danke ich meinen Eltern, ohne deren Unterstützung und Vertrauen das alles nicht möglich gewesen wäre. Abschließend danke ich meinen Großeltern, die den Grundstein für so vieles gelegt haben und den Abschluss meiner Promotion leider nicht mehr miterleben durften. Ihnen widme ich diese Arbeit.

Ismaning, im Oktober 2012

Heiner Kesper

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung	2
1.3 Zielsetzung	9
1.4 Erfahrungsgrundlage des Autors	10
1.5 Einordnung der Arbeit	11
1.6 Aufbau der Arbeit	13
2. Grundlagen und Stand der Forschung und Technik	15
2.1 Definition relevanter Begriffe	15
2.1.1 Produkt	15
2.1.2 Komponente, Bauteil, Baugruppe	16
2.1.3 Eigenschaft, Merkmal, Ausprägung	17
2.1.4 Variante	20
2.1.5 Konfiguration	22
2.2 Variantenvielfalt und Komplexität	24
2.3 Interne und externe Variantenvielfalt	26
2.4 Treiber der Variantenvielfalt	28
2.4.1 Unternehmensexterne Treiber der Variantenvielfalt	29
2.4.2 Unternehmensinterne Treiber der Variantenvielfalt	30
2.4.3 Kritische Diskussion der Treiber der Variantenvielfalt	33
2.5 Auswirkungen der Variantenvielfalt	34
2.5.1 Positive Auswirkungen der Variantenvielfalt	34
2.5.2 Negative Auswirkungen der Variantenvielfalt	36
2.6 Variantenmanagement	41
2.6.1 Zielrichtungen des Variantenmanagements	41
2.6.2 Limitierungen des Variantenmanagements	44
2.7 Hilfsmittel zur Strukturierung und Visualisierung der Variantenvielfalt	48
2.7.1 Merkmalbaum	48

2.7.2	Variantenbaum	51
2.7.3	Merkmals-Ausprägungs- und Kombinationsmatrix	53
2.7.4	Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix	53
2.7.5	Multiple-Domain Matrix	55
2.8	Konzepte zur Analyse und Optimierung der Variantenvielfalt	57
2.8.1	Variant Mode and Effects Analysis	57
2.8.2	Design for Variety	59
2.8.3	iViP	60
2.8.4	EVAPRO	61
2.8.5	Baukasten-, Modul- und Plattformkonzepte	62
2.8.6	Strukturelles Komplexitätsmanagement	62
2.9	Software-Werkzeuge zur Unterstützung des Variantenmanagements	65
2.9.1	Complexity Manager	65
2.9.2	TRAVIS	66
2.9.3	METUS	66
2.9.4	iViP-VariantenManager und iViP-Komplexitätsassistent	66
2.9.5	Vamos	67
2.9.6	Konfiguratoren	67
2.9.7	EmcienMix und EmcienPattern	68
2.9.8	LOOMEO	69
3.	Gestaltung von Produktvariantenspektren	71
3.1	Matrixbasierte Notation zur Abbildung von Variantenspektren	71
3.1.1	Unterscheidung von Eigenschaften- und Komponentenkombinationen	71
3.1.2	Abbildung von Eigenschaftenkombinationen in der Eigenschaften-DSM	74
3.1.3	Abbildung von Komponentenkombinationen in der Komponenten-DSM	76
3.1.4	Abbildung von Gesamtspektren in der aggregierten Eigenschaften- und Komponenten-DSM	77
3.1.5	Analyse von Gesamtspektren auf Grundlage der aggregierten Eigenschaften- und Komponenten-DSM	80
3.1.6	Integration von Stückzahlen in die (aggregierte) Eigenschaften- und Komponenten-DSM	82
3.1.7	Abbildung von Ausgangsinformationen in der Produktvarianten-Eigenschaften- und Produktvarianten-Komponenten-DMM	84

3.2	Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen	87
3.2.1	Ziele und Randbedingungen festlegen	89
3.2.2	Zu betrachtende Produktvarianten festlegen	91
3.2.3	Zu betrachtende Eigenschaften festlegen	92
3.2.4	Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten ermitteln	99
3.2.5	Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaften berechnen	101
3.2.6	Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaftskombinationen berechnen	103
3.2.7	Signifikante Eigenschaftskombinationen identifizieren	107
3.2.8	Kombinationszwänge und -verbote ableiten	113
3.3	Integration von Produktvarianten und Komponenten	116
3.3.1	Ziele und Randbedingungen festlegen	121
3.3.2	Zu betrachtende Produktvarianten festlegen	121
3.3.3	Zu betrachtende Komponenten festlegen	121
3.3.4	Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten ermitteln	124
3.3.5	Kosten der Komponenten ermitteln	125
3.3.6	Kosten der Produktvarianten berechnen	126
3.3.7	Kosten der Integration von Produktvarianten berechnen	127
3.3.8	Reihenfolge der Integration von Produktvarianten bestimmen	131
3.3.9	Wirtschaftlichkeit der Integration von Produktvarianten bewerten	133
3.4	Software-Werkzeug zur Unterstützung der praktischen Anwendung	136
3.4.1	Anforderungen an das Software-Werkzeug	137
3.4.2	Auswahl des anzupassenden Software-Werkzeugs	137
3.4.3	Importformat	138
3.4.4	Importprozess	141
3.4.5	Aufbau des Software-Werkzeugs LOOMEO V	142
4.	Praxisbeispiele zur Evaluation	147
4.1	Paketdefinition bei Kraftfahrzeug-Sonderausstattungen	147
4.1.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	147
4.1.2	Anwendung des Vorgehensmodells zur Einschränkung zulässiger Eigenschaftskombinationen	148
4.1.3	Schlussfolgerungen	156
4.2	Variantenreduktion bei Nutzfahrzeug-Kabelsätzen	156

4.2.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	157
4.2.2	Anwendung des Vorgehensmodells zur Integration von Produktvarianten	158
4.2.3	Schlussfolgerungen	163
5.	Zusammenfassung und Ausblick	165
5.1	Zusammenfassung	165
5.2	Ausblick	166
6.	Literaturverzeichnis	169
7.	Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung	187

1. Einleitung

Der Variantenreichtum von Produkten jedweder Art steigt kontinuierlich, immer schneller und scheinbar unaufhörlich in dem Bestreben immer mehr, sich immer schneller ändernde und immer individuellere Kundenanforderungen zu erfüllen – diese Feststellung ist mittlerweile so selbstverständlich, dass sie geradezu trivial erscheint. In diesem einleitenden Kapitel werden die Entwicklung, die Gründe und die Probleme großen Variantenreichtums umrissen, um basierend darauf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit abzuleiten. Nach der anschließenden Darlegung der Erfahrungsgrundlage des Autors erfolgen die Einordnung der Arbeit und die Darstellung ihres Aufbaus.

1.1 Ausgangssituation

Die viel zitierte Aussage Henry Fords "Any customer can have a car painted any color that he wants so long as it is black." (FORD & CROWTHER 1922, S. 72) zeugt von einer Zeit, in der die Erfüllung individueller Kundenwünsche, sofern sie mit irgendeiner Art von zusätzlichem Aufwand verbunden war, gar nicht erst zur Debatte stand. Möglich wurde diese aus heutiger Sicht geradezu arrogant wirkende Haltung, die das unternehmerische Denken und Handeln die gesamte erste Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts hindurch dominieren sollte, durch die seinerzeit vorherrschenden Verkäufermärkte, also eine Nachfrage, die das Angebot um ein vielfaches überstieg.

Die fortschreitende Sättigung der Nachfrage, die durch massive Produktivitätssteigerungen in den 60er Jahren erreicht wurde (KUNZ 2005, S. 1), läutete den steten Wandel der Verkäufermärkte zu Käufermärkten ein, der bis heute anhält (PICOT ET AL. 2003, S. 3). Unternehmen aller Branchen erkannten die damit einhergehende Stärkung der Abnehmermacht und reagierten auf die selbstbegründete Entwicklung mit der zunehmenden Orientierung an den Bedürfnissen ihrer Kunden.

Die beharrliche Kundenorientierung führte, neben der unausweichlichen Erhöhung der marktseitigen Qualitätsansprüche und Preissensibilität, zur permanenten Angebotsweiterung in nahezu allen Industriezweigen. Infolgedessen waren bereits die Unternehmen der 80er Jahre durch das Angebot großer Variantenvielfalt und den Aufbau hochflexibler Produktionssysteme geprägt (KLUGE ET AL. 2006, S. 65). Diese Entwicklung wurde durch die verstärkte Individualisierung der Kundenbedürfnisse und die Internationalisierung der Märkte, die nach dem Zerfall des Ostblocks in den 90er Jahren einen sprunghaften Verlauf nahm, weiter vorangetrieben (GROBE-HEITMEYER & WIENDAHL, 2004, S. 3).

Heute sehen sich Unternehmen der Investitions- und Konsumgüterindustrie im erbitterten Kampf um Anteile auf den längst globalen Märkten mit der Herausforderung konfrontiert, eine kontinuierlich steigende Zahl unterschiedlicher und oft gegensätzlicher Anforderungen wirtschaftlich zu erfüllen. Dabei werden trotz der längst vorhandenen Überkapazitäten in vie-

len Bereichen immer wieder Stimmen laut, die die Notwendigkeit einer noch konsequenteren Kundenorientierung propagieren.

1.2 Problemstellung

Variantenvielfalt bietet zunächst einmal zahlreiche nutzbringende Wirkungen, die in Abschnitt 2.5.1 ausführlich dargestellt werden, und ist laut KERSTEN (2002, S. 17) für die praktische Umsetzung einer Differenzierungsstrategie (PORTER 1980) auf Produktebene sogar unerlässlich. Die permanente Erweiterung des Produktprogramms um neue Produkte und Produktvarianten soll dabei in erster Linie der Befriedigung neuer Kundenbedürfnisse dienen. KUNZ (2005, S. 2) merkt an, dass gerade in Westeuropa neue Produkte und Produktvarianten auch mit der Motivation entwickelt wurden, „die internationale Konkurrenz durch technologische Überlegenheit zu deklassieren“. Die Befriedigung individueller Kundenbedürfnisse ist demnach eine Strategie, um dem hohen Wettbewerbsdruck in internationalen Märkten standzuhalten, wobei häufig eine Flucht in weniger attraktive Marktsegmente zu beobachten ist (KAISER 1995). Es wundert daher nicht, dass der Anstieg der Variantenvielfalt in gesättigten Märkten besonders hoch ist. Wie eine von WILDEMANN (2011, S. 2) veröffentlichte Untersuchung mehrerer Unternehmen zeigt, ist die Variantenvielfalt zwischen 1980 und 2002 in gesättigten Märkten annähernd doppelt so stark gestiegen wie in ungesättigten Märkten (Abbildung 1-1).

Zunahme der Variantenvielfalt zwischen 1980 und 2002

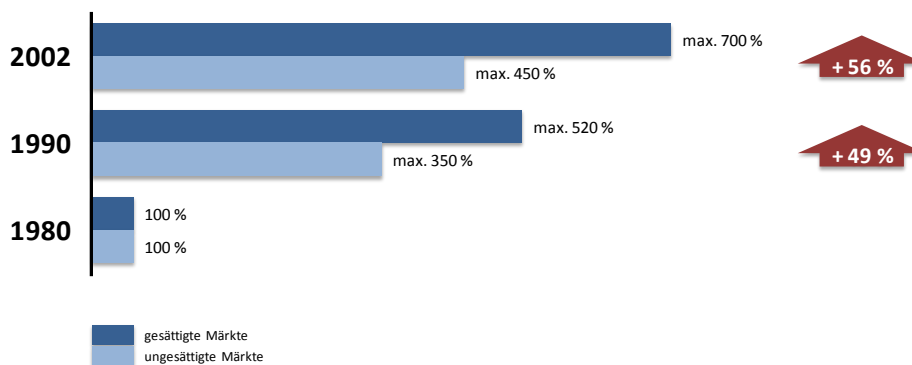


Abbildung 1-1 Entwicklung des Variantenwachstums in Anlehnung an WILDEMANN (2011, S. 2)

Die Einführung neuer Produktvarianten ist ein durchaus probates Mittel, um den Kundennutzen zu erhöhen und damit letztendlich Umsätze und Erlöse (zumindest kurzfristig) zu stabilisieren oder gar zu steigern. In gesättigten Märkten führen zusätzliche Produktvarianten jedoch häufig nicht zur Erlangung zusätzlicher Marktanteile. Vielmehr kommt es aufgrund von Kannibalisierungseffekten (CHILD ET AL. 1991, S. 75; HILL & RIESER 1993, S. 255) lediglich zu einer Substitution der bestehenden durch die neu eingeführten Produkte – und das bedeutet in vielen Fällen die Substitution von Standard- durch Sonderausführungen (AVAK 2007, S. 4).

Den positiven Auswirkungen, die potenziell mit einer Erweiterung des Produktprogramms einhergehen stehen zahlreiche negative Auswirkungen entgegen. Ein Großteil der negativen Auswirkungen liegt dabei in der Tatsache begründet, dass der stete Anstieg von Produktvarianten in der Regel mit einem ebenso steten Anstieg der darin enthaltenen Komponentenvarianten einhergeht. Werden neue Komponentenvarianten nicht äußerst gezielt entwickelt und eingesetzt, was bei weitem nicht immer der Fall ist, übersteigt deren Vielfalt die der nachgefragten Produktvarianten sehr schnell und oft sogar um ein Vielfaches. Eine im Jahr 2004 vom Network of Automotive Excellence (NoAE¹) in der Automobilindustrie durchgeführte Umfrage zeigt, dass 90 Prozent der Befragten eine konsequente Carry-over-Parts-Politik, also die konsequente Wiederverwendung von Komponenten, in den nicht kundenrelevanten Bereichen befürworten. Gleichzeitig mussten die Befragten eingestehen, dass die Umsetzung einer derartigen Politik noch nicht sehr weit vorangeschritten war und dass die angestrebten Höchstzahlen von Varianten um durchschnittlich 20 bis 30 Prozent überschritten wurden (STOCKMAR 2004, S. 4). Welch dramatische Ausmaße die unkoordinierte Entwicklung von Komponentenvarianten annehmen kann illustriert SCHLOTT (2005, S. 39) am Beispiel des Audi A6: Beim Modellwechsel² im Jahr 2004 explodierte die Zahl der Komponentenvarianten in einigen Bereichen regelrecht. So stieg allein die Anzahl der Varianten der vorderen, linken Türverkleidung von 608 auf 18.816 – eine Zunahme von mehr als 3.000 Prozent (Abbildung 1-2).

Variantenexplosion beim Modellwechsel des Audi A6 im Jahr 2004

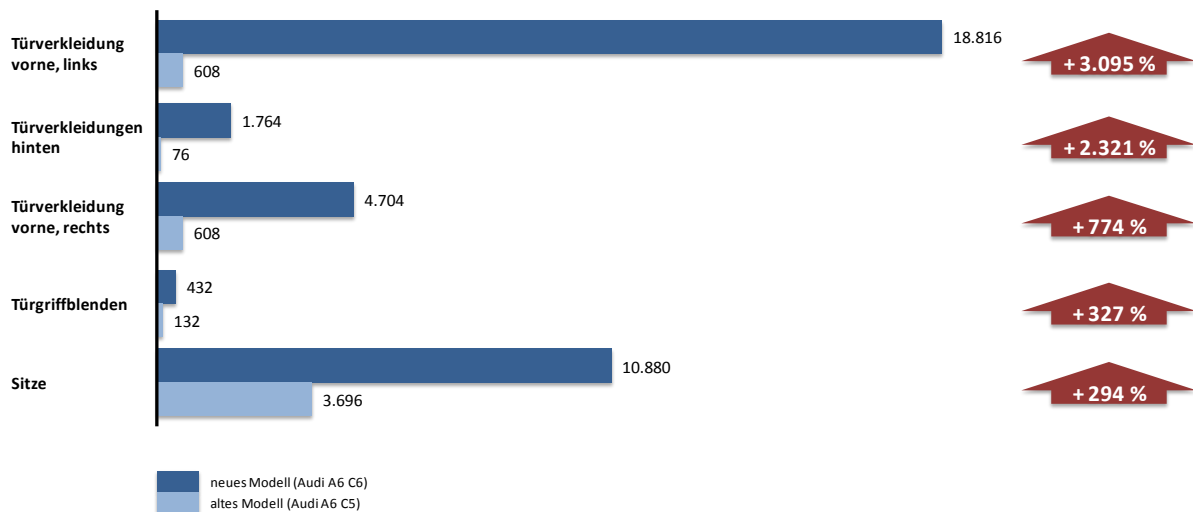


Abbildung 1-2 Ausufernde Komponentenvielfalt am Beispiel des Audi A6 in Anlehnung an SCHLOTT (2005, S. 39)

¹ NoAE ist eine freie, offene Initiative für die Automobil- und Zuliefererindustrie und ein unternehmensübergreifendes Expertennetzwerk mit der Zielsetzung, den strategischen, organisatorischen und technologischen Erfahrungsaustausch für die Unternehmen zu intensivieren (EWF INSTITUTE NOAE 2010).

² Wechsel vom Modell A6 C5 auf das Modell A6 C6

Die Handhabung solch ausufernder Variantenvielfalt stellt alle Bereiche entlang der Wertschöpfungskette vor große Herausforderungen und verursacht immense Zusatzaufwände. Außerdem gilt es zu bedenken, dass auch der Kunde, zumindest mittelbar, mit den Komponentenvarianten in Berührung kommt. Dabei kann eine derartige Vielfalt gerade Laien bei der Produktauswahl schnell überfordern und letztendlich eher abschreckend als anziehend wirken.

Mit der Anzahl angebotener Varianten sinken erfahrungsgemäß die verkauften Stückzahlen pro Variante. Diesen Effekt bekommen besonders die Hersteller von Premiumfahrzeugen, die traditionell sehr individuell ausgestattet werden, zu spüren. So lieferte das Mercedes-Benz-Werk in Rastatt zwischen 2003 und 2005 1,1 Millionen Exemplare der A-Klasse aus – zwei davon waren identisch (SCHLOTT 2005, S. 38). Derselbe Effekt zeigt sich auch auf Ebene der einzelnen Komponenten, obwohl diese zumeist eine deutlich geringere Varianz aufweisen als die Produkte, die aus ihnen gefertigt werden. Ein gerne angeführtes Beispiel für ausufernde Komponentenvielfalt sind die 130 Varianten des Moduls im Dachhimmel des Audi A6³, das Innenlicht- und Schaltfunktionen zu einer ergonomischen Einheit zusammenfasst (ROTHER 2005). Die daraus resultierenden logistischen Mehraufwände und -kosten standen offensichtlich in keinem Verhältnis zum erzielten Kundennutzen, denn die Anzahl der Varianten konnte nachträglich bzw. für die Verwendung in anderen Modellen auf 32 reduziert werden, wodurch ein zweistelliger Millionenbetrag eingespart wurde (Rother 2005). Der eigentlich interessante Aspekt dieses Beispiels bleibt jedoch meist unerwähnt: Die Verbauraten der 130 ursprünglichen Varianten lagen zwischen 8 und nahezu unglaublichen 0,003 Prozent.

Die Einzel- und Kleinserienfertigung hat definitionsgemäß die größte und am wenigsten planbare Varianz zu bewältigen, da sie vollständig auf die individuellen Wünsche des Kunden abgestimmt ist und erst durch einen Kundenauftrag ausgelöst wird (BAUMBERGER 2007, S. 60). Tatsächlich ist der Vorbereitungsgrad der Entwicklung und Fertigung aufgrund der Einzigartigkeit der herzustellenden Produkte und Komponenten oft sogar so gering, dass nach ADAM (1998, S. 22) jede Form von Standardisierung und Strukturierung fehlt. Sämtliche Prozesse der Einzel- und Kleinserienfertigung sind jedoch auf genau diesen Umstand ausgerichtet, sodass sich die zwangsläufig mit einer steigenden Variantenvielfalt verbundene Stückzahlreduktion (pro Variante) besonders negativ auf die Serien- und Großserienfertigung auswirkt.

Wie die Bezeichnung richtig vermuten lässt, versucht die kundenindividuelle Massenproduktion⁴ (Mass Customization), die Vorteile der kundenindividuellen Produktion (Einzel- und Kleinserienfertigung) mit denen der Massenproduktion (Serien- und Großserienfertigung) zu vereinen. Dabei sind die Produktumfänge, die vom Kunden individuell gestaltet werden können⁵ vordefiniert. Vor allem werden Varianten aber erst dann generiert, wenn sie tatsächlich

³ Modell A6 C6

⁴ Je nach Kontext wird die kundenindividuelle Massenproduktion auch als massenhafte Produktindividualisierung bezeichnet; vgl. BAUMBERGER (2007, S. 21ff).

⁵ Die tatsächliche Integration des Kunden in den Gestaltungsprozess ist das wesentliche Charakteristikum der kundenindividuellen Massenproduktion und ein Abgrenzungskriterium zur variantenreichen Serienproduktion, bei der der Kunde ausschließlich vordefinierte Komponenten auswählen, diese aber nicht mitgestalten kann

nachgefragt werden. Aufgrund dieser beiden Charakteristika ist die kundenindividuelle Massenproduktion seltener von ausufernder Variantenvielfalt und ihren Folgen betroffen. Im Falle der variantenreichen Serienproduktion werden die Entwicklungsumfänge, die an kundenindividuelle Anforderungen angepasst werden sollen ebenfalls festgelegt. Allerdings werden alle daraus resultierenden Varianten im Vorfeld auskonstruiert und müssen jederzeit gefertigt werden können. Der Vorteil dieses Konzepts besteht in der Möglichkeit, wirtschaftlichere Fertigungsverfahren nutzen zu können. Die Wirtschaftlichkeit derartiger Verfahren beruht jedoch in erster Linie auf Degressionseffekten, d. h. sie korreliert direkt mit der Größe der Fertigungslose und daher auch mit der angebotenen Variantenvielfalt. Denn: die angebotene Variantenvielfalt hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Größe der Fertigungslose und somit auf den Anteil unproduktiver Rüst- und Nebenzeiten. Ist dieser zu groß, können keine Kostenvorteile realisiert werden und die für die Entwicklung und Handhabung der Varianten anfallenden Kosten können nicht aufgewogen werden. Umso bedenklicher ist es, dass die Variantenvielfalt in einigen Branchen bereits als so weit vorangeschritten gilt, dass von einer Serienfertigung im Prinzip keine Rede mehr sein kann (VOLLRATH 2003, S. 44). Andererseits sind die Potenziale der Massenfertigung in vielen Märkten heute ausgeschöpft (LINDEMANN ET AL. 2006, S. 2), sodass die Reduzierung von Variantenvielfalt nicht zwangsläufig zur Realisierung von Kostenvorteilen in der Fertigung führt.

Die negativen Auswirkungen hoher Variantenvielfalt auf den Unternehmenserfolg sind seit langem bekannt und konnten empirisch nachgewiesen werden. Bereits die im Jahr 1994 veröffentlichten Ergebnisse einer Langzeitstudie zur Situation von 102 Unternehmen der internationalen Elektroindustrie⁶, die zwischen 1987 und 1991 von McKinsey in Zusammenarbeit mit den Universitäten Augsburg und Stanford sowie dem Stanford Japan Center durchgeführt worden war, zeigen, dass die Anzahl der von einem Unternehmen angebotenen Produktvarianten mit dessen Erfolg korreliert (KLUGE ET AL. 2006, S. 67).

(BAUMBERGER 2007, S. 27). Diese Differenzierung liegt der Verwendung des Begriffs kundenindividuelle Massenproduktion in der Praxis allerdings oft nicht zugrunde.

⁶ Im Rahmen der Studie wurden Unternehmen aus Europa, den USA und Asien miteinander verglichen.

Anzahl der Produktvarianten im Jahr 1991

pro 100 Mio. US-Dollar Umsatz; Währungsumrechnung mit Kaufkraftparitäten

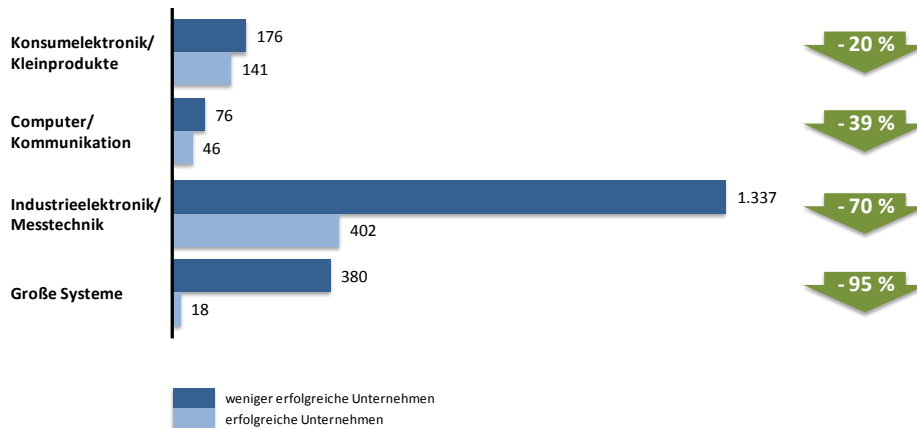


Abbildung 1-3 Korrelation von Produktvariantenvielfalt und Unternehmenserfolg nach KLUGE ET AL. (2006, S. 67)

Obwohl die vielfältigen negativen Auswirkungen hoher Variantenvielfalt bekannt sind, reagieren bis heute die wenigsten Unternehmen mit einer angemessenen Produktpolitik. Ein wesentlicher Grund dafür ist in der Tatsache zu suchen, dass die in der Regel eingesetzten klassischen Kostenrechnungssysteme die negativen Effekte zusätzlicher Produktvarianten oft kaschieren oder sogar ins Gegenteil umkehren: Die Einführung zusätzlicher Produktvarianten schlägt sich massiv auf die Gemeinkosten nieder. Da die Gemeinkosten aber auf alle Produkte umgelegt werden, kommt es zu einer systematischen Kostenverzerrung in deren Folge bestehende Produktvarianten überdurchschnittlich, neue Produktvarianten hingegen unterdurchschnittlich stark belastet werden. Zusätzliche Produktvarianten erscheinen daher grundsätzlich profitabler als sie tatsächlich sind. SCHUH & SCHWENK (2001, S. 18) sprechen in diesem Zusammenhang von einer Quersubventionierung exotischer Produktvarianten. Ihrer Erfahrung nach treten viele Unternehmen zunächst mit einem schmalen Produktprogramm in den Markt ein. In dem Bestreben neue Kunden zu gewinnen werden im Lauf der Zeit jedoch neue Produktvarianten generiert und letztlich immer exotischere Marktnischen besetzt. Diese Verbreiterung des Produktprogramms führt in vielen Fällen zu einem Rückgang der abgesetzten Stückzahlen pro Variante (Abflachen der Absatzkurve). Gleichzeitig bleibt die zuvor dargestellte Diskrepanz zwischen den effektiven, also den tatsächlich entstehenden Kosten und den verrechneten Kosten in der Regel unerkannt, sodass die Umsätze und Erlöse kontinuierlich sinken (Abbildung 1-4). Wird auf diese Entwicklung wiederum mit dem Angebot zusätzlicher Produktvarianten reagiert, schließt sich der von RATHNOW (1993, S. 53) beschriebene Teufelskreis der Variantenentstehung.

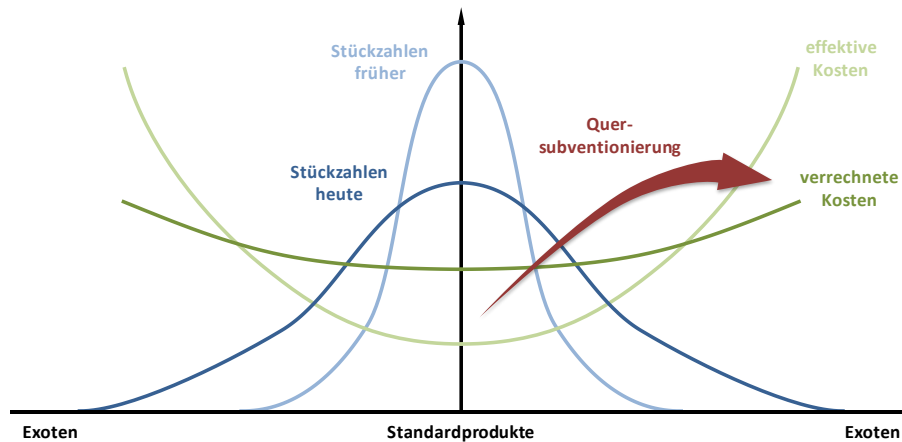


Abbildung 1-4 Typische Entwicklung des Produktprogramms infolge der Quersubventionierung exotischer Produktvarianten in Anlehnung an SCHUH & SCHWENK (2001, S. 18)

Neben der Intransparenz bezüglich der Kostenwirkung zusätzlicher Produktvarianten ist die Intransparenz bezüglich der Eignung vorhandener Komponentenvarianten ein wesentlicher Treiber der Variantenvielfalt. Ist die Entscheidung zur Entwicklung einer neuen Produktvariante gefallen, so gilt es zu prüfen, ob und welche der vorhandenen Komponentenvarianten verwendet werden können, um die entsprechenden Anforderungen zu erfüllen. Die Überprüfung vorhandener Komponentenvarianten stellt jedoch eine herausfordernde und zeitintensive Aufgabe dar – selbst für erfahrene Entwickler und auch dann, wenn die Anzahl der zu überprüfenden Varianten überschaubar ist. RATHNOW (1993, S. 27) geht sogar davon aus, dass der Aufwand zum Auffinden geeigneter Komponentenvarianten oftmals höher ist, als der zum Anlegen einer neuen Variante. Das unkritische Anlegen neuer Komponentenvarianten bietet zudem den Vorteil der Risikominimierung. Da die Wiederverwendung von Komponenten häufig (geringfügige) konstruktive Anpassungen erfordert, besteht immer auch die Gefahr, dass eben diese Anpassungen zu nicht bedachten Konflikten in den ursprünglichen Produktvarianten führen. Um die daraus resultierenden Aufwände (und eventuelle disziplinarische Maßnahmen) von vornherein zu vermeiden, bietet sich die Erstellung neuer Komponentenvarianten an. Aufgrund der Tatsache, dass jede neu erstellte Variante das zukünftige Auffinden geeigneter Komponenten erschwert, zeichnet sich auch hier ein Teufelskreis ab. Der kurzfristigen Aufwandsersparnis und Risikovermeidung stehen darüber hinaus die immensen Folgekosten jeder zusätzlichen Variante in allen nachgelagerten Prozessen gegenüber. Außerdem besteht langfristig die Gefahr, dass sehr ähnliche oder gar identische Anforderungen mit unterschiedlichen Komponentenvarianten realisiert werden.

Die Ausführungen zur Quersubventionierung von Produktvarianten haben gezeigt, dass selbst die vom Markt verlangte und technisch notwendige Vielfalt mitnichten profitabel sein muss. Die kritische Betrachtung der heutzutage bestehenden Variantenvielfalt muss jedoch noch früher ansetzen. So zeigt sich, dass ein erheblicher Teil der angebotenen – und hohe Kosten verursachenden – Produkt- und Komponentenvarianten überhaupt nicht nachgefragt wird. Laut einer Untersuchung von KERSTEN (2002, S. 2F) sind gut ein Viertel aller Produktvarian-

ten und gut ein Drittel aller Komponentenvarianten überflüssig (Abbildung 1-5). Dies bestätigen auch die Ergebnisse einer 2004 von der Düsseldorfer Unternehmensberatung intra unter Automobilherstellern und -zulieferern durchgeführten Umfrage, wonach 30 Prozent der angebotenen Produktvarianten vom Kunden nicht bestellt oder gar nicht erst wahrgenommen werden (SCHLOTT 2005, S. 40). Von diesem Problem seien insbesondere deutsche Unternehmen betroffen, deren ausgeprägte Ingenieurkultur einen Hang zur technologiegetriebenen Überausstattung hervorbringe (KLUGE ET AL. 2006, S. 11).

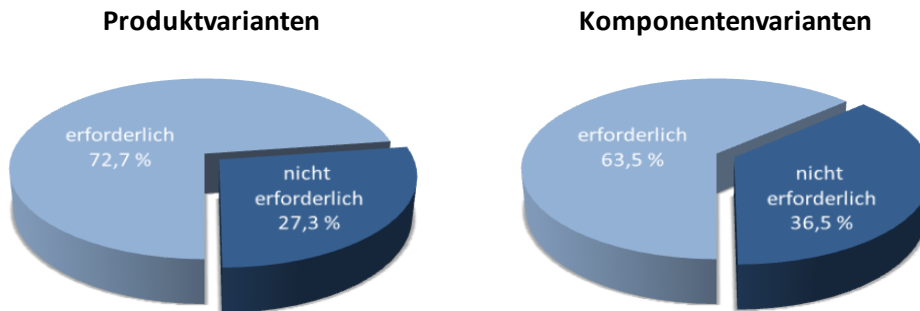


Abbildung 1-5 Anteile erforderlicher bzw. nicht erforderlicher Produkt- und Komponentenvarianten nach KERSTEN (2002, S. 2)

Da die Vormachtstellung des Kunden laut MATERN (2000) auch im 21. Jahrhundert fortbestehen wird, werden auch weiterhin permanent neue Produktvarianten zur Erfüllung kundenindividueller Anforderungen generiert werden. Überall dort, wo Produkte zwar kundenspezifisch, jedoch kundenanonym entwickelt werden (wie im Falle der variantenreichen Serienproduktion üblich), wird daher auch weiterhin die Gefahr bestehen, Varianten zu generieren, die letztendlich niemals nachgefragt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Erkennen der gewünschten und honorierten Produktvarianten sowie die effiziente technische Umsetzung dieser Produktvarianten die beiden Grundpfeiler des Variantenmanagements darstellen. Beides muss auf der Grundlage verlässlicher (und selbstverständlich geeigneter) Informationen geschehen. Gerade das Erkennen gewünschter Produktvarianten dient oft der Prognose zukünftiger Entwicklungen, was naturgemäß mit einer gewissen Unschärfe verbunden ist. Umso wichtiger ist es, dass sich derartige vorausschauende Betrachtungen auf verlässliche Informationen aus der Vergangenheit bzw. Gegenwart stützen. Hier zeigt sich der Konflikt, der zu einem akuten Handlungsbedarf führt und die zentrale Motivation dieser Arbeit darstellt: Unternehmen aller Branchen verfügen heute über äußerst umfangreiche und detaillierte Daten zu den Eigenschaften, Komponenten, Verkaufshäufigkeiten, und Kosten von Produktvarianten, die kostbare Informationen für das Variantenmanagement enthalten. Leider sind diese Informationen in vielen Fällen de facto nicht zugänglich, weil die Daten über verschiedene Software-Systeme, Unternehmensbereiche und/oder Standorte verteilt und zudem vollkommen ungeeignet aufbereitet sind. Zwar existieren Konzepte zur problemadäquaten Auswahl, Zusammenführung und Aufbereitung entspre-

chender Daten. Allerdings sind die meisten von ihnen ungeeignet um realistische, d. h. enorm umfangreiche Variantenspektren darzustellen und zu analysieren.

1.3 Zielsetzung

Die obigen Ausführungen zur Problemstellung haben gezeigt, dass nach wie vor dringender Handlungsbedarf zur Bewältigung der Variantenvielfalt von Serienprodukten und deren Komponenten besteht. Übergeordnete Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung eines Konzepts, das es Unternehmen ermöglicht, ausgewählte Umfänge der ohnehin vorliegenden, bislang aber nur unzureichend nutzbaren Daten einem umfassenden Variantenmanagement zugänglich zu machen. Dabei sollen die marktseitigen Anforderungen auf eine objektive Basis gestellt und mit den technischen Belangen in Einklang gebracht werden, um das gesamtwirtschaftliche Optimum zu erreichen.

Der zu entwickelnde Ansatz soll es ermöglichen, auch und gerade umfangreiche Variantenspektren abzubilden und detaillierten Untersuchungen zu unterziehen. Ferner sind Analyse- und Optimierungsstrategien zu entwickeln und in eine Methodik zu kleiden, die ihre praktische Anwendung ermöglicht. Aufgrund der enormen Betrachtungsumfänge und der Komplexität der Thematik ist eine angemessene Software-Unterstützung unumgänglich. Daher ist im Rahmen dieser Arbeit auch ein entsprechendes Software-Werkzeug zu konzipieren.

Die übergeordnete Zielsetzung lässt sich auf folgende forschungsleitende **Teilzielsetzungen** herunterbrechen:

- Die **Ursachen und Wirkungen** großer Variantenvielfalt sind zu **klären**, denn deren Kenntnis ist notwendige Voraussetzung zur Ableitung von Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik. Die im Einzelfall relevanten Ursachen und Wirkungen müssen zudem vor der praktischen Anwendung der Methodik ins Kalkül gezogen werden, um die tatsächlich anzuwendenden Maßnahmen auswählen und deren Wirksamkeit abschätzen zu können.
- Der **Stand der Forschung und Technik** im Bereich des Variantenmanagements ist zu **beleuchten**. Dazu sind aktuelle Trends in der grundsätzlichen Beurteilung großer Variantenvielfalt sowie vorhandene Ansätze zur Vermeidung, Handhabung und Reduzierung zu großer Variantenvielfalt zu beschreiben.
- Die **vorhandenen Ansätze** im Variantenmanagement sind hinsichtlich ihrer Eignung für umfangreiche Variantenspektren zu **analysieren**, um anschließend deren Anwendbarkeit bzw. Adaption im Rahmen des zu entwickelnden Konzepts zu beurteilen.
- Die **Anforderungen an einen Ansatz** zur Abbildung umfangreicher Variantenspektren, eine Methodik zu deren Analyse und Optimierung sowie ein Software-Werkzeug zur Durchführung der Analysen sind zu **klären**. Grundlage dafür bildet die zuvor durchgeführte Bewertung der Ursachen und Wirkungen großer Variantenvielfalt und der vorhandenen Ansätze zu deren Steuerung.

- Die **wesentlichen Bestandteile** des neuen Ansatzes sind zu **evaluieren**. Dazu sind die Methodik und das Software-Werkzeug auf authentische Beispiele aus der industriellen Praxis anzuwenden.
- Die im Zuge der Evaluation identifizierten **Verbesserungspotenziale** des Ansatzes sind kritisch zu **diskutieren**. Basierend darauf ist abschließend der zukünftige Forschungsbedarf abzuleiten.

Die vorliegende Arbeit erhebt den Anspruch, einen wertvollen Beitrag zum Umgang mit der kontinuierlich steigenden Variantenvielfalt zu leisten, der aufgrund der sich abzeichnenden gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. Die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnden Strategien zur Analyse von Variantenspektren sollen und können dabei weder vollständig noch vollständig ausdetailliert sein, da die konkreten in der Praxis auftretenden Fragestellungen äußerst vielfältig und in hohem Maße situationsspezifisch sind. Vielmehr sollen ein grundsätzlicher Ansatz und eine Software zur Abbildung, d. h. zur Aufnahme und Visualisierung, *umfangreicher* Variantenspektren geschaffen werden, auf deren Basis zukünftig weitere problem- und unternehmensspezifische Analysen entwickelt werden können.

1.4 Erfahrungsgrundlage des Autors

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis der Erfahrungen, die der Autor im Rahmen seiner fünfjährigen Tätigkeit als Berater bei der TESEON GmbH sammeln konnte.

Den größten Teil der Erfahrungsgrundlage stellt zweifelsohne das vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (StMWIVT) geförderte⁷ Forschungsprojekt zur „Entwicklung einer technischen Dienstleistung zum ganzheitlichen Variantenmanagement“ dar. Die darin erarbeiteten Ergebnisse basieren auf der gemeinsamen Durchführung von Studien und Projekten mit verschiedenen Partnern aus der Automobil- und Automobilzuliefererindustrie. Zu nennen sind hier in erster Linie die BMW AG, die LEONI AG, die MAN Nutzfahrzeuge AG sowie die Webasto AG.

Die Mitarbeit am Forschungsprojekt „Methodische Entwicklung von Systembaukästen für Aufzugsbremsen und bahnförmige Funktionsmaterialien“, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert⁸ und in Kooperation mit der Chr. Mayr GmbH + Co. KG und der Schreiner Group GmbH & Co. KG durchgeführt wurde, ermöglichte dem Autor weitere Einblicke in die betriebswirtschaftlichen, vor allem aber in die technischen Aspekte des Variantenmanagements.

In zahlreichen Industrieprojekten konnten die Erfahrungen ausgeweitet und angewendet werden. Auch wenn der Schwerpunkt dabei auf der beratenden Unterstützung der Produktentwicklung und des Produktmanagements lag, wurden immer wieder auch Fragestellungen aus

⁷ Die Förderung erfolgte im Rahmen des „Bayerischen Programms zur Förderung technologieorientierter Unternehmensgründungen (BayTOU)“.

⁸ Die Förderung erfolgte im Rahmen des „Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM)“.

anderen Bereichen wie der Produktionsplanung und -steuerung oder dem Projekt- und Prozessmanagement betrachtet. Zielsetzungen der Projekte waren zum einen die Vermeidung zusätzlicher Variantenvielfalt durch entsprechende Maßnahmen während der Konzeptionsphase, zum anderen aber auch die Handhabung und nachträgliche Reduktion bestehender Variantenvielfalt.

Die Teilnahme am Industriearbeitskreis „Automatisierungsgerechtes Bordnetzdesign“, der von der Bayern Innovativ Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer GmbH ins Leben gerufen wurde, ermöglichte neben der Durchführung von Pilotprojekte mit der AUDI AG und der AFL Europe GmbH den Austausch mit zahlreichen weiteren Automobilherstellern und -zulieferern und rundet die Erfahrungsgrundlage des Autors ab.

Aufgrund des Projektspektrums ergab sich eine Fokussierung auf die Situation von Unternehmen der Automobilbranche. Da die in anderen Branchen zu bewältigenden Probleme jedoch ähnlicher Natur sind, sind auch die Ergebnisse dieser Arbeit im Grundsatz auf sie übertragbar.

1.5 Einordnung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit fokussiert, den Ausführungen zur Zielsetzung in Abschnitt 1.3 folgend, auf die betriebswirtschaftliche und (mitunter gleichzeitige) technische Optimierung umfangreicher Variantenspektren. Sie versucht die Anforderungen und Ziele der Produktprogrammplanung mit denen der systematische Produktentwicklung zu verbinden und ist daher an der Schnittstelle zwischen Marketing und Vertrieb auf der einen Seite und Forschung und Entwicklung auf der anderen Seite angesiedelt. Diese Schnittstelle bildet, dort wo sie institutionalisiert ist, das Produktmanagement⁹.

Die Vertriebs- und Entwicklungsabteilungen sind maßgeblich für die Variantenvielfalt eines Unternehmens verantwortlich und stehen daher im Mittelpunkt aller nachfolgenden Betrachtungen. Selbstverständlich hat die von einem Unternehmen zu bewältigende Produkt- und Komponentenvielfalt Auswirkungen auf alle direkt und indirekt am Wertschöpfungsprozess beteiligten Abteilungen, sodass ein umfassendes Variantenmanagement letztendlich die Belange sämtlicher Unternehmensbereiche berücksichtigen muss. An erster Stelle wäre hier mit Sicherheit die Produktion zu nennen, deren Handlungsspielräume unmittelbar vom Ausmaß der angebotenen Variantenvielfalt abhängen. Gleichzeitig stellen gerade die Restriktionen und Zwänge, die aus modernen Produktionsverfahren und -anlagen resultieren in der Praxis einen wichtigen und immer wichtiger werdenden Treiber der Variantenvielfalt dar, wie die Ausführungen in Abschnitt 2.6.2 zeigen werden. Der Vertrieb und die Entwicklung, und dort wo vorhanden das Produktmanagement, treffen jedoch genau die Entscheidungen, die das Ausmaß der Variantenvielfalt letzten Endes determinieren – sie tragen also die Verantwortung für

⁹ Trotz seiner Schnittstellenfunktion bildet das Produktmanagement in vielen Unternehmen keine eigenständige Abteilung, sondern ist den Vertriebs- oder Entwicklungsabteilungen angegliedert. Einigen Unternehmen unterscheiden sogar vertriebliches und technisches Produktmanagement, was der Schnittstellenfunktion gänzlich zu widersprechen scheint.

alle varianten- bzw. vielfaltsinduzierten Kosten und Effekte. Dabei ist der Vertrieb nicht nur maßgeblich an den allerersten Phasen des Produktentstehungsprozesses beteiligt, sondern in der Praxis meist federführend bei der Produktinitiierung. Er trifft demnach Entscheidungen, die selbst für die Entwicklung richtungsweisend sind und trägt somit die größte Verantwortung. Zudem obliegt es dem Vertrieb und der Entwicklung, vor allem aber dem Produktmanagement, die oft gegensätzlichen Anforderungen der unterschiedlichen Unternehmensbereiche zu sammeln, gegeneinander abzuwägen und in die Entscheidungsfindung einfließen zu lassen. Die in Abbildung 1-6 dargestellte thematische Einordnung der Arbeit in den Bereich des Produktmanagements ist daher legitim und vernachlässigt nicht etwa die Belange anderer Unternehmensbereiche.

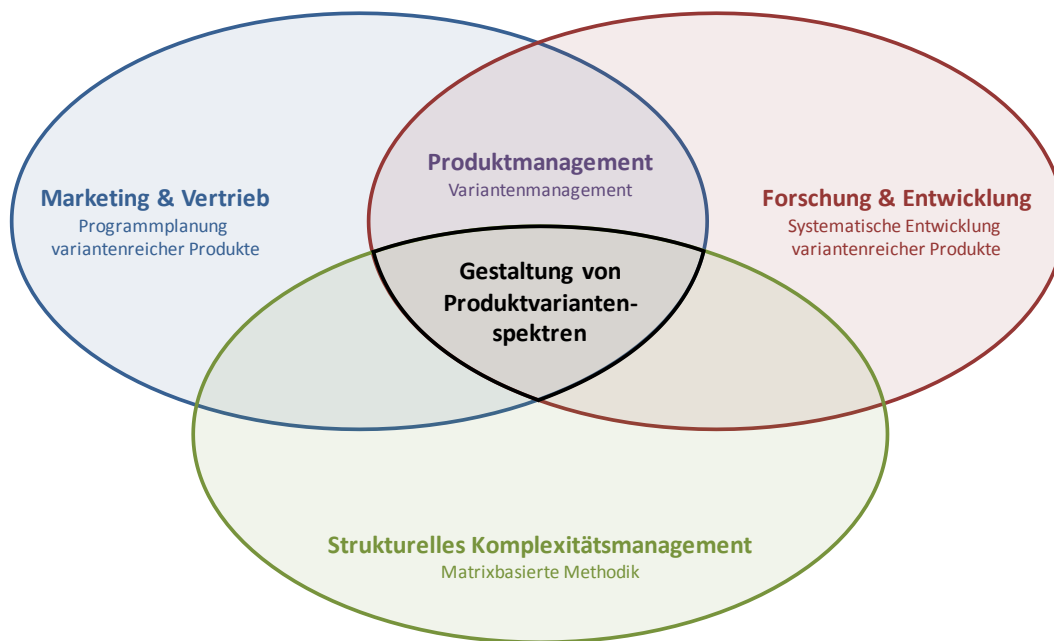


Abbildung 1-6 Einordnung der Arbeit

Das strukturelle Komplexitätsmanagement¹⁰ (LINDEMANN ET AL. 2009) ist eine Methodik zur Erfassung, Darstellung und Analyse komplexer Sachverhalte. Es basiert auf der Multiple-Domain Matrix (MDM), einem generischen Ansatz zur Strukturierung der Zusammenhänge verschiedenster Bereiche (Domänen). Das strukturelle Komplexitätsmanagement entstammt der systematischen Produktentwicklung, wo es bis heute am weitesten verbreitet ist. Es wurde jedoch auch erfolgreich auf Problemstellungen anderen Disziplinen, unter anderem auf solche der Produktprogrammplanung, angewendet und umfasst vielversprechende Ansätze zur Abbildung umfangreicher Variantenspektren.

¹⁰ Der Begriff Komplexitätsmanagement wird (im deutschsprachigen Raum) häufig als Synonym für den Begriff Variantenmanagement verwendet; vgl. z. B. SCHUH & SCHWENK (2001, S. 32). Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist das Variantenmanagement jedoch als Teildisziplin des Komplexitätsmanagements zu verstehen.

1.6 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit basiert auf den in Abschnitt 1.3 dargelegten Ziel- und Teilzielsetzungen. Die im Folgenden erläuterte Kapitelstruktur ist Abbildung 1-7 zu entnehmen.



Abbildung 1-7 Aufbau der Arbeit

Die einführenden Erläuterungen in diesem Kapitel 1 dienen in erster Linie der Klärung der Problemstellung und der Ableitung des Handlungsbedarfs in Form der Zielstellung dieser Arbeit.

Das folgende Kapitel 2 widmet sich den Grundlagen des Variantenmanagements und dem Stand der Forschung und Technik in diesem Bereich. Dazu werden zunächst die relevanten Begriffe definiert und die Ursachen sowie Folgen großer Variantenvielfalt beleuchtet. Anschließend werden die grundlegenden Zielrichtungen und Limitierungen des Variantenmanagements erörtert. Einen Schwerpunkt bildet dabei die Darstellung von Herausforderungen aus der industriellen Praxis. Im Rahmen der Diskussion bestehender Ansätze und Software-Werkzeuge zur Analyse und Optimierung von Variantenspektren, werden auch das Konzept der Multiple-Domain Matrix (MDM) und das darauf aufbauende strukturelle Komplexitätsmanagement vorgestellt.

Kapitel 3 stellt den Hauptteil der Arbeit dar. Darin werden zunächst die methodischen Grundlagen zur Abbildung von Variantenspektren, d. h. in erster Linie die Überführung der Eigenschaften- und Komponentenkombinationen von Produktvarianten in eine geeignete Matrixnotation, erläutert. Anschließend werden das für die praktische Anwendung notwendige Vorgehen und die grundlegenden Analysestrategien erarbeitet. Abschließend wird das Software-Werkzeug zur Durchführung der Analysen und zur Visualisierung der Analyseergebnisse

konzipiert. Dabei liegen die Schwerpunkte auf der Betrachtung der (unternehmensspezifischen) Unterschiede in den vorliegenden Daten bzw. auf der darauf basierenden Definition eines einheitlichen Datenformats und Importprozesses.

Kapitel 4 beschreibt die praktische Anwendung des entwickelten Ansatzes anhand zweier Beispiele aus der Automobilindustrie mit unterschiedlichen Zielsetzungen. Auf Grundlage dieser Beispiele erfolgt die Evaluation des Ansatzes, also die kritische Diskussion der erzielten Ergebnisse, die Bewertung des Nutzens aus Anwendersicht sowie die Identifikation von Verbesserungspotenzialen.

Kapitel 5 fasst die Ergebnisse der Arbeit und die Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung der entwickelten Methode und des Software-Werkzeugs zusammen. Der darauf basierende Ausblick auf den zukünftigen Handlungs- bzw. Forschungsbedarf schließt die Arbeit ab.

2. Grundlagen und Stand der Forschung und Technik

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die Auseinandersetzung mit Variantenvielfalt vermittelt und der Stand der Forschung und Technik im Bereich des Variantenmanagements beleuchtet. Um ein einheitliches Verständnis zu schaffen, erfolgt zunächst die Definition relevanter Begriffe und die Abgrenzung des Themengebiets. Anschließend werden die Ursachen und Folgen großer bzw. zu großer Variantenvielfalt sowie die grundsätzlich damit verbundenen Herausforderungen dargelegt. Nach einer kurzen Einführung in die übergeordneten Zielrichtungen des Variantenmanagements erfolgt die Diskussion vorhandener Hilfsmittel und Konzepte zur Steuerung der Varianz von Produkten und Komponenten. Abschließend werden die wesentlichen heute verfügbaren Software-Tools zur Unterstützung dieser Aufgaben vorgestellt und verglichen.

2.1 Definition relevanter Begriffe

In den zahlreichen Veröffentlichungen¹¹ zum Thema Variantenvielfalt bzw. -management werden immer wieder dieselben Begriffe verwendet. Diesen Begriffen liegt jedoch kein einheitliches Verständnis zugrunde, sodass sie auch nicht einheitlich, und zum Teil sogar gegensätzlich, verwendet werden. Es ist daher notwendig, die im Zusammenhang mit der Diskussion über Varianten relevanten Begriffe zu definieren und voneinander abzugrenzen.

2.1.1 Produkt

Nach LINDEMANN (2001, S. 1-4) ist unter einem Produkt jedes künstlich geschaffene Erzeugnis zu verstehen, das einem vordefinierten Zweck dient. LINGNAU (1994, S. 18) verwendet die Begriffe Produkt und Erzeugnis synonym und versteht unter Produkten ausschließlich Sachgüter, die für die Verwertung am Absatzmarkt vorgesehen sind. GEMBRYNS (1998, S. 7) definiert Produkte noch enger als die rein materiellen Bestandteile eines produzierenden Unternehmens.

HEINA (1999, S. 4) definiert Produkte hingegen als Sachleistungen *und* damit verbundene Dienstleistungen, die zur Befriedigung von Kundenbedürfnissen hergestellt und auf dem Markt abgesetzt werden. Diese recht weit gefasste Definition des Begriffs Produkt trifft ebenso auf einige andere in jüngerer Vergangenheit aufgekommene Begriffe zu. So finden sich in der Literatur nahezu identische Definitionen in Zusammenhang mit dem Begriff des hybriden Produkts (vgl. z. B. KERSTEN ET AL. 2006, S. 191; KORELL & GANZ 2000, S. 154; SPATH & DEMUB 2003, S. 476) und des (hybriden) Leistungsbündels (vgl. z. B. ENGELHADT 1993, S. 398; SCHUH & GEORGI 2007, S. 63; LANGER ET AL. 2009, S. 71).

¹¹ Ein umfassender Überblick findet sich z. B. bei PULM (2004, S. 128ff).

Die derartige Erweiterung des klassischen Produktbegriffs ist laut KLEINALTENKAMP (1998, S. 38) schon dadurch gerechtfertigt, dass die eindeutige und allgemeingültige Abgrenzung von Sach- und Dienstleistungen überhaupt nicht möglich ist. Zudem werden laut ENGELHARDT ET AL. (1993, S. 407) in der unternehmerischen Praxis ohnehin stets Leistungsbündel vermarktet. Die Tendenz zur Betrachtung von Leistungsbündeln ist darüber hinaus Ausdruck einer bewusst immer weiter vorangetriebenen Kundenorientierung in nahezu allen Fachbereichen (MEIER ET AL. 2005, S. 528; MEIER ET AL. 2006, S. 432). So hat sich z. B. der SFB/TR29¹², laut Eigenaussage, die Etablierung eines innovativen, nutzenorientierten Produktverständnisses von Sach- und Dienstleistungen zum Ziel gesetzt.

Dienstleistungen verfügen, ebenso wie Sachleistung, über verschiedenste Eigenschaften, und Eigenschaften stellen die wesentlichen Betrachtungsobjekte des Variantenmanagements dar (vgl. Abschnitt 2.1.2). Ein erheblicher Teil der im Folgenden dargelegten methodischen Grundlagen, und somit auch der entwickelten Lösungsansätze, gilt demnach gleichermaßen für Dienst- und Sachleistungen. Im Gegensatz zu Dienstleistungen verfügen Sachleistungen jedoch auch über physische Komponenten. Aufgrund eben dieser physischen Komponenten, also aufgrund ihrer Materialität (ENGELHARDT ET AL. 1993, S. 417), erfordern Sachleistungen eine deutlich weitergehende Betrachtung als Dienstleistungen. Die vorliegende Arbeit fokussiert daher auf die Betrachtung von Produkten im Sinne reiner Sachleistungen (bzw. im Sinne der reinen Sachleistungsanteile von Leistungsbündeln).

2.1.2 Komponente, Bauteil, Baugruppe

Jedes Produkt besteht aus Komponenten. Komponenten bezeichnen dabei sowohl Bauteile als auch Baugruppen, wobei Baugruppen aus Bauteilen und/oder anderen Baugruppen bestehen (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 73). Bauteile entsprechen den in DIN 199-1 (2002) und DIN 2330 (1993) definierten Einzelteilen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sie nicht zerstörungsfrei zerlegt werden können. Auch nach KOHLHASE (1997, S. 9), der Produkte und Teile unter dem Oberbegriff „Technische Objekte“ zusammenfasst, bestehen Baugruppen immer aus mehreren Einzelteilen.

Der Begriff Produkt wird in jüngerer Zeit auch im Zusammenhang mit Software verwendet. Diese Tatsache widerspricht obiger Definition insofern, als dass Software nicht aus physischen Komponenten besteht. Die Bezeichnung Software-Produkt ist zwar gebräuchlich, zeugt jedoch von einer gewissen Oberflächlichkeit, da Software-Produkte Charakteristika aufweisen, die sie klar von Hardware-Produkten unterscheiden. Das betrifft in erster Linie die Möglichkeit, Software beliebig oft, ohne Abnutzung bzw. Qualitätseinbußen und ohne nennenswerte (direkte) Kosten zu vervielfältigen. In der Markt- bzw. Marketingwissenschaft wird Software (wie auch Filme, Musik usw.) daher nicht der Gruppe der Waren (Produkte), son-

¹² Der Sonderforschungsbereich/Transregio 29 „Engineering hybrider Leistungsbündel – Dynamische Wechselwirkungen von Sach- und Dienstleistungen in der Produktion“ startete zum 1. Juli 2006 an der Ruhr-Universität und der technischen Universität Berlin (Sprecher: Prof. Dr.-Ing. Horst Meier, Lehrstuhl für Produktionssysteme, RUB).

dern der Gruppe der Informationen¹³ zugeordnet (BLÜMELHUBER, 2005, S. 3). Nichtsdestotrotz werden die Teilumfänge von Software gemeinhin als Komponenten bezeichnet, wobei klar ist, dass es sich dabei nicht um physische Komponenten handelt. Daher sind auch Software-Produkte den in den folgenden Kapiteln erläuterten Ansätzen zugänglich.

2.1.3 Eigenschaft, Merkmal, Ausprägung

Jedes Produkt weist eine Reihe von Eigenschaften auf. Eine Eigenschaft setzt sich dabei aus einem Merkmal und dessen Ausprägung zusammen (LINDEMANN 2007, S. 158). Diese Auffassung von Eigenschaften hat sich nicht nur in der Produktentwicklung, sondern ebenso im Produktmanagement und Marketing durchgesetzt. Insbesondere der, in der Marktforschung seit langem etablierten und weit verbreiteten, Conjoint-Analyse liegt dasselbe Verständnis von Eigenschaften zugrunde (vgl. u. a. GREEN & SRINIVASAN 1978, S. 103FF; GREEN ET AL. 1981, S. 17FF). (Es verdient Erwähnung, dass die Definition des Begriffs Eigenschaft in anderen Fachdisziplinen durchaus von der oben genannten abweicht.)

Ein Hubraum von 1,6 l ist eine beispielhafte Eigenschaft eines Verbrennungsmotors, die sich aus dem Merkmal Hubraum und dessen Ausprägung 1,6 l zusammensetzt. Ein Hubraum von 1,8 l wäre eine andere Eigenschaft, da sie sich zwar aus demselben Merkmal, jedoch einer anderen Ausprägung dieses Merkmals zusammensetzt. Aus diesem Beispiel wird ersichtlich, dass die Merkmale *eines* bestimmten Objekts, etwa die *eines* Produkts, immer nur *eine* bestimmte Ausprägung haben können. Betrachtet man hingegen mehrere Objekte, etwa ein ganzes Produktspektrum, so können auch mehrere Ausprägungen desselben Merkmals vorliegen. Diese feinsinnige Differenzierung ist notwendig, da den Eigenschaften von Produkten und Komponenten im Variantenmanagement eine große Bedeutung zukommt und sowohl einzelne Produkte bzw. Komponenten als auch Produkt- bzw. Komponentenspektren betrachtet werden.

Der systematische Umgang mit Eigenschaften bzw. Merkmalen erfordert in vielen Fällen deren Unterteilung. Ob eine Unterteilung notwendig ist und welche Art der Unterteilung sinnvoll ist, hängt dabei von der jeweiligen Zielsetzung ab. In der Literatur finden sich unterschiedliche Arten der Unterteilung, die aus unterschiedlichen Sichtweisen auf Merkmale resultieren. Unterschiedliche Sichtweisen auf die Merkmale eines Produkts können analog zu den unterschiedlichen Sichtweisen auf die Selbstkosten eines Unternehmens (vgl. EHRENSPIEL ET AL. 2007, S. 7) dargestellt werden. Abbildung 2-1 enthält eine solche Darstellung dreier wesentlicher Sichtweisen auf Produktmerkmale.

¹³ Informationen sind digitalisierbare Repräsentanten der gedachten oder natürlichen Welt und stellen, neben Waren und Diensten/Dienstleistungen, die dritte eigenständige Gruppe von Versorgungsobjekten dar (BLÜMELHUBER, 2005, S. 3).

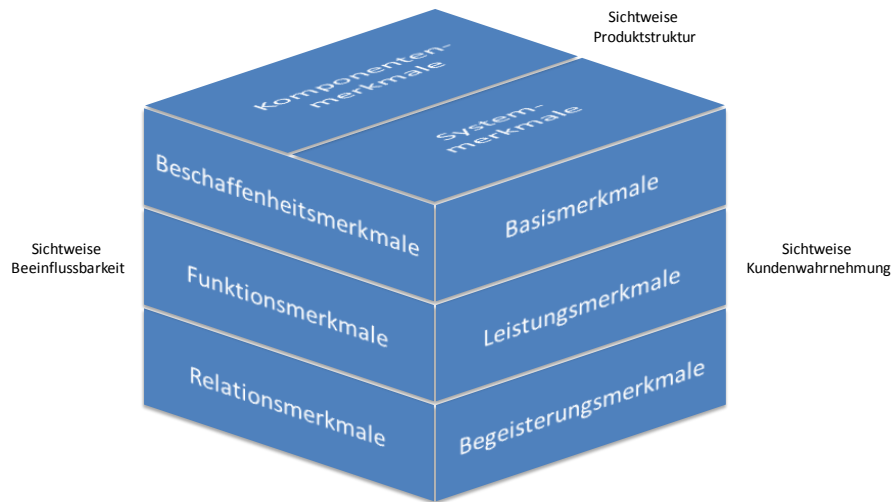


Abbildung 2-1 Unterschiedliche Sichtweisen auf die Merkmale von Produkten

Eine grundlegende Unterteilung bei der Betrachtung von Produkten und deren Komponenten ist die Unterteilung in Komponenten- und Systemmerkmale (KESPER 2007, S. 70). Dabei sind unter Komponentenmerkmalen in diesem Zusammenhang ausschließlich Bauteilmerkmale zu verstehen. Wie der Name impliziert, können Bauteilmerkmale einem bestimmten Bauteil zugeordnet werden. Bauteile *haben* Bauteilmerkmale. Die Kolben eines Verbrennungsmotors haben z. B. einen bestimmter Durchmesser. Der Durchmesser des Kolbens ist also ein Bauteilmerkmal. Im Gegensatz dazu können Systemmerkmale immer nur einer Gruppe von Bauteilen, also einer Baugruppe oder einem Produkt, zugeordnet werden, nicht aber einem einzelnen Bauteil. Bauteilmerkmale können jedoch zu Systemmerkmalen *beitragen*. So hat jeder Verbrennungsmotor einen bestimmten Hubraum. Der Hubraum ist ein Systemmerkmal, das von verschiedenen Bauteilmerkmalen, nämlich dem Kolbendurchmesser und dem Hub, sowie einem anderen Systemmerkmal, nämlich der Anzahl der Zylinder, abhängt.

Aus Sicht der Produktentwicklung ist auch die Unterteilung in Beschaffungsmerkmale, Funktionsmerkmale und Relationsmerkmale sinnvoll (DIN 2330, 13/2). Beschaffungsmerkmale, wie z. B. die Geometrie oder der Werkstoff eines Bauteils, können unmittelbar vom Entwickler festgelegt werden und werden daher auch als direkte Merkmale bezeichnet. Funktions- und Relationsmerkmale ergeben sich hingegen nur mittelbar aus der Festlegung von Beschaffungsmerkmalen, und können demnach auch als indirekte Merkmale bezeichnet werden (LINDEMANN 2007, S. 158). Dabei beschreiben Funktionsmerkmale die Beschaffenheit eines einzelnen Objekts, während Relationsmerkmale erst in Relation mit anderen Objekten zum Tragen kommen (vgl. Komponenten- und Systemmerkmale). Die Leistung eines Verbrennungsmotors wäre nach dieser Logik ein Relationsmerkmal, das von den Funktionsmerkmalen verschiedener Komponenten abhängt. Das Trägheitsmoment der Kurbelwelle wäre ein solches Funktionsmerkmal, das seinerseits von verschiedenen Beschaffungsmerkmalen, wie dem verwendeten Material, abhängt. GÖKER (1996, S. 81F) fasst direkte

Merkmale unter dem Begriff Stellgrößen, indirekte unter dem Begriff Folgegrößen zusammen.

Die Unterteilung von Merkmalen unter marketingstrategischen Gesichtspunkten wird von KANO ET AL. (1984, S. 39FF) beschrieben. Das sog. Kano-Modell kennt Basis- (auch Grund-), Leistungs- (auch Qualitäts-) und Begeisterungsmerkmale, die sich im subjektiv wahrgenommenen Kundennutzen unterscheiden. Grundmerkmale erfüllen grundlegende Kundenbedürfnisse. Dementsprechend werden sie vom Kunden vorausgesetzt und nur in sehr begrenztem Maße honoriert (degressiver Zusammenhang). Leistungsmerkmale bestimmen die Leistungsfähigkeit eines Produkts. Kunden sind in der Regel bereit, die Leistungsfähigkeit eines Produkts angemessen zu honorieren (proportionaler Zusammenhang). Begeisterungsmerkmale steigern den (subjektiv wahrgenommenen) Kundennutzen hingegen so stark, dass sie überproportional honoriert werden (progressiver Zusammenhang). Diese grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen dem Erfüllungsgrad, d. h. dem Vorhandensein bzw. den Ausprägungen, der unterschiedlichen Arten von Merkmalen und der (potenziellen) kundenseitigen Honorierung (also die unterschiedlichen Kostenfunktionen) können auch dem Diagramm in Abbildung 2-2 entnommen werden.

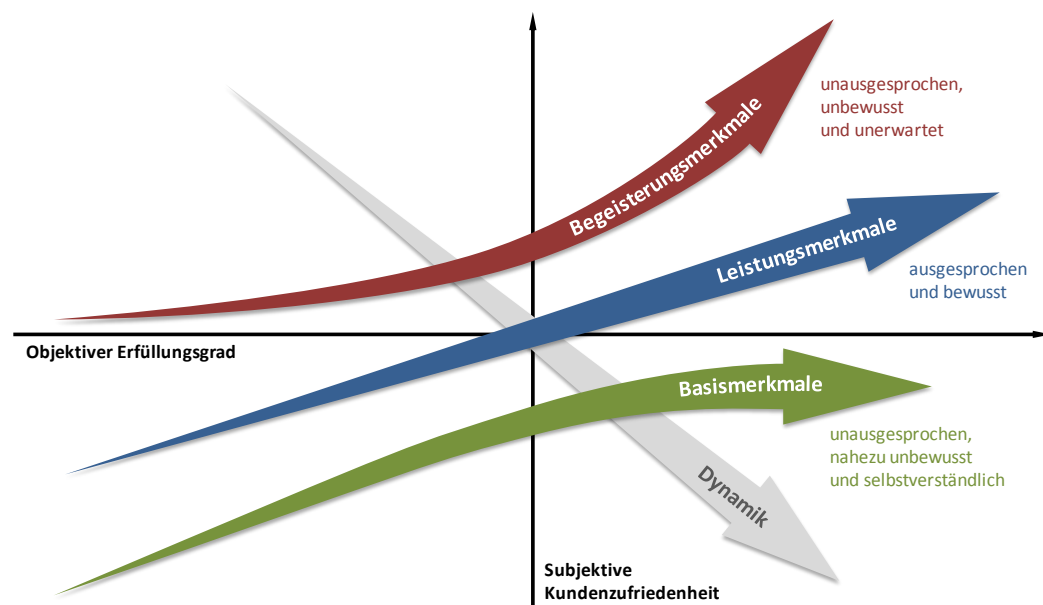


Abbildung 2-2 Zusammenhang zwischen Erfüllungsgrad unterschiedlicher Merkmalsarten und Kundenzufriedenheit in Anlehnung an KANO (1984, S. 40)

Ein sehr wichtiger Aspekt bei dieser Art der Unterteilung von Merkmalen ist die Dynamik, der sie zwangsläufig unterliegt. So werden Begeisterungsmerkmale über die Zeit zu Leistungs- und schließlich zu Grundmerkmalen, weshalb sich auch deren Priorisierung verschieben muss. Ein Beispiel dafür sind Airbags im Automobilbereich: Während diese bis vor einigen Jahren noch als Begeisterungsmerkmal galten, fungierten sie später vor allem durch ihre Anzahl als Leistungsmerkmal und sind sie heute quasi zur Grundausstattung geworden.

Im Kontext des Variantenmanagements sind auch einige speziellere Bezeichnungen für bzw. Auffassungen von Eigenschaften von Bedeutung. So ist gerade in der Automobilindustrie der Begriff Ausstattung geläufig. Die vielfältigen Abwandlungen dieses Begriffs, wie Serien-, Sonder-, Seriensonderausstattung etc., unterscheiden sich allerdings von Unternehmen zu Unternehmen und werden darüber hinaus nicht einheitlich verwendet. Trotzdem stellen Ausstattungen, obiger allgemeiner Definition folgend, grundsätzlich Eigenschaften dar.

Auch hinter dem in allen Sparten gebräuchlichen Begriff Anforderungen verbergen sich stets Eigenschaften. Laut LINDEMANN (2007, S. 327) handelt es sich bei Anforderungen um die vom Auftraggeber geforderten Eigenschaften eines Produkts. Dabei wird der Auftraggeber in letzter Konsequenz immer der (zukünftige) Endkunde sein, der zumindest im Falle von Konsumgütern nicht im Einzelnen bekannt ist und seine Forderungen daher nicht explizieren kann. Genau dieser Umstand macht die Suche nach versteckten Kundenanforderungen in vorhandenen Daten (aus der Vergangenheit), die einen wesentlichen Teil des Variantenmanagements darstellt, notwendig.

2.1.4 Variante

Eine allgemeine und mit dem Grundverständnis der meisten Betrachter übereinstimmende Definition des Begriffs Variante, nämlich eine leicht unterschiedliche Art oder Form von etwas (eine Abwandlung) findet sich in verschiedenen Bänden des DUDENS (2010; 2004). DIN 199-1 (2002) konkretisiert diese Definition, indem sie den Variantenbegriff auf technische Objekte bezieht. Danach sind Varianten Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion, die in der Regel einen großen Anteil identischer Gruppen bzw. Teile enthalten. LINGNAU (1994, S. 23f) beschränkt sich in seiner Definition nicht nur auf Ähnlichkeiten der Form und Funktion. Seiner Ansicht nach sind Varianten Gegenstände mit einem hohen Anteil identischer Komponenten, die Ähnlichkeiten hinsichtlich der Geometrie, des Materials und/oder der Technologie aufweisen.

Der Untersuchungsausschuss „Begriffe der Produktionsplanung und -steuerung“ des VDI (1976, S. 179) versteht unter einer Variante die Abart einer Grundauführung. HEINA (1999, S. 5) präzisiert diese Definition dahingehend, dass es sich bei der Abweichung von einer Grundauführung um die Abweichung wenigstens einer Merkmalsausprägung handelt. FRANKE & FIRCHAU (1998) schließen sich dieser Meinung an und sehen in der Variante eines technischen Systems ein technisches System gleichen Zwecks, welches sich in mindestens einem Element unterscheidet, wobei sich das Element in mindestens einer Eigenschaft unterscheidet.

HEINA (1999, S. 6) untergliedert gebräuchliche Variantenbegriffe anhand einer Reihe von Unterscheidungsmerkmalen (Abbildung 2-3).

Unterscheidungsmerkmal	Variantenbegriffe			
Variantebene	Produktvariante		Baugruppenvariante	Teilevarianten
Auftrittshäufigkeit	Standardvariante	Vorzugsvariante	Sonderausführung	kundenauftragsspezifische Variante
technische Kriterien	geometrische Variante (Form- und Maß)		Materialvariante	Technologievariante
Variante festlegung	herstellerspezifische Variante		kundenspezifische Variante	
Variante struktur	einfache Variante	gemischt komplexe Variante		komplexe Variante
strukturelle Kriterien	alternativ: Kannvariante		additiv: Mussvariante bzw. Kann-Muss-Variante	
subjektive Wahrnehmung	periphere Variante		fundamentale Variante	

Abbildung 2-3 Untergliederung gebräuchlicher Variantenbegriffe (RENNER 2007, S. 11 NACH HEINA 1999, S. 6)

Oben stehende Tabelle unterscheidet u. a. Produkt-, Baugruppen- und Teilevarianten. Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass sich Teilevarianten ausschließlich in ihren Eigenschaften unterscheiden können, während sich Baugruppen- und Produktvarianten sowohl in ihren Eigenschaften als auch in den darin enthaltenen Komponenten unterscheiden können.

LINGNAU (1996, S. 131) klassifiziert Varianten auf Grundlage von Variantenmerkmalen, die er zur Variantenstruktur verknüpft (Abbildung 2-4).

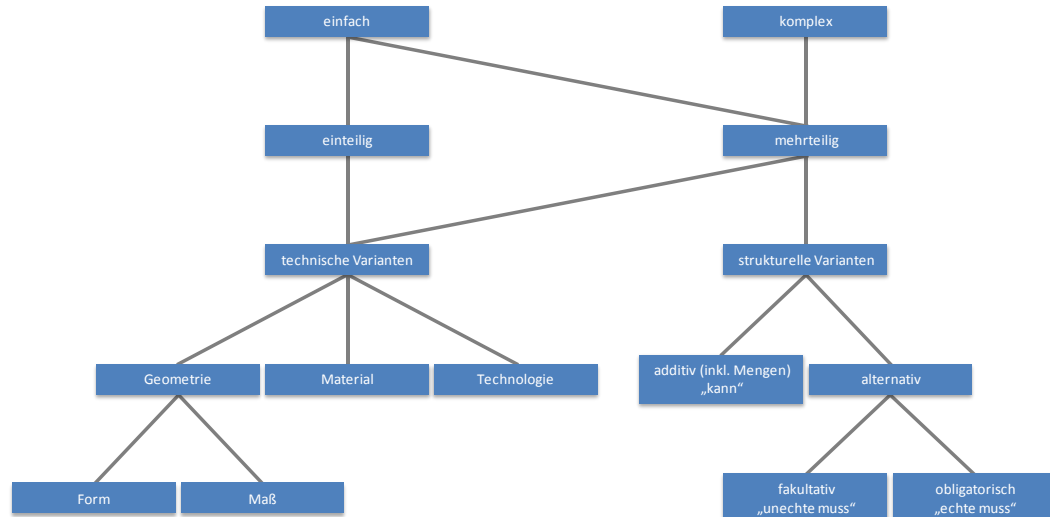


Abbildung 2-4 Struktur und Merkmale von Varianten nach LINGNAU (1996, S. 131)

Produkt- und Komponentenvarianten sollten in jedem Fall unterschieden werden. Der Grund dafür ist die Tatsache, dass Produktvarianten für den Kunden sichtbar sind und (zumindest in der Theorie) von ihm unterschieden werden können – immerhin liegt ihre Existenz ausschließlich in der Erfüllung unterschiedlicher Kundenanforderungen begründet. Der Großteil der Komponentenvarianten ist für den Kunden hingegen nicht sichtbar und für technische Laien zudem oft nicht zu unterscheiden. Eigentlich müsste man im Kontext unterschiedlicher

Kundenanforderungen auch von Eigenschaftenvarianten reden, denn Anforderungen sind, wie in Abschnitt 2.1.3 ausgeführt, gewünschte Eigenschaften. Allein die gedankliche Dekomposition von Eigenschaften in Merkmale und Ausprägungen macht dies überflüssig: Eigenschaftenvarianten sind identische Merkmale mit unterschiedlichen Ausprägungen.

In vielen Veröffentlichungen, die sich mit den Ursachen und Folgen großer Variantenvielfalt auseinandersetzen werden Produkt- und Komponentenvarianten begrifflich nicht unterschieden. Diese durchgängig zu findende Ungenauigkeit erschwert nicht nur oft die Nachvollziehbarkeit, sondern führt in einigen Fällen sogar zur Vermischung von Produkt- und Komponentenvarianten und damit zur Verwässerung der Aussagen. Die klare Unterscheidung von Komponenten- und Produktvarianten ist jedoch, wie bereits dargestellt, von außerordentlicher Bedeutung – auch für alle nachfolgenden Ausführungen (z. B. für das Verhältnis von interner zu externer Vielfalt und damit letztlich von Komponenten- zu Produktvarianten). Dabei geht es nicht um die einmalige Abgrenzung von Produkt- und Komponentenvarianten in Definitionen wie dieser, sondern um die konsequente Verwendung unterschiedlicher Begriffe – es sei denn natürlich, der Kontext erlaubt die eindeutige Interpretation des allgemeinen Begriffs Variante.

Im Folgenden wird unter einer Produktvariante ein Produkt verstanden, das sich gegenüber einem Referenzprodukt durch mindestens eine Komponente und/oder die Ausprägung eines Merkmals unterscheidet.

Diese Definition ist zwar insofern unpräzise, als dass die Eigenschaften eines Produkts gänzlich von dessen Komponenten abhängen (vgl. 2.1.3) und unterschiedliche Produkteigenschaften somit immer auch unterschiedliche Komponenten voraussetzen. Betrachtet man jedoch ausschließlich die Eigenschaften oder gar eine Auswahl der Eigenschaften von Produktvarianten, ist obige Aussage zulässig.

Dabei gilt es einen weiteren immer wichtiger werdenden Aspekt nicht außer Acht zu lassen: Geht man davon aus, dass eine spezifische Kombination von Komponenten zur Bereitstellung einer ebenso spezifischen Kombination von Eigenschaften dient, gibt es keine zwei Produktvarianten, die dieselben Komponenten aber unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Da die Eigenschaften von Produkten jedoch zunehmend von (in den Komponenten integrierter) Software abhängen, ist auch dieser Fall möglich und sogar gängig. Der Komponentenbegriff muss folglich um Software-Umfänge erweitert werden (vgl. Abschnitt 2.1.2). Es obliegt dabei dem Betrachter, identische Hardware-Komponenten, die sich ausschließlich bezüglich ihrer Software unterscheiden als unterschiedliche Varianten oder die Software selbst als, sozusagen virtuelle, Komponente zu betrachten.

2.1.5 Konfiguration

Konfiguration leitet sich vom lateinischen *configuratio* ab, was mit Anordnung oder Gestaltung übersetzt werden kann (ROGOLL & PILLER 2002, S. 23). Der Begriff Konfiguration kann im Kontext des Variantenmanagements als Synonym für den Begriff Kombination angesehen werden. Dabei wird sowohl die Kombination von Komponenten als auch die von Eigenschaften als Konfiguration bezeichnet.

Die Verwendung des Begriffs Konfiguration für die Kombination von Komponenten ist vor allem im Kontext der Anwendung von Baukastensystemen¹⁴ verbreitet. Dies wird schon aus den gängigen Definitionen von Baukastensystemen deutlich. So stellt z. B. JESCHKE (1997, S. 27) fest, dass in Baukastensystemen Produktvarianten durch Kombination einer möglichst geringen Anzahl¹⁵ von Bausteinen zusammengesetzt werden, wobei Bausteine Einzelteile, Baugruppen oder auch Baukastensysteme höherer Ordnung sein können. Nach KOHLHASE (1997, S. 8) werden bei der Konfiguration von Produkten Bausteine nach einem vorgedachten Zweck angeordnet, ohne dabei ihre Gestalt zu verändern. Damit betont er, dass bei der Produktkonfiguration im engeren Sinne keine konstruktiven Anpassungen der Komponenten vorgesehen sind. FIRCHAU & FRANKE (2002, S. 67ff) grenzen die Konfiguration klar von der Konstruktion ab (Abbildung 2-5) und fordern ebenfalls, dass die Konfiguration ohne Konstruktion auskommen sollte, um das Potenzial von Baukästen vollständig ausschöpfen zu können bzw. um, allgemein gesprochen, keine zusätzlichen Varianten zu generieren.

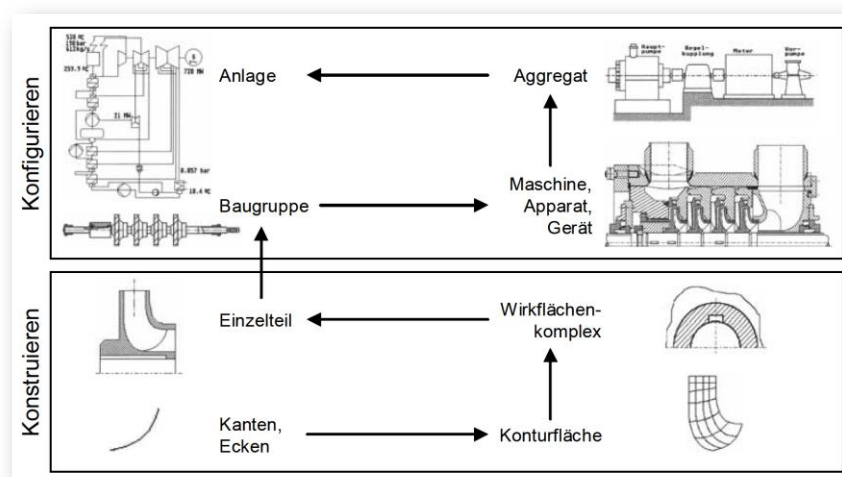


Abbildung 2-5 Abgrenzung von Konfiguration und Konstruktion (RENNER 2007, S. 59 NACH FIRCHAU & FRANKE 2002, S. 68)

Selbstverständlich liegen der Kombination von Komponenten letztendlich immer bestimmte Kundenanforderungen zu Grunde (obgleich diese nicht immer abgesichert sind). LINK & HILDEBRAND (1993, S. 118) unterstreichen den Zusammenhang von Anforderungen und Komponenten, indem sie die Produktkonfiguration als Zusammenstellung von Produkten oder Systemlösungen gemäß Kundenspezifikation, auf Grundlage standardisierter Bauteile sowie auf einer Wissensbasis gespeicherter Konfigurationsregeln beschreiben. Laut BRINKOP (2009, S. 3) hat der Begriff Produktkonfiguration auf dem Weg von der Forschung in die industrielle

¹⁴ zur Konzeption von Baukastensystemen vgl. z. B. RENNER (2007, S.61ff)

¹⁵ D. h. nicht etwa, dass Produktvarianten möglichst wenige Komponenten enthalten sollten, sondern dass möglichst wenige Komponentenvarianten zur Auswahl stehen sollten.

Praxis einen Bedeutungswandel durchlaufen. Er nimmt die Kundenperspektive ein und sieht den Zweck der Konfiguration darin, ein Produkt so zu bestimmen, dass es vorgegebenen Anforderungen genügt.

Die Deutung des Begriffs Konfiguration als Kombination von Anforderungen und damit Eigenschaften ist untrennbar mit den mittlerweile weit verbreiteten Produktkonfiguratoren verbunden. Sie ermöglichen es potenziellen Kunden (zumeist online) Produkteigenschaften unter Einhaltung vorgegebener Zwänge und Verbote (Konfigurationsregeln) zu kombinieren. Damit ist diese Auffassung des Konfigurationsbegriffs die in der öffentlichen Wahrnehmung vorrangige. Gleichzeitig ist sie eine noch junge Erscheinung, denn nach PILLER & MÜLLER (2003, S. 57F) sind Vernetzungstechnologien wie das Internet und die darauf basierenden Interaktionswerkzeuge einschließlich der Produktkonfiguratoren erst in den letzten Jahren leistungsfähig genug geworden, um die für E-Commerce- und Mass-Customization-Strategien notwendige Kundenintegration überhaupt zu ermöglichen.

Die aufgeführten Definitionen zeigen, dass die Kombination von Komponenten hauptsächlich unternehmensintern (Computer-gestützt und von Fachleuten aus Entwicklung und Konstruktion) durchgeführt wird, während die Kombination von Eigenschaften (Anforderungen) in erster Linie unternehmensextern, sprich durch den Kunden erfolgt. Die Kombination von Komponenten wird in der Regel nur dann vom Kunden selbst vorgenommen, wenn die gewünschten Eigenschaften direkt und offensichtlich mit bestimmten Komponenten korrelieren. Dies ist überall dort der Fall, wo Produkte sehr modular¹⁶ aufgebaut sind und die Module selbst ebenso stark vom Kunden wahrgenommen werden wie deren Eigenschaften. Als Beispiel sei hier die Konfiguration von Personal-Computern (PCs) genannt, bei der die direkte und bewusste Auswahl bestimmter Komponenten (wie Prozessoren, Arbeitsspeicher oder Grafikkarten) sehr stark im Vordergrund steht.

Für alle nachfolgenden Ausführungen soll folgendes gelten: Konfiguration (auch Produkt- oder Variantenkonfiguration) bezeichnet den Prozess der Auswahl von Komponenten oder Eigenschaften (aus einem vorgegebenen Umfang) und deren Kombination zu Produktvarianten (unter Einhaltung vorgegebener Zwänge und Verbote).

2.2 Variantenvielfalt und Komplexität

Ein Großteil der Veröffentlichungen, die sich mit den Grundlagen der Variantenvielfalt und Komplexität auseinandersetzen ist älter als zehn Jahre. Die darin enthaltenen Definitionen und Modelle sind jedoch nach wie vor gültig und konnten sich zudem auch in der Praxis durchsetzen.

Die Begriffe Variantenvielfalt und Komplexität werden, ebenso wie die davon abgeleiteten Begriffe Variantenmanagement und Komplexitätsmanagement, oft synonym verwendet

¹⁶ Modular aufgebaute Produkte verfügen über Komponenten, die eine oder mehrere Funktionen eigenständig, also unabhängig von anderen Komponenten erfüllen und daher als Module bezeichnet werden; vgl. WILDEMANN (2010, S. 150).

(SCHUH & SCHWENK 2001, S. 32). Dies gilt vor allem für den deutschsprachigen Raum. Die grundsätzliche Gleichsetzung von Variantenvielfalt und Komplexität ist jedoch nicht zulässig (KUNZ 2005, S. 19).

In Übereinstimmung mit den bisherigen Ausführungen (vgl. Abschnitt 2.1.4) und der von FIRCHAU ET AL. (2002, S. 12) vorgeschlagenen Definition soll unter der Variantenvielfalt die Anzahl und die Verschiedenheit der Varianten von Bauteilen, Baugruppen und/oder Produkten verstanden werden.

Laut PILLER & WARINGER (1999, S. 5F) existiert keine einheitliche Definition des Begriffs Komplexität. Nach Einschätzung von FLÜCKIGER & RAUTERBERG (1995, S. 4) wird die Komplexität gemeinhin als Eigenschaft eines Systems aufgefasst, wobei ein System immer dann als komplex erachtet wird, wenn es schwer verständlich ist oder das Systemverhalten nur schwer vorausgesagt werden kann. Der DUDEN (2010) definiert Komplexität als Gesamtheit aller Merkmale bzw. Möglichkeiten (eines Systems) oder, ganz allgemein, als Vielschichtigkeit. Systemtheoretische Definitionen beschreiben Komplexität spezifischer als Zusammenreffen *struktureller* Vielschichtigkeit, die unter anderem aus der Anzahl und Diversität der Elemente eines Systems resultiert (SCHULTE 1995, S. 758). Auch PATZAK (1982, S. 22) sieht die Komplexität eines Systems maßgeblich durch die Varietät (Anzahl, Art und Ungleichmäßigkeit der Aufteilung von Elementen) und die Konnektivität (Anzahl, Art und Ungleichmäßigkeit der Aufteilung von Relationen) beeinflusst. KIRSCH (1998, S. 205F) unterscheidet folgende fünf Dimensionen der Komplexität:

- die Gesamtzahl der Elemente eines Systems
- die Anzahl unterschiedlicher Elemente eines Systems (Varietät eines Systems)
- der Grad der Unterschiedlichkeit zwischen diesen Elementen
- die Freiheitsgrade zwischen den Elementen eines Systems (je mehr ordnende Interdependenzen, desto weniger Freiheitsgrade)
- die Veränderlichkeit der oben genannten Komponenten und Beziehungen im Zeitablauf (dynamischer Aspekt der Komplexität)

Veränderungen der Komplexität resultieren definitionsgemäß immer aus Veränderungen der Parameter einer oder mehrerer dieser Dimensionen. Zusammenfassend lässt sich die Vielfalt im Allgemeinen und die Variantenvielfalt im Speziellen also als eine Dimension bzw. ein Treiber der Komplexität beschreiben, wobei sie laut KUNZ (2005, S. 19) zu den wichtigsten Komplexitätstreibern gezählt werden kann. MATERN (2000) bezeichnet die bereits umrissenen und in den nachfolgenden Abschnitten ausführlich beschriebenen Probleme im Zusammenhang mit hoher Variantenvielfalt daher als varianten- bzw. vielfaltsinduzierte Komplexitätsprobleme.

In Analogie zu obiger Abgrenzung von (Varianten-)Vielfalt und Komplexität, soll das Variantenmanagement als Teildisziplin des Komplexitätsmanagement aufgefasst werden. Diese Auffassung liegt auch der Definition des Variantenmanagements von SCHUH & SCHWENK (2001, S. 35) zugrunde. Danach umfasst das Variantenmanagement die Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produkten und Dienstleistungen bzw. Produktsortimenten im Unterneh-

men. Dadurch wird angestrebt, die vom Produkt ausgehende Komplexität (Anzahl Teile, Komponenten Varianten usw.) wie auch die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktdiversifikation, Produktionsabläufe usw.) mittels geeigneter Instrumente zu bewältigen.

2.3 Interne und externe Variantenvielfalt

Eine fundamentale Grundlage für den systematischen Umgang mit Variantenvielfalt ist die in der Literatur durchgängig zu findende Unterscheidung von interner und externer Variantenvielfalt (Kersten 1999, S. 158ff). Die für die Unterscheidung maßgebliche Frage ist dabei, ob die Variantenvielfalt ausschließlich unternehmensintern oder auch unternehmensextern wirkt, ob sie also für den Kunden wahrnehmbar ist oder nicht (vgl. Abbildung 2-6).

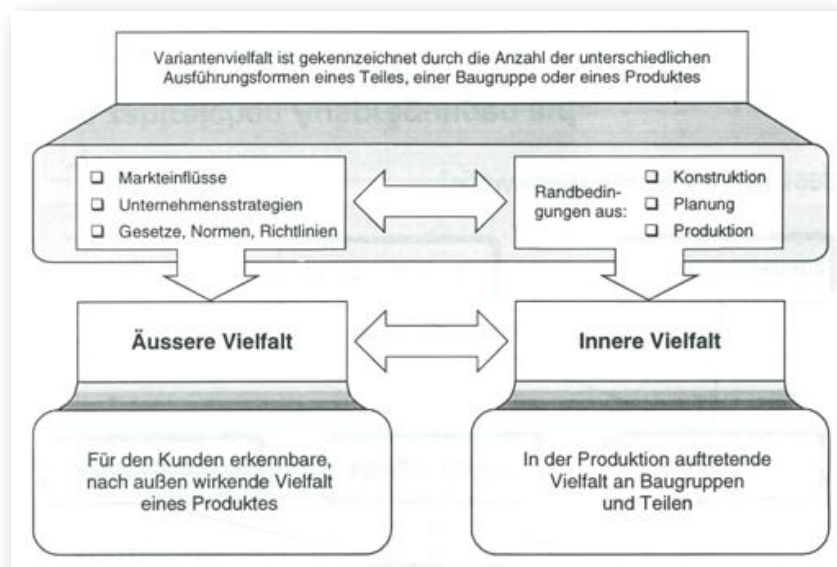


Abbildung 2-6 Abgrenzung von innerer und äußerer Vielfalt (KERSTEN 2002, S. 6 NACH WESTKÄMPER & BARTUSCHAT 1992)

Die externe oder auch äußere Vielfalt bezeichnet die vom Kunden wahrgenommene Variantenvielfalt, also alle am Markt angebotenen Produktvarianten (das Produktsortiment) eines Unternehmens¹⁷. Wesentliche Einflüsse auf die externe Vielfalt sind Markteinflüsse, Unternehmensstrategien sowie Gesetze, Normen und Richtlinien (WESTKÄMPER & BARTUSCHAT 1993, S. 26ff). Die interne oder auch innere Vielfalt bezeichnet hingegen die, zur Realisie-

¹⁷ Die Varianz komplexer Produkte wird für den Kunden mittlerweile häufig von Software-gestützten Produkt-konfiguratoren abgebildet (RENNER 2007, S. 22).

nung der äußeren Vielfalt benötigten, Bauteil- und Baugruppenvarianten, die von einer Unternehmung gehandhabt werden müssen (PILLER & WARINGER 1999, S. 5F).

Interne und externe Vielfalt sind in der Regel positiv korreliert (Kersten 2002, S. 6). Allerdings hängt das Verhältnis von interner zu externer Variantenvielfalt von der Produktgestaltung ab. Ein übergeordnetes Ziel des Variantenmanagements ist daher die positive Beeinflussung dieses Verhältnisses (mittels geeigneter Konzepte zur Produktgestaltung¹⁸), also die Bereitstellung einer möglichst hohen externen Vielfalt mit einer möglichst geringen internen Vielfalt.

SCHUH & SCHWENK (2001, S. 10FF) erweitern den Begriff der internen bzw. externen Variantenvielfalt zu dem der internen bzw. externen Komplexität (Abbildung 2-7). Sie fokussieren dabei nicht ausschließlich auf die Vielfalt von Produkten (externe Vielfalt) bzw. Komponenten (interne Vielfalt), sondern betrachten vor allem die vielfältigen damit einhergehenden Treiber und Auswirkungen, die in den nachfolgenden Abschnitten detailliert beschrieben werden.

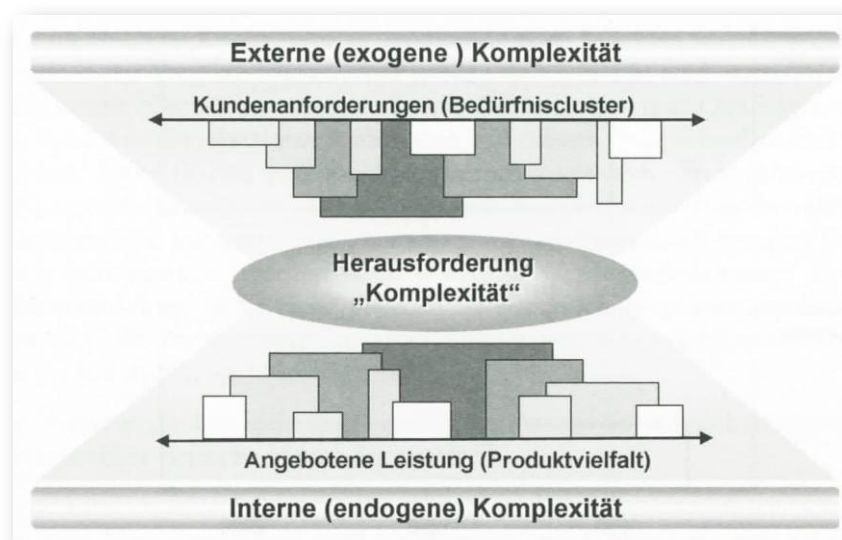


Abbildung 2-7 Konzept der internen und externen Komplexität (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 11 IN ANLEHNUNG AN KAISER 1995, S. 101)

Die Unterscheidung von interner und externer Variantenvielfalt bzw. Komplexität beinhaltet die Unterscheidung von „Mittel“ (interne Variantenvielfalt bzw. Komplexität) und „Zweck“ (externe Variantenvielfalt bzw. Komplexität). Sie ist daher äußerst hilfreich für differenzierte Betrachtungen im Rahmen des Varianten- bzw. Komplexitätsmanagements und zu Recht durchgehend akzeptiert. Die klassische Charakterisierung von interner und externer Variantenvielfalt ist vor dem Hintergrund folgender Überlegungen jedoch zu eng gefasst: Produktva-

¹⁸ In erster Linie sind hier Baukasten-, Modul- und Plattformkonzepte zu nennen (vgl. Abschnitt 2.8.5).

rianten werden in aller Regel im Unternehmen definiert – und auch dort, wo Produktvarianten in gewisser Hinsicht (nämlich durch Konfiguration) vom Kunden selbst definiert werden, müssen diese vom Unternehmen vorgedacht, verstanden und verwaltet werden. Produktvarianten sind also immer Teil der internen Variantenvielfalt und erhöhen folglich auch die interne Komplexität. Andererseits kommen Kunden in bestimmten Situationen mit Komponentenvarianten in Kontakt – z. B. bei der Ersatzteilbestellung. Komponentenvarianten tragen demnach auch zu der vom Kunden wahrgenommenen, sprich externen, Variantenvielfalt bei. (Geht man davon aus, dass die Aufbereitung zur Verfügung stehender Ersatzteile in Katalogen etc. tendenziell schlechter ist als die angebotener Endprodukte, so haben Komponentenvarianten einen wirklich erheblichen Effekt auf die externe Komplexität.)

Die Eigenschaften, die allen Produkt- und Komponentenvarianten letztlich zugrunde liegen (vgl. Abschnitt 2.1.4), lassen sich ohnehin schwer der internen oder externen Vielfalt zuordnen. Sie sind gleichermaßen interessant für Unternehmen und Kunden und erschweren die Abgrenzung von interner und externer Variantenvielfalt bzw. Komplexität daher zusätzlich. Trotzdem ist die gedankliche Unterscheidung richtig und wichtig, um einen systematischen Zugang im Rahmen des Variantenmanagements zu schaffen.

2.4 Treiber der Variantenvielfalt

Die Treiber der Variantenvielfalt werden gemeinhin¹⁹ in unternehmensinterne und -externe Treiber unterteilt. Dabei wird meist angenommen, dass Varianten, die aufgrund von externen Treibern entstehen größtenteils unvermeidbar sind, während solche, die aufgrund von internen Treibern entstehen durchaus vermeidbar sind (JESCHKE 1997, S. 4). Der Autor dieser Arbeit teilt diese Auffassung nicht. Selbstverständlich sind die externen Treiber als solches kaum zu beeinflussen²⁰. Infolgedessen ist auch die Erfüllung der daraus resultierenden Anforderungen tatsächlich nicht vermeidbar. Wie sich die Erfüllung derartiger Anforderungen gestaltet, d. h. ganz konkret, ob sie mit der Generation zusätzlicher Varianten einhergeht oder nicht, ist jedoch eine ganz andere Frage. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass externe Anforderungen oftmals, jedoch auf gar keinen Fall zwangsläufig, zur Entstehung zusätzlicher Varianten führen.

In vielen Veröffentlichungen zum Thema Variantenmanagement wird nicht von den Treibern, sondern von den Ursachen der Variantenvielfalt gesprochen. Die Verwendung des Begriffs Ursache impliziert jedoch das Vorhandensein einer Wirkung, d. h. sie konnotiert eine gewisse Zwangsläufigkeit, die wie zuvor erläutert nicht gegeben ist. Daher wird im Folgenden ausschließlich der Begriff Treiber verwendet, der den Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen der Situation eines Unternehmens und der Entstehung von Variantenvielfalt ebenfalls widerspiegelt, aber offen lässt, ob dieser tatsächlich zum Tragen kommt.

¹⁹ vgl. z. B. EHRENSPIEL ET AL. (2007, S. 292F), JESCHKE (1997, S. 4), FIRCHAU ET AL. (2002, S. 5), KUNZ (2005, S. 16FF)

²⁰ Wenngleich bei realistischer Betrachtung eingestanden werden muss, dass auch externe Treiber in nicht unerheblichem Maße, etwa durch Lobby-Arbeit, beeinflusst werden können.

2.4.1 Unternehmensexterne Treiber der Variantenvielfalt

Einige der unternehmensexternen Treiber der Variantenvielfalt wurden bereits in den Ausführungen zur Problemstellung in Abschnitt 1.2 dargelegt. Nachfolgend sollen diese Treiber nochmals aufgeführt und vervollständigt werden.

- Der voranschreitende **Wandel der Verkäufer- zu Käufermärkten** und die damit einhergehende Stärkung der Abnehmermacht verleiten Unternehmen dazu, immer mehr und immer individuellere Kundenanforderungen zu berücksichtigen und mit immer spezifischeren Produkten (und Dienstleistungen) darauf zu reagieren.
- Die **Globalisierung der Märkte** zwingt international operierende Unternehmen dazu, ihre Produktspektren an eine Vielzahl länderspezifischer Anforderungen anzupassen. Derartige Anpassungen resultieren nicht nur einfach in zusätzlichen länderspezifischen Varianten. Sie vervielfachen die bestehenden Varianten vielmehr (ausgehend davon, dass alle oder nahezu alle bestehenden Varianten in länderspezifischer Form angeboten werden sollen). Die zu berücksichtigenden Anforderungen resultieren dabei nicht alleine aus länderspezifischen Gesetzen und Regelungen. Sie liegen auch in den länderspezifischen Gewohnheiten und Vorlieben der Kunden begründet. Ein gerne angeführtes Beispiel in diesem Zusammenhang sind die Becherhalter in Kraftfahrzeugen; vgl. z. B. RENNER (2007, S. 25). Die Anforderungen an deren Vorhandensein, Anzahl, Form, Gestaltung und Sichtbarkeit im ungenutzten Zustand variieren dramatisch – insbesondere, wenn man die europäischen mit den amerikanischen und asiatischen Märkten vergleicht. Dabei sind diese unterschiedlichen Anforderungen allein in den unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten und Prägungen der Kunden zu suchen, nicht aber in irgendwelchen Vorschriften.
- Der **zunehmende Wettbewerbsdruck** in den gesättigten und internationalen Märkten bewegt viele Unternehmen dazu, Differenzierungsstrategien zu verfolgen. Infolgedessen werden immer mehr und immer kleinere Marktnischen bedient, was nicht nur langfristig zu einer Diversifizierung des Produktprogramms führt.
- **Kostennachteile**, die gerade westeuropäische Unternehmen gegenüber osteuropäischen und asiatischen Wettbewerbern haben führen ebenfalls zur Bevorzugung von Differenzierungsstrategien. Diese Reaktion wird auch von der Argumentation PORTERS (2004, S. 35FF) gestützt. Demnach ist die Verfolgung von Differenzierungsstrategien bei gleichzeitigem Auftreten hohen Wettbewerbsdrucks und großer Kostennachteile, zumal bei einer breiten Marktausrichtung, die einzig erfolgversprechende Taktik.
- Die **Verkürzung der Produktlebenszyklen** führt unternehmensintern zwangsläufig zu einer Zunahme der Variantenvielfalt, denn auch wenn das Angebotsspektrum kontinuierlich gepflegt wird, d. h. auch wenn veraltete Produktvarianten nicht mehr angeboten werden, müssen diese einschließlich der darin enthaltenen Komponentenvarianten nach wie vor im Unternehmen gehandhabt werden. Angefangen von der Verwaltung der entsprechenden Sachnummern, bis hin zur Fertigung, Lagerung und Lieferung von Ersatzteilen.

- Die **Verlängerung der Gewährleistungszeiträume** (aufgrund gesetzlicher Vorgaben) hat dieselbe Wirkung wie die Verkürzung der Produktlebenszyklen, nämlich die Erhöhung der Anzahl handzuhabender Vorgängervarianten (das gleichzeitige Auftreten beider Entwicklungen verstärkt die Einzelwirkungen erwartungsgemäß).
- **Unterschiedliche Einsatztermine** führen zu einer unfreiwilligen Erhöhung der angebotenen Varianten. Gerade Unternehmen, die sich in der Zuliefersituation befinden sind von diesem Problem betroffen. Neue Komponenten- und Produktvarianten können allein aufgrund der notwendigen Abstimmungs- bzw. Verhandlungsprozesse nicht sofort – vor allem aber nicht gleichzeitig – bei den oft zahlreichen Abnehmern eingesetzt werden. Diese Tatsache führt, neben durchaus anspruchsvollen Planungs- und Koordinationsaufgaben, zur Notwendigkeit, Varianten unterschiedlichen Reifegrades anzubieten.
- Vormalig **sekundäre Bedürfnisse** wie die Sicherheit oder Umweltverträglichkeit von Produkten treten immer mehr in den Vordergrund. Produktmerkmale, die dieser Entwicklung Rechnung tragen stellen in aller Regel zunächst Begeisterungsmerkmale dar (vgl. Abschnitt 2.1.3) und werden entsprechend vermarktet, d. h. sie werden ausschließlich als hochpreisige Optionen angeboten, was die Erlöse, aber eben auch die Variantenvielfalt erhöht.
- Die **technologische Entwicklung** bietet immer wieder Möglichkeiten, gänzlich neue Produkte zu entwickeln und herzustellen bzw. bestehende Produkte um neue Merkmale zu erweitern. Diese Möglichkeiten werden nicht nur gerne und vollständig ausgeschöpft. Die technologische Entwicklung wird auch aktiv vorangetrieben²¹, um systematisch neue Möglichkeiten zu schaffen (sie stellt demnach gleichermaßen einen unternehmensexternen und -internen Treiber dar).
- Die konsequente **Vermeidung von Over-Engineering** führt oft zu sehr spezifischen Lösungskonzepten, sodass letzten Endes verschiedene spezifische Lösungskonzepte für verschiedene Problemstellungen entwickelt werden müssen. Das soll selbstverständlich nicht bedeuten, dass auf eine gezielte Produktentwicklung zugunsten einer möglichen Variantenreduktion verzichtet werden sollte. Immerhin stellt die Entwicklung verschiedener spezifischer Varianten den bedarfsgerechteren Ansatz dar. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass den Effizienzsteigerungen dieses Ansatzes auch vielfaltsinduzierte Nachteile entgegenstehen.

2.4.2 Unternehmensinterne Treiber der Variantenvielfalt

Das Ausmaß der Variantenvielfalt einer Unternehmung ist neben den zuvor beschriebenen externen wesentlich durch vielfältige interne Treiber bestimmt. Unternehmensinterne Treiber

²¹ Bundeskanzler a. D. Helmut Schmidt konstatiert in diesem Zusammenhang, dass die „[...] Beschleunigung der technischen Entwicklung [...] ganz weitgehend auf dem amerikanischen Militärhaushalt beruht [...]“ (SCHMIDT 2006, S.16).

gellten dabei zu Recht als kurzfristiger und direkter und damit in einem deutlich höheren Maße beeinflussbar als unternehmensexterne; vgl. u. a. KUNZ (2005, S. 21).

- Vertrieb und Marketing befürworten in der Regel die Ausweitung des Produktprogramms im Sinne einer Angebotsdifferenzierung. Die oft vorherrschende **Dominanz von Vertrieb und Marketing** macht diese Tatsache zu einem der, vielleicht sogar dem, wesentlichen Treiber der Variantenvielfalt.
- Die in den Unternehmen **etablierten Anreizsysteme** sind traditionell und leider immer noch allzu oft rein umsatzabhängig. Derartige Anreizsysteme vernachlässigen Einflüsse auf die Varianz der Unternehmen nicht nur, sie kaschieren sie sogar vielfach und fördern sie daher letztlich.
- Die **klassischen** (nicht verursachungsgerechten) **Kostenrechnungssysteme** verzerren vielfaltsinduzierte Kosten systematisch und führen in der Konsequenz zu einer Quersubventionierung zusätzlicher Produktvarianten (vgl. Abschnitt 1.2).
- **Mangelnde Transparenz** stellt einen weiteren herausragenden Treiber großer Variantenvielfalt dar. Mangelnde Transparenz bezüglich des vorhandenen Produktspektrums verhindert oft die Identifikation geeigneter und führt zur Generation neuer Produktvarianten. Mangelnde Transparenz bezüglich des vorhandenen Komponentenspektrums verhindert hingegen die Identifikation und Verwendung geeigneter und führt zur Generation neuer Komponentenvarianten. Mangelnde Transparenz ist dabei keinesfalls eine Folge nicht vorhandener Daten. Sie ist vielmehr dadurch bedingt, dass die zu berücksichtigenden Daten oft äußerst umfangreich sind und gleichzeitig über verschiedene Software-Systeme, die vielfach keine Schnittstellen zueinander haben, verteilt sind. Hinzu kommt, dass die Art der Datenaufbereitung – aus Sicht des Variantenmanagements – bis heute oft inadäquat ist.
- Die mittlerweile weltweit verbreitete Anwendung von **Poka-Yoke-Prinzipien** beinhaltet die Umsetzung konstruktiver Maßnahmen zur Fehlervermeidung in der Montage. Viele dieser Maßnahmen, wie etwa die Formcodierung von Steckern elektronischer Komponenten, führen zu einer Produktgestaltung, die eine – aus rein technischer Sicht – unnötig hohe Varianz verursacht. Die Reduzierung von Montagefehlern stellt in diesem Sinn ein konkurrierendes Ziel zur Reduzierung von Produkt- und Komponentenvarianten dar.
- Ein vermeintlich untergeordneter Aspekt, dem in der Praxis jedoch eine immer größer werdende Bedeutung zukommt ist die **Auslastung von Fertigungskapazitäten**. So sind die Investitions- und/oder Betriebskosten komplexer Fertigungseinrichtungen oft so hoch, und deren Lebensdauer gleichzeitig so stark begrenzt, dass eine Amortisation ausschließlich dann möglich ist, wenn sie rund um die Uhr betrieben werden. Um die diesem Ziel äußerst zuträgliche Wiederholteilverwendung zu maximieren, werden zunehmend Derivate, also Varianten bestehender Produkte generiert.
- **Gewohnheit** und **fehlendes Bewusstsein** für die verursachten Auswirkungen sind nach wie vor Gründe für die allzu leichtfertige Generation zusätzlicher Produkt- und Komponentenvarianten.

- **Technikverliebtheit** birgt, gerade in Unternehmen bzw. ganzen Ländern mit ausgeprägter Ingenieurskultur, nicht nur die grundsätzliche Gefahr des Over-Engineering, sondern führt im Verlauf der Zeit auch zur Entwicklung unnötig umfangreiche Variantenspektren.
- **Fehlervermeidung** und **Aufwandsreduzierung** motivieren den einzelnen Mitarbeiter (gerade in Zeiten begrenzter Kapazitäten) zusätzlich, immer wieder neue Komponenten- und damit Produktvarianten zu generieren. Immerhin ist die Suche nach geeigneten Wiederholteilen (insbesondere in umfangreichen Teilespektren) grundsätzlich aufwendig. Erfordert die Wiederholteilverwendung zudem konstruktive Anpassungen, kommt neben dem Zusatzaufwand auch noch das nicht unerhebliche Risiko unzulässiger Anpassungen hinzu. In der Praxis wird diese Tatsache oft unter dem Motto „Sonder ist und bleibt am einfachsten (für den Konstrukteur).“ anerkannt.
- Aus **strategischen Gründen** werden selbst Varianten, die offensichtlich nicht lukrativ sind befürwortet. So werden nicht wenige und zum Teil sehr exotische Varianten generiert, um sie attraktiven Kunden anzubieten und diese damit zu halten oder erst zu gewinnen.
- Üblicherweise gibt es **keine übergeordnete Instanz** zur Überwachung und Steuerung der Vielfaltsentstehung. (Abteilungen wie das Produktmanagement übernehmen diese Aufgabe in ihrer Funktion als Schnittstelle zwischen Entwicklung und Vertrieb jedoch zunehmend.)

Ein zusätzlicher und grundlegender Treiber für Variantenvielfalt, der nur schwer zu fassen in der Praxis jedoch von Bedeutung ist, sollte nicht außer Acht gelassen werden. Die Probleme, die durch die (oft ungehinderte) Generierung zusätzlicher Varianten bestimmter Fachbereiche entstehen stellen die Herausforderungen (und mitunter sogar die Daseinsberechtigung) anderer Fachbereiche dar. So sind die Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen durch die Gestaltung der von den Marketing- und Vertriebsabteilungen angebotenen Produktvarianten gefordert. Die Produktionsabteilungen sind wiederum durch die Herstellung bzw. Montage der von den Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen gestalteten Produktvarianten gefordert usw. Tatsächlich geht man heute sogar davon aus, dass Produkt- und Prozessinnovationen ausschließlich aufgrund von Zielkonflikten entstehen. Ein Beispiel sind die beeindruckenden Möglichkeiten der Just-in-Time- bzw. Just-in-Sequence-Produktion, deren Entwicklung vor allem aufgrund von Einschränkungen notwendig wurde, die aus großer Variantenvielfalt entstehen. Derartige Zusammenhänge sind Fluch und Segen zugleich, was an dem zuvor genannten konkreten Beispiel deutlich wird. Einerseits bietet die Just-in-x-Produktion ein Maß an Flexibilität, das das Angebot zusätzlicher Varianten ermöglicht. Andererseits werden durch eben diese Flexibilität varianteninduzierte Zusatzaufwände und Probleme kaschiert, was die unkritische Generierung neuer Varianten begünstigt und sogar vorantreibt.

Auch die Erfüllung von Kundenwünschen, die im Grundsatz den unternehmensexternen Treibern zugeordnet werden muss, kann unter bestimmten Voraussetzungen als unternehmensinterner Treiber angesehen werden. Nämlich dann, wenn die zu erfüllenden Kundenwünsche

von den entsprechenden Mitarbeitern bzw. Abteilungen (daher unternehmensintern) nicht ausreichend abgesichert wurden oder gar auf leichtfertigen Annahmen beruhen.

2.4.3 Kritische Diskussion der Treiber der Variantenvielfalt

Die umfassende Betrachtung der Treiber der Variantenvielfalt sollte die kritische Diskussion der zugrunde liegenden Annahmen umfassen. Dabei sollte die alles dominierende Annahme, dass Kunden grundsätzlich möglichst individuelle Produkte wünschen, auf Grundlage derer die Variantenvielfalt bewusst in Kauf genommen und sogar vorangetrieben wird, im Fokus stehen. Tatsächlich stellt sich schon im Grundsatz die Frage, ob die die Kundenanforderungen, die man mit erheblichem Aufwand und im Wissen um die vielfältigen negativen Effekte zu erfüllen versucht, tatsächlich so individuell und unstet sind, wie es scheinen mag – insbesondere wenn man sieht, wie unkritisch derartige Annahmen gemeinhin akzeptiert und weiterverbreitet werden.

Zusätzliche Varianten stellen (zumindest oberflächlich betrachtet) kein Problem dar, solange der Kunde bereit ist, dafür zu bezahlen. Dabei gilt die Zahlungsbereitschaft des Kunden in vielen Bereichen nach wie vor als hoch:

- Gerade im Konsumgüterbereich ist die Zahlungsbereitschaft für stark individualisierte Produkte hoch. Preise für individualisierte Produkte können, aufgrund der bedingten Vergleichbarkeit und des höheren Kundennutzens, weitgehend ungeachtet geltender Marktpreise festgelegt werden. Ein höherer Preis führt dabei nicht zwangsläufig zu Kundenabwanderung (REICHWALD ET AL. 2006, S. 22).
- Studien in verschiedenen Branchen der Konsumgüterindustrie kommen zu dem Schluss, dass die Zahlungsbereitschaft für individualisierte Produkte um 20 bis 30 Prozent höher liegt als die für Standardprodukte (REICHWALD ET AL. 2006, S. 23). So konnte der Sportartikelhersteller Adidas für individualisierte Sportschuhe, die unter dem Namen „mi adidas“ vertrieben wurden, Preisaufläge von rund 25 Prozent gegenüber vergleichbaren Standardmodellen erzielen.

Derartige Ergebnisse, mögen sie noch so plausibel und beeindruckend sein, dürfen die unkontrollierte Variantengenerierung jedoch nicht vorantreiben. Sie müssen vielmehr immer wieder aufs Neue und im Bezug auf den konkreten Anwendungsfall überprüft werden.

Außerdem stellt sich grundsätzlich die Frage, ob und inwiefern die Ergebnisse übertragbar sind. Sei es auf andere Märkte, andere Produkte oder andere Branchen – oder aber auf den Investitionsgüterbereich. Gerade dort ist der Nutzen der vielfach zu beobachtende Flucht in die Variantenvielfalt äußerst fraglich und oft nicht nachgewiesen. Vor allem, wenn man sieht, dass die Variantenvielfalt in vielen Fällen ausgerechnet dazu dienen soll, die *eigenen* Marktanteile (in äußerst preissensiblen Märkten) zu halten.

Weiterhin gilt es zu bedenken, dass dem Nutzen der Variantenvielfalt auch „natürliche“ Grenzen gesetzt sind. So wirkt der Zahlungsbereitschaft für immer individuellere Produkte die zwangsläufig immer weiter abnehmende Unterscheidbarkeit der Produktvarianten entgegen. Hinzu kommt der grundsätzlich fragliche Kundennutzen, denn ein vielfältigeres Angebot heißt nicht ein richtigeres Angebot (LINDEMANN & BAUMBERGER 2006, S. 9).

Große Variantenvielfalt birgt zudem ein fundamentales, strategisches Problem, dem im Allgemeinen zu wenig Beachtung geschenkt wird: Der Kunde hat nicht nur hohe Ansprüche an die Individualität von Produkten, sondern auch an deren Verfügbarkeit und Qualität. Das sind konkurrierende Ziele, was die Unternehmensstrategie im Sinne Porters negativ beeinflusst (PORTER 1996).

2.5 Auswirkungen der Variantenvielfalt

Die Auswirkungen großer Variantenvielfalt sind wie bereits dargestellt vielfältig und nicht auf einzelne Unternehmensbereiche begrenzt. Dabei lassen sich sowohl positive Auswirkungen (Nutzenwirkungen) als auch negative Auswirkungen (Kostenwirkungen) feststellen, auf die im Folgenden eingegangen werden soll.

2.5.1 Positive Auswirkungen der Variantenvielfalt

Die Ausweitung des Produktprogramms, also die Entwicklung neuer Produktvarianten und die üblicherweise damit einhergehende – bewusste – Entwicklung neuer Komponentenvarianten, dient der Steigerung des Kundennutzens. In der Folge des so erzielten Wettbewerbsvorteils erhoffen sich Unternehmen die Stabilisierung und Steigerung ihrer Absätze. Die Erhöhung der Variantenvielfalt hat somit (zumindest potenziell) positive Auswirkungen auf den Kunden und auf das Unternehmen. Zur differenzierten Betrachtung der positiven Auswirkungen empfiehlt sich daher die Unterscheidung von Kunden- und Unternehmenssicht.

Kundensicht

Bruttonutzen

Im Verlauf des Kaufentscheidungsprozesses kommt es beim Kunden zur Präferenzbildung²². Das Angebot eines breiten Produkt- und Dienstleistungsspektrums zielt auf die positive Beeinflussung der Präferenzbildung ab, soll also eine Kaufentscheidung zugunsten der Produktalternativen des eigenen Unternehmens herbeiführen.

Die Präferenzbildung erfolgt zunächst auf Grundlage des von einem Produkt gestifteten Nutzens (RATHNOW 1993, S. 11). Dieser auch als Bruttonutzen bezeichnete Nutzen ergibt sich in erster Linie aus den (objektiven und subjektiven) Eigenschaften eines Produkts (vgl. Abschnitt 2.1.3), denn in der Kundenwahrnehmung stellt ein Produkt zunächst einmal ein Eigenschaftsbündel, also eine Kombination von Eigenschaften, die zur Erfüllung seiner Ansprüche dienen, dar (BROCKHOFF 1999, S. 12FF). Um einen Beitrag zum Bruttonutzen zu leisten, muss sich die Leistungserstellung demnach direkt an den Bedürfnissen des Marktes orientieren.

²² Die Präferenzbildung erklärt keineswegs den vollständigen Kaufentscheidungsprozess. Sie ist lediglich der zentrale Aspekt des im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu betrachtenden Ausschnitts des Prozesses. Für eine umfassende Darstellung der einzelnen Phasen des Kaufentscheidungsprozesses sei z. B. auf LILIEN & KOTLER (1983) verwiesen.

Dabei gilt es nicht nur, nutzbringende Eigenschaften zu identifizieren, sondern auch und vor allem Eigenschaftskombinationen, die den Kundenbedürfnissen entsprechen²³.

Neben den Eigenschaften eines Produkts tragen alle damit assoziierten Erfahrungen bzw. Erwartungen, etwa bezüglich des Kaufs oder des Services, bis hin zum Markenimage zur Bewertung des Bruttonutzens bei (RATHNOW 1993, S. 11). Aus diesem Grund stellen auch Dienstleistungen ein probates Mittel zur Beeinflussung des subjektiv wahrgenommenen Kundennutzens und letztlich der Kaufentscheidung dar (KUNZ 2005, S. 24 NACH BACKHAUS 1992; NIESCHLAG ET AL. 2002). Da Dienstleistungen gemäß der Definition in Abschnitt 2.1.1 jedoch nicht zur Produkt- und Komponentenvielfalt eines Unternehmens beitragen, sind sie auch von den weiteren Betrachtungen ausgenommen.

Nettonutzen (Kundennutzen)

Dem Bruttonutzen eines Produkts stehen die für den Kunden anfallenden Kosten entgegen. Diese setzen sich aus den (eventuellen) Kosten für die Anschaffung, die Nutzung und die Entsorgung sowie allen weiteren Folgekosten zusammen. Rationales Verhalten vorausgesetzt, wird ein Produkt nur dann gekauft werden, wenn ein Nettonutzen verbleibt. Dies ist genau dann der Fall, wenn die von einem Produkt zu erwartende Leistung, gemessen am wahrgenommenen Bruttonutzen, die dafür zu erbringende Leistung, in Form der aufzubringenden Kosten, übersteigt. Da der Nettonutzen eines Produkts in der Bilanz für den Kunden maßgeblich ist, wird er auch als Kundennutzen bezeichnet (RATHNOW 1993, S. 12). Der Zusammenhang zwischen Bruttonutzen, Kosten und Nettonutzen ist in Abbildung 2-8 dargestellt.

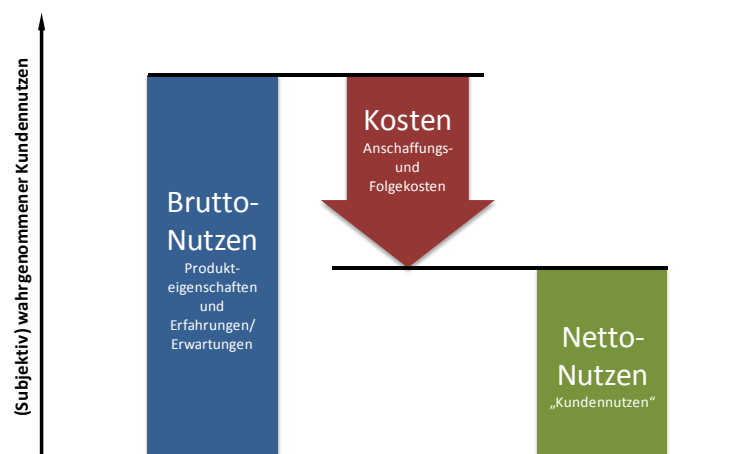


Abbildung 2-8 Konzept des Kundennutzens in Anlehnung an RATHNOW (1999, S. 12)

Damit die Kaufentscheidung zugunsten eines bestimmten Produkts fällt, muss der (subjektiv) wahrgenommene Kundennutzen nicht nur positiv, sondern auch größer als der der berücksich-

²³ Zur methodischen Unterstützung dieser Aufgabe sei an dieser Stelle auf die Conjoint-Analyse verwiesen; vgl. z. B. KERSTEN (2002, S. 31).

tigten Alternativprodukte sein. Gelingt es einem Unternehmen also, sein Produktprogramm – bei gleichen Kosten – auf die differenzierten Bedürfnisse seiner Kunden auszurichten, so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die einzelnen Produkte denen der Mitbewerber vorgezogen werden (KUNZ 2005, S. 24). Es gilt allerdings zu beachten, dass derartige Wettbewerbsvorteile ausschließlich durch die Variation kundenrelevanter Merkmale erzielt werden können. Die Variation nicht kundenrelevanter Merkmale kann sich, ganz im Gegenteil, sogar negativ auf den Kaufentscheidungsprozess auswirken, da sie die für die Entscheidungsfindung notwendige Transparenz reduziert (HEINA 1999).

Unternehmenssicht

Die positiven unternehmensseitigen Auswirkungen großer Variantenvielfalt ergeben sich unmittelbar aus der dadurch zu erzielenden Erfüllung individueller Kundenwünsche (KUNZ 2005, S. 25). Variantenvielfalt auf Produktebene ist, vor allem anderen, unerlässlich für die praktische Umsetzung einer Differenzierungsstrategie (KERSTEN 2002, S. 17). Der wesentliche strategische Nutzen großer Produkt- und Dienstleistungsvielfalt besteht im Aufbau von Markteintrittsbarrieren (durch die Bereitstellung eines Vollsortiments). Die weiteren potenziellen Nutzenwirkungen aus Unternehmenssicht sind die vollständige Ausschöpfung von Marktpotenzialen sowie die Verlängerung von Produktlebenszyklen. Auch auf Komponentenebene können sich Vorteile ergeben. So ermöglicht die ohnehin mit der Produktvielfalt einhergehende Komponentenvielfalt z. B. die funktions-, gewichts- oder kostenspezifische Optimierung von Baugruppen und Bauteilen (KERSTEN 2002, S. 18).

Voraussetzung für die tatsächliche Realisierung derartiger Wettbewerbsvorteile ist natürlich, dass die am Markt erzielbaren Preise die im Unternehmen entstandenen Kosten decken. Aufgrund der Defizite konventioneller Kostenrechnungssysteme (vgl. Abschnitt 2.6.2) ist dies jedoch nur in den wenigsten Fällen gegeben bzw. nachweisbar (KUNZ 2005, S. 25). Außerdem gilt es zu beachten, dass eine Ausweitung des Produktprogramms neben den erhofften positiven auch negative Mengeneffekte haben kann. Beim sog. Mitnahmeeffekt, der das primäre Ziel einer Angebotsausweitung darstellt, hat der Absatz zusätzlicher Produktvarianten keinen Einfluss auf den Absatz bestehender Varianten, d. h. es kommt insgesamt zu einer Absatzsteigerung. Bleibt der Gesamtabsatz hingegen konstant, geht der Absatz zusätzlicher Produktvarianten also zulasten bestehender Produktvarianten, spricht man vom Kannibalisierungseffekt (KERIN ET AL. 1978, S. 25FF; HILL & RIESER 1993, S. 255; KOTLER ET AL. 2001, S. 503). Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass beide Effekte in der Regel parallel auftreten, wobei der Kannibalisierungseffekt überwiegt. Die erzielbaren Umsätze wachsen daher nur degressiv mit der angebotenen Variantenvielfalt (HICHERT 1986, S. 673).

2.5.2 Negative Auswirkungen der Variantenvielfalt

Die negativen Auswirkungen großer Variantenvielfalt sind nahezu ausschließlich auf Unternehmensseite zu suchen. Der einzig nennenswerte Effekt auf Kundenseite ist die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Abnahme der Transparenz.

Entscheidender als die Frage nach negativen Auswirkungen, ist kundenseitig ohnehin die Frage nach der Notwendigkeit der Erfüllung immer individuellerer Kundenanforderungen. Die

Tatsache, dass Kunden das ihnen angebotenen Variantenspektrum ausschöpfen heißt noch lange nicht, dass es nötig ist. Folglich treibt eine Angebotsreduzierung die Kundschaft nicht zwangsläufig in die Arme der Mitbewerber. Auch die mit nicht unerheblichem Aufwand (im Vorfeld der Produktentwicklung) ermittelten kundenrelevanten bzw. -werten Eigenschaften bieten nur eine bedingte Verlässlichkeit. Kunden fordern zwar individuelle Produkte. Untersuchungen in den unterschiedlichsten Bereichen zeigen jedoch, dass es bezüglich der gebotenen Auswahlmöglichkeiten eine erhebliche Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis gibt. Besonders deutlich wird dies anhand einer von SCHWARTZ (2004, S. 32) angeführten Untersuchung aus dem medizinischen Bereich. Danach würden 65 Prozent aller gesunden Befragten im Falle einer Krebserkrankung ihre Behandlung selber wählen wollen. Allerdings wollen dies nur 12 Prozent der tatsächlich an Krebs erkrankten. Verallgemeinert bedeutet dies, dass Kunden u. U. ein viel geringeres Maß an Entscheidungsfreiheit (und Individualität) wollen als gemeinhin angenommen (und im Vorfeld mitunter von ihnen selbst) gefordert wird. Vor diesem Hintergrund steht die gängige Vorstellung, die gestiegene Variantenvielfalt sei direkte und unabänderliche Folge gestiegener Kundenanforderungen (und damit auch das gängige Verständnis von Kundenorientierung) auf dem Prüfstand.

Kostenwirkungen

Steigen Produkt- und/oder Komponentenvielfalt, lassen sich unterschiedliche Arten negativer Auswirkungen beobachten (Kunz 2005, S. 27ff). Die herausragenden und letztendlich entscheidenden Auswirkungen sind jedoch die auf die Kosten eines Unternehmens. Große Variantenvielfalt hat negative Auswirkungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und damit auf die Kosten sämtlicher Unternehmensbereiche. Dabei ist die verursachungsgerechte Zuordnung varianteninduzierter Kosten nur in den wenigsten Fällen (ohne erheblichen Mehraufwand) möglich. Veränderungen der Variantenvielfalt haben zwar einen unmittelbaren und daher leicht nachvollziehbaren Einfluss auf einzelne Kostenarten, wie Material- und Lohnkosten. Der Großteil der Kostenwirkungen betrifft jedoch die Gemeinkosten eines Unternehmens. So führt jede Steigerung der Produkt- und Komponentenvielfalt zu einem erhöhten Koordinationsbedarf. Dabei steigt der Anteil der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten proportional zur Anzahl der Varianten, da für jedes neue Produkt und jede neue Komponente zusätzliche Leistungen in Anspruch genommen werden müssen und somit zusätzliche Kosten anfallen. Diese Kosten werden als variantenabhängige oder auch variantenproportionale Gemeinkosten bezeichnet; vgl. z. B. ROEVER (1991).

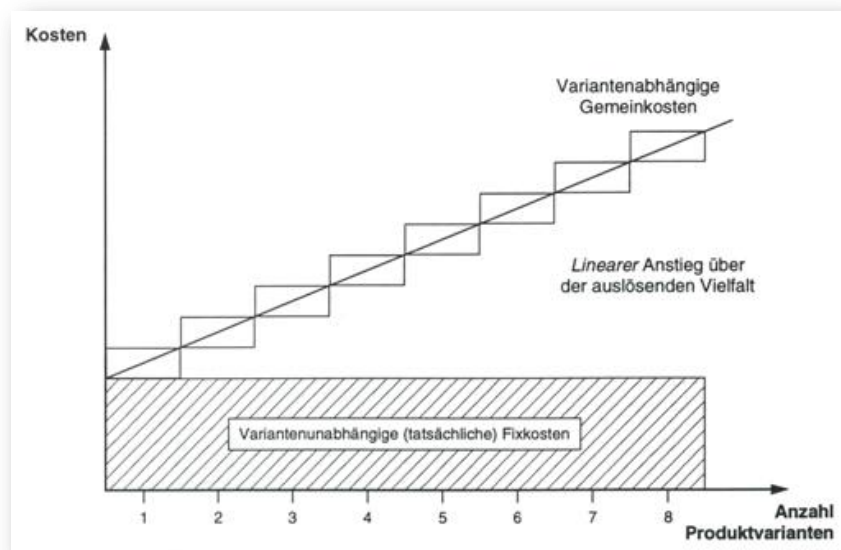


Abbildung 2-9 Stufenweiser Aufbau variantenabhängiger Gemeinkosten (KERSTEN 2002, S. 19)

Abbildung 2-10 gibt einen Überblick über die wesentlichen Kostenwirkungen der Variantenvielfalt bzw. die ihnen zugrunde liegenden Aufwände in den verschiedenen Unternehmensbereichen²⁴. Bereits aus diesem groben Überblick ist ersichtlich, dass vielfaltsinduzierte Kosten nicht nur am Ort ihrer Entstehung, sondern entlang der gesamten Wertschöpfungskette anfallen (KERSTEN 2002, S. 18F). Kostenverursachung und -verantwortung fallen mit zunehmender Variantenvielfalt also immer weiter auseinander, was die leichtfertige Variantengeneration in einigen Bereichen u. U. fördert und in einen weiteren Teufelskreis führt (vgl. Abschnitt 1.2).

²⁴ Eine detaillierte Beschreibung der technischen und organisatorischen Auswirkungen auf den Entwicklungs-, Beschaffungs-, Produktions- und Absatzbereich findet sich in KUNZ (2006, S. 27FF).



Abbildung 2-10 Negative Auswirkungen der Variantenvielfalt entlang der gesamten Wertschöpfungskette nach KERSTEN (2002, S. 18)²⁵

Der nicht optimale Ressourceneinsatz aufgrund zu großer Variantenvielfalt kann zu erheblichen Umsatz- und Deckungsbeitragsseinbußen führen, die als Opportunitätskosten bezeichnet werden (KERSTEN 2002, S. 20). Opportunitätskosten lassen sich nur schwer quantifizieren, werden aber qualitativ wahrgenommen. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Beherrschbarkeitsgrenze der Vielfalt in einem Unternehmensbereich überschritten wird und es zu sichtbaren Symptomen, wie z. B. Lieferengpässen, kommt. Überschreitet die Gesamtheit derartiger Symptome eine gewisse Schmerzgrenze, wird seitens der Verantwortlichen in der Regel mit dem Aufbau zusätzlicher Kapazitäten reagiert. Zunehmende Variantenvielfalt manifestiert sich folglich stufenweise in Form zusätzlicher Fixkosten (ROEVER 1991; BOHNE 1998, S. 17f). In Erwartung eines weiter steigenden Vielfaltsniveaus werden dabei zunächst oft Überkapazitäten aufgebaut. Das letztendlich immer vorhandene Bestreben, sämtliche vorhandenen Kapazitäten auszunutzen, kann in der Folge wiederum zu einer leichtfertigen Erhöhung der Variantenvielfalt führen (KERSTEN 2002, S.21).

²⁵ Weitere Übersichten finden sich z. B. in RATHNOW (1993, S. 24) und HEINA (1999, S. 24).

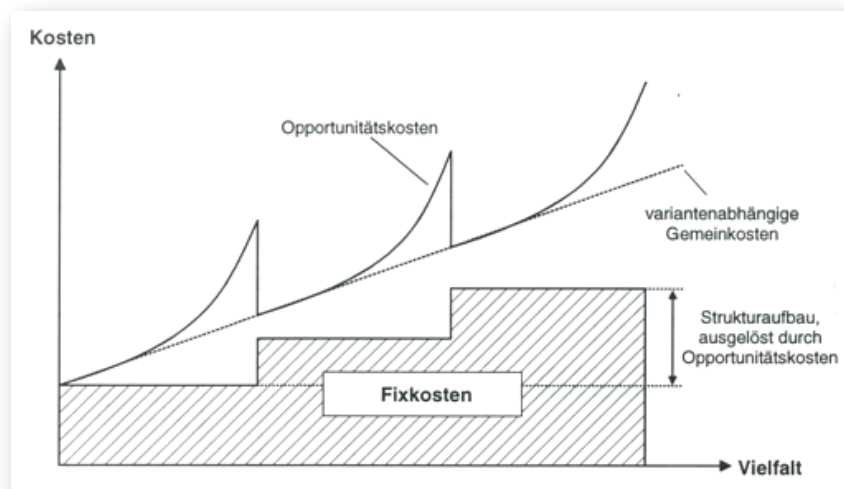


Abbildung 2-11 Schrittweise Überführung von Opportunitätskosten in Fixkosten (KERSTEN 2002, S. 22)

Da Opportunitätskosten exponentiell mit der ursächlichen Variantenvielfalt wachsen, werden sie und andere damit einhergehenden Symptome üblicherweise erst dann wahrgenommen, wenn die Beherrschbarkeitsgrenze bereits überschritten ist und erhebliche Ressourcenerweiterungen notwendig sind. Aufgrund dieser zeitlichen Verzögerung werden die zusätzlich benötigten Ressourcen darüber hinaus oft nicht mehr auf die gestiegene Variantenvielfalt zurückgeführt (KERSTEN 2002, S. 22).

Die Kostenwirkungen der Variantenvielfalt lassen sich, ebenso wie die Nutzenwirkungen, nur mittels aufwendiger und unternehmensspezifischer Analysen quantifizieren. Aus diesem Grund haben sich in der unternehmerischen Praxis vor allem qualitative Betrachtungen durchgesetzt. Untersuchungen zeigen jedoch immer wieder, dass erhebliche Kostenanteile auf die zu beherrschende Variantenvielfalt entfallen, die auf bis zu 16 Prozent der Herstellkosten bzw. 20 Prozent der Produktionskosten (KERSTEN 2002, S. 22) beziffert werden.

In der Praxis zeigt sich immer wieder ein Paradoxon im Zusammenhang mit den Kostenwirkungen der Vielfalt: Erfahrungsgemäß nennen die meisten der von der Thematik Betroffenen in Forschung und Wirtschaft, befragt nach den negativen Auswirkungen großer Variantenvielfalt, die Kosten für die Verwaltung zusätzlicher Varianten als erstes. Auch um die Nennung konkreter Zahlen sind viele der Befragten nicht verlegen, wobei das Spektrum von mehreren Hundert bis mehrere Tausend Euro reicht. Interessanterweise entbehren diese Beträge oft jeglicher Grundlage. So berufen sich die wenigsten Befragten auf wissenschaftliche Veröffentlichungen oder empirische (unternehmensinterne) Untersuchungen. Trotzdem ist die Einschätzung, dass jede zusätzliche Variante einen zusätzlichen Verwaltungsaufwand generiert unstrittig. Die Tatsache, dass dieser zusätzliche Verwaltungsaufwand kaum quantifiziert werden kann, erschwert jedoch die Bewertung der Notwendigkeit und Wirksamkeit von Maßnahmen des Variantenmanagements (vgl. Abschnitt 3.2.1).

2.6 Variantenmanagement

Die Auswirkungen ausufernder Variantenvielfalt und damit die Notwendigkeit eines wirkungsvollen Variantenmanagements sind seit langem bekannt. Auch über die Bedeutung für alle am Wertschöpfungsprozess beteiligten Fachbereiche besteht Konsens.

Gerade im konstruktiven Bereich wurde in der jüngeren Vergangenheit eine Vielzahl unterschiedlicher Konzepte, wie Baukasten-, Modul- und Plattformbauweisen, entwickelt. Derartige Konzepte haben längst Einzug in die industrielle Praxis gehalten und gehören in manchen Branchen bereits zum Standard.

Angesichts der Omnipräsenz des Themas in Wissenschaft und Wirtschaft existieren jedoch erstaunlich wenige bzw. wenig unterschiedliche übergeordnete Konzepte zum Variantenmanagement. Viele Beiträge unterscheiden sich zwar hinsichtlich des Anwendungsgebiets, basieren jedoch auf denselben einschlägig bekannten Grundkonzepten. Dies trifft insbesondere auf die Visualisierung der oft sehr komplexen Sachverhalte zu. Dabei kommt gerade der Visualisierung eine besondere Bedeutung im Variantenmanagement zu.

Wie bereits in Abschnitt 2.2 dargelegt, werden die Begriffe Variantenmanagement und Komplexitätsmanagement gerade im deutschsprachigen Raum oft synonym verwendet. An dieser Stelle soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass der vorliegenden Arbeit ein anderes Verständnis zugrunde liegt. Demnach ist das Variantenmanagement ein Teil des Komplexitätsmanagements (FIRCHAU ET AL. 2002, S. 12), wobei darunter eine Spezialisierung auf die Vermeidung, Beherrschung und Reduzierung von Produkt- und Komponentenvarianten zu verstehen ist.

2.6.1 Zielrichtungen des Variantenmanagements

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten festgestellt, besteht das übergeordnete Ziel des Variantenmanagements darin, das Verhältnis von interner zu externer Variantenvielfalt positiv zu beeinflussen. Es geht also darum eine gegebene (eine benötigte) externe Variantenvielfalt mit einer möglichst geringen internen Variantenvielfalt umzusetzen bzw. mit einer gegebenen (einer vorhandenen) internen Variantenvielfalt eine möglichst große externe Variantenvielfalt zu erzeugen.

Unter dem Begriff Variantenmanagement werden all jene Aktivitäten zusammengefasst, die auf die Vermeidung, Beherrschung und Reduzierung (sowie die *gezielte* Generierung) von Produkt- und Komponentenvarianten abzielen.

- Variantenvermeidung zielt darauf ab, die Entstehung von Produkt- und Komponentenvarianten von Beginn an zu verhindern und gleichzeitig alle (aktuellen sowie zukünftigen) vom Kunden honorierten Anforderungen zu erfüllen.
- Variantenbeherrschung zielt darauf ab, die Handhabung der Produkt- und Komponentenvarianten entlang des gesamten Wertschöpfungsprozesses zu gewährleisten und so effizient wie möglich zu gestalten.

- Variantenreduzierung zielt darauf ab, bestehende Produkt- und Komponentenvarianten zu eliminieren, ohne die Erfüllung der (nach wie vor) vom Kunden honorierten Anforderungen einzuschränken.

KERSTEN (2002, S. 7) bezeichnet diese Zielrichtungen als die drei Grundstrategien des Varianten- bzw. Vielfaltsmanagements und beschreibt ihren Bezug zur externen und internen Variantenvielfalt. Alle drei Grundstrategien können sich sowohl auf die externe als auch auf die interne Vielfalt beziehen. Variantenvermeidung umfasst dabei die gezielte Festlegung der anzubietenden Produktvielfalt anhand der (prognostizierten) Nachfragesituation (Ebene der externen Vielfalt) und die variantengerechte Gestaltung der Produktstruktur (Ebene der internen Vielfalt) unter Ausschöpfung der technologischen Möglichkeiten. Variantenreduzierung bezeichnet hingegen die Eliminierung bestehender Varianten durch nachträgliche Einschränkungen des Angebots (Ebene der externen Vielfalt) oder Anpassungen der Produktstruktur (Ebene der internen Vielfalt). Variantenbeherrschung umfasst neben der prozessualen Bewältigung der inneren Vielfalt (etwa im Bereich der Logistik) auch die der äußeren Vielfalt (z. B. die Konzipierung von Produktkonfiguratoren).

Die Notwendigkeit²⁶ bzw. Wirksamkeit²⁷ von Aktivitäten zur Vermeidung, Beherrschung und Reduzierung von Varianten hängt vom Fortschritt des Produktentwicklungsprozesses bzw. -lebenszyklus ab (Abbildung 2-12). So ist die Wirksamkeit und damit die Notwendigkeit der Variantenvermeidung bereits bei der Identifikation kundenrelevanter Eigenschaften am größten, denn eine Anforderung, die gar nicht erst umgesetzt werden muss, kann keinerlei negative Einflüsse auf die interne oder externe Variantenvielfalt und damit -komplexität haben. Geht man davon aus, dass die Anzahl der Produkt- und Komponentenvarianten im Verlauf der Zeit (zu Recht oder zu Unrecht) steigt, so steigt definitionsgemäß auch die Notwendigkeit zu deren Beherrschung. Gleichzeitig bieten sich mehr Möglichkeiten zur Variantenreduktion, wemgleich diese im Grundsatz immer gegeben sind und genutzt werden sollten²⁸.

²⁶ Laut STOCKMAR (2004, S. 7) hängt die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Variantenvermeidung, -beherrschung und -reduzierung auch von der strategischen Ausrichtung eines Unternehmens ab (Massen- vs. Premiumhersteller).

²⁷ Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass in der Produktentwicklung mit der frühestmöglichen Durchführung einer Maßnahme die größtmögliche Wirkung erzielt wird.

²⁸ Die Unternehmensberatung A.T. Kearney bemängelt in diesem Zusammenhang, dass das Komplexitätsmanagement in der Vergangenheit oft auf die nachträgliche Reduzierung von Komplexität beschränkt worden, dies zukünftig aber nicht mehr ausreichend sei (A.T. KEARNEY, INC. 2011, S. 2).

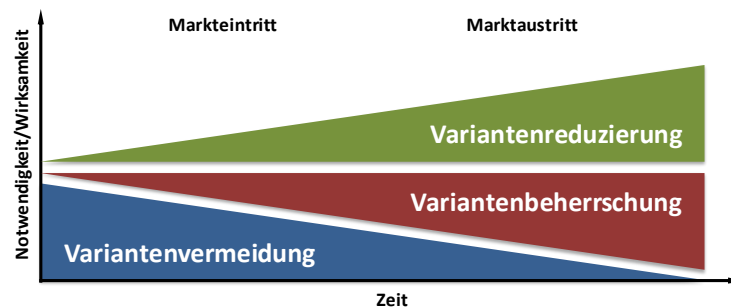


Abbildung 2-12 Die drei Zielrichtungen des Variantenmanagements in Anlehnung an FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG (2011)

HEINA (1999, S. 41ff) erweitert die drei Zielrichtungen des Variantenmanagements um die (gezielte) Variantengenerierung (Abbildung 2-13). Dabei geht er davon aus, dass eine Ausweitung des Produktprogramms, sofern sie nach eingehender Prüfung profitabel erscheint, eine vollkommen angemessene Maßnahme ist und daher Teil jedes umfassenden Variantenmanagements sein sollte (AVAK 2007, S. 23).

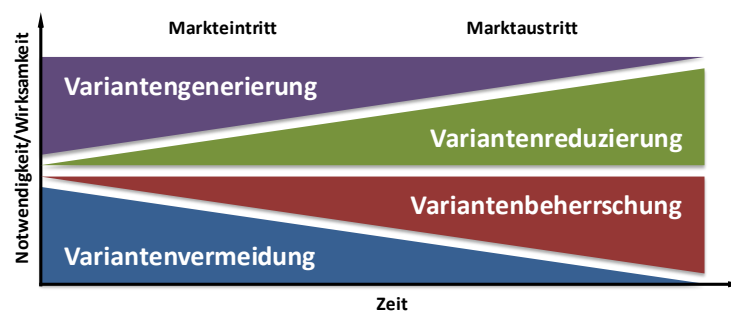


Abbildung 2-13 Die vier Zielrichtungen des Variantenmanagements in Anlehnung an HEINA (1999)

Ein weiterer interessanter Gedanke im Zusammenhang mit der gezielten Variantengenerierung ist folgender: Viele Unternehmen kennen die Produktvarianten, die sie anbieten bzw. verkauft haben und die Komponentenvarianten, die sie dafür benötigen. Sie kennen jedoch nicht die Produktvarianten, die sie *nicht* anbieten bzw. verkauft haben, die sie aber mit den *vorhandenen* Komponentenvarianten herstellen könnten. Dabei ermöglicht die Generation zusätzlicher Produktvarianten aus bestehenden Komponentenvarianten in vielen Fällen die Angebotserweiterung ohne (nennenswerten) zusätzlichen Entwicklungsaufwand und kann daher äußerst lukrativ sein.

2.6.2 Limitierungen des Variantenmanagements

Die Treiber und Auswirkungen hoher Variantenvielfalt sowie die daraus resultierende Notwendigkeit eines umfassenden Variantenmanagements wurden in den vorangegangenen Abschnitten ausführlich erläutert. Bevor die wesentlichen Ansätze zum Variantenmanagement vorgestellt werden, soll jedoch auf die Limitierungen eingegangen werden, denen insbesondere die nachträgliche Variantenreduzierung unterliegt.

Defizite konventioneller Kostenrechnungssysteme

Konventionelle Kostenrechnungssysteme weisen Defizite im Hinblick auf das Variantenmanagement auf, die bereits Teil der Ausführungen zur Problemstellung waren. Die Defizite bestehen in der nicht verursachungsgerechten Zuweisung vielfaltsinduzierter Kosten, in deren Folge es zu einer systematischen Kostenverzerrung und potenziellen Quersubventionierung unrentabler zulasten rentabler Produktvarianten kommt (KERSTEN 2002, S. 23FF).

Bei der in den meisten Unternehmen üblichen Zuschlagskalkulation auf Vollkostenbasis werden den Produkten lediglich Einzelkosten, das sind in erster Linie Material- und Lohnkosten, *direkt* zugeordnet. Alle verbleibenden Kosten werden den Produkten als Gemeinkosten auf Grundlage einer Bezugsbasis wie den Material- und Lohnkosten zugeschlagen und somit *indirekt* zugeordnet. Die Bezugsbasis steht jedoch nur in mittelbarem Zusammenhang mit den zu verrechnenden Kosten. So sind die Kosten für die Disposition eines Materials vollkommen unabhängig von dessen Wert – werden aber mitunter so verrechnet, als wären sie es. Zudem wird eine Volumenproportionalität unterstellt, aufgrund derer Produktvarianten, die in hohen Stückzahlen gefertigt werden höhere Kosten zugeordnet werden als solchen, die in geringen Stückzahlen gefertigt werden – Standardvarianten werden also zu teuer und Sondervarianten zu billig kalkuliert. Diese Art der Kostenverzerrung ist umso stärker, je größer die Stückzahldivergenz zwischen den Produktvarianten ist.

Die weit verbreitete Deckungsbeitragsrechnung ist als Form der Teilkostenrechnung – zumindest im Rahmen der Programmplanung – ebenfalls als problematisch anzusehen. Die ausgewiesenen Deckungsbeiträge suggerieren, dass auch neue Produktvarianten einen Beitrag zur Deckung *ohnehin* anfallender Fixkosten leisten. Allerdings sind die so bezeichneten Kosten nur im Bezug auf beschäftigungsabhängige Mengenänderungen fix, nicht aber auf Änderungen des Produktprogramms. Neue Produktvarianten leisten also tatsächlich einen Beitrag zu den Fixkosten – gleichzeitig lässt ihre Einführung die Fixkosten jedoch sprunghaft ansteigen. Wird dieser Zusammenhang nicht ausreichend berücksichtigt, kommt es auch im Falle der Deckungsbeitragsrechnung zu einer Kostenverzerrung zugunsten neuer und damit zunächst einmal absatzschwacher Produktvarianten.

Die beschriebenen Defizite sind aus folgendem Grund von Belang für das Variantenmanagement: Kostenrechnungssysteme, die die *negativen* Auswirkungen *hoher* Variantenvielfalt nicht darstellen können, können die *positiven* Auswirkungen *reduzierter* Variantenvielfalt ebenso wenig darstellen. Daher muss man sich bereits im Vorfeld jeglicher Maßnahmen zur Variantenreduzierung darüber im Klaren sein, dass deren Ergebnisse nicht quantifizierbar sein werden. Ist eine Quantifizierung hingegen gefordert oder notwendig, müssen andere Kostenrechnungssysteme zum Einsatz kommen oder die Maßnahmen brauchen gar nicht erst verfolgt zu werden.

Natürlich hat das Wirtschaftlichkeitsprinzip auch im Variantenmanagement uneingeschränkte Gültigkeit. Der Aufwand zum Nachweis der Wirksamkeit einer Maßnahme muss also stets in angemessenem Verhältnis zum Aufwand zur Durchführung der Maßnahme selbst stehen.

Kostenremanenz bei der Variantenreduktion

Variantenabhängige Gemeinkosten können, wie in Abschnitt 2.5.2 dargelegt, als proportional zur Anzahl der Varianten angenommen werden (und werden daher auch als variantenproportionale Gemeinkosten bezeichnet). Die Reduktion variantenabhängiger Gemeinkosten kann demnach als proportional zur Anzahl der reduzierten Varianten angenommen werden. Differenziertere Betrachtungen (verursachungsgerechte Kostenzuordnungen) zeigen jedoch, dass dieser Zusammenhang nicht uneingeschränkt gültig ist, was erhebliche Auswirkungen auf die potenzielle Wirksamkeit nachträglicher Variantenreduktionen hat.

Die durch zusätzliche Produkt- und Komponentenvarianten verursachten Gemeinkosten lassen sich in einmalige und laufende Kosten unterteilen (RATHNOW 1993, S. 20ff). Einmalige Kosten fallen in erster Linie während der Produktentstehung, der Produkteinführung und des Produktauslaufs an (laufende in der Marktphase) und entstehen durch einmalige Tätigkeiten, wie das Anlegen zusätzlicher technischer Dokumente. Derartige Kosten können durch eine nachträgliche Variantenreduktion selbstverständlich nicht reduziert werden. Im Gegenteil: Die Reduktion von Produkt- und insbesondere die von Komponentenvarianten erfordert oft sogar weitere einmalige Tätigkeiten, wie das Anpassen bestehender technischer Dokumente, die ihrerseits einmaligen Kosten verursachen.

Hinzu kommt, dass der Aufbau varianteninduzierter Gemeinkosten in vielen Fällen stufenweise und zeitlich verzögert erfolgt (vgl. Abschnitt 2.5.2). Denn erst wenn die aufgrund zusätzlicher Varianten notwendigen Tätigkeiten die zur Verfügung stehenden Ressourcen eines Unternehmensbereichs überschreiten wird in zusätzliches Personal, leistungsfähigere EDV-Systeme und flexiblere Produktionsanlagen etc. investiert. Die dadurch entstehenden Kosten sind nicht nur unabhängig von Änderungen der Produktionsmengen („klassische“ Fixkosten), sondern auch von Änderungen des Produktprogramms und können daher, wenn überhaupt, nur langfristig wieder abgebaut werden.

Aufgrund der zuvor beschriebenen Zusammenhänge können variantenabhängige Gemeinkosten durch den nachträglichen Abbau von Variantenvielfalt nicht in gleichem Maße reduziert werden, wie sie durch den vorherigen Aufbau von Variantenvielfalt erhöht wurden (Abbildung 2-14). Dieses Phänomen wird als Kostenremanenz (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 21), Hysterese-Effekt (HICHERT 1986, S. 673f) oder asymmetrisch-dynamisches Kostenverhalten bezeichnet (KUNZ 2005, S. 33).

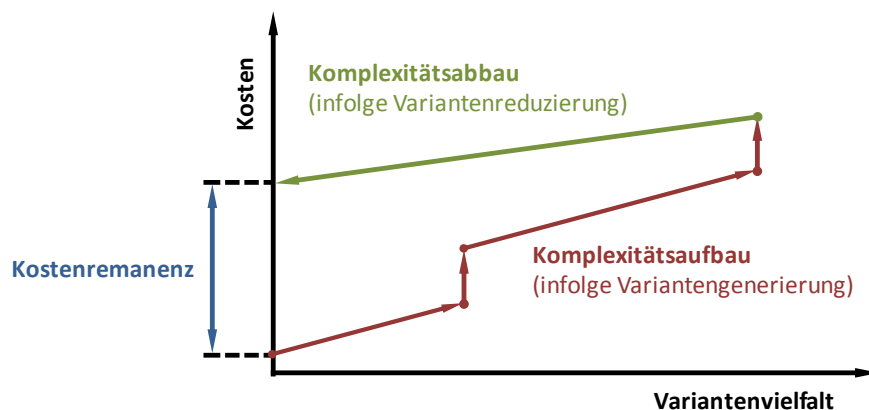


Abbildung 2-14 Hysterese-Effekt beim Komplexitätskostenabbau in Anlehnung an SCHUH & SCHWENK (2001, S. 21) und HICHERT (1986, S. 674)

Die potenzielle Tragweite dieses Phänomens wird vor dem Hintergrund folgender Überlegung deutlich: Viele Unternehmen sind dazu gezwungen, komplette Variantenspektren vor Markteintritt zu entwickeln. Dabei weisen die Einbauraten variantenreicher Komponenten in vielen Branchen eine typische Pareto-Verteilung auf, d. h. nur ca. 20 Prozent der Varianten werden häufig verbaut, die restlichen ca. 80 Prozent hingegen selten oder nie (LINDEMANN & BAUMBERGER 2006, S. 8). Die durch die überflüssigen Varianten entstehenden Komplexitätskosten können auch durch eine nachträgliche Variantenreduktion nicht vollständig abgebaut werden und stellen daher eine langfristige und mitunter große Belastung dar.

Schwellen für die Wirksamkeit der Variantenreduktion

Die Anzahl der Varianten einer Komponente ist eine wesentliche Größe für den Handlungsspielraum in der Großserienfertigung. Eine typische Aussage aus der Praxis ist die, dass die Anzahl der Komponentenvarianten am Band nicht mehr „darzustellen“ sei und die Komponente deshalb „gesequenced“ werden müsse. D. h. die Komponentenvarianten können nicht mehr allesamt an der entsprechenden Station der Fertigungslinie (oder in sog. Supermärkten) vorgehalten werden, sondern müssen just-in-Sequence angeliefert werden, was mit einem erheblichen logistischen Mehraufwand verbunden ist; vgl. ALDERS (2006, S. 225). Übersteigt die Anzahl der Varianten einer Komponente also eine gewisse Schwelle, so kommt es zu massiven zusätzlichen Belastungen.

Natürlich gehört die Just-in-Sequence-Produktion heute in vielen Bereichen zum Standard und wird permanent effektiver und effizienter. Sie ist jedoch mit solch erheblichen Zusatzaufwänden verbunden, dass sie nur dort wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann, wo sie unabdingbar ist. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund des nach wie vor zunehmenden Kostendrucks auf den längst globalen Märkten. Darüber hinaus gilt es eine weitere zukünftige Entwicklung zu bedenken: Die Anzahl der handzuhabenden Komponenten und Komponentenvarianten ist in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen und wird aller Voraussicht nach weiter steigen. Selbst wenn der derzeitige Just-in-Sequence-Anteil an

der Großserienfertigung also wirtschaftlich gerechtfertigt, beherrschbar und sogar notwendig ist, gilt es doch Rationalisierungspotenziale für die Zukunft zu schaffen.

Besonders Interessant an dem oben geschilderten Zusammenhang ist, dass er ganz konkrete Auswirkungen auf die zu erzielenden Ergebnisse des Variantenmanagements hat, die in Abbildung 2-15 dargestellt sind. Die Schwellen, die eine Just-in-Sequence-Produktion bedingen, sind gleichzeitig die Zielwerte für eventuelle Maßnahmen zur Variantenreduktion. Jegliche Variantenreduktion, die nicht zur Unterschreitung vorhandener Schwellen führt ist vollkommen wirkungslos – zumindest im Hinblick auf die Reduzierung des Just-in-Sequence-Anteils und damit auf einen der größten Hebel zur Rationalisierung der Großserienfertigung.

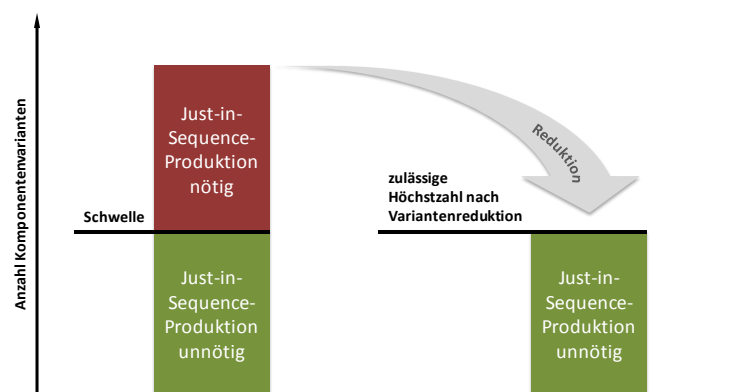


Abbildung 2-15 Bedeutung von Schwellen als Zielwerte für die Reduktion von Komponentenvarianten

Das Vorhandensein und die Höhe von Schwellen sind demnach wesentliche Voraussetzung, um den potenziellen Einfluss und damit den Sinn von Bemühungen zur Reduktion von Komponentenvarianten im Vorfeld beurteilen zu können. Trotzdem wird die Frage danach in vielen Fällen nicht gestellt (und folglich nicht beantwortet).

Lieferverpflichtungen und Ersatzteilversorgung

Die Reduzierung von Produkt- und Komponentenvarianten umfasst einerseits das Ersetzen einer oder mehrerer Varianten durch eine vorhandene oder neue Variante, andererseits das ersatzlose Streichen von Varianten. Beides ist aufgrund vertraglicher Vereinbarungen in der Praxis oft jedoch nicht möglich.

Die Kunden vieler Unternehmen können es sich aufgrund ihrer vermeintlich großen Abnehmermacht heutzutage erlauben, technische Änderungen an den von ihnen bezogenen Produkten grundsätzlich zu untersagen. Doch auch wenn dies nicht der Fall ist, sind technische Änderungen oft nicht möglich, weil sie in der Bilanz nicht lukrativ sein können. So sind die Zulieferer von Unternehmen bestimmter Branchen mittlerweile dazu verpflichtet, sämtliche technische Änderungen in einer laufenden Serie anzuzeigen. Die Folge wäre eine erneute Bemusterung aller betroffenen Produkte. Die Kosten für die Bemusterung hätte der Lieferant zu tragen, wodurch die Einsparungen der Variantenreduktion in der Regel kompensiert wür-

den. Die Tatsache, dass eine aus technischer Sicht adäquate Ersatzvariante vorhanden ist, heißt in vielen Fällen also nicht, dass diese auch eingesetzt werden kann.

Vollkommen unabhängig von der Zulässigkeit und Wirtschaftlichkeit technischer Änderungen, sind die meisten Unternehmen dazu verpflichtet, auch langfristig Ersatzteile liefern zu können. So ist es im Investitionsgüterbereich keine Seltenheit, dass selbst für Produkte, die seit Jahrzehnten im Einsatz sind Ersatzteile vorgehalten werden müssen. Das Ersatzteilgeschäft kann zudem äußerst einträglich sein, sodass viele Unternehmen die Ersatzteilversorgung schon aus Eigeninteresse lange aufrecht erhalten.

Verallgemeinernd kann man also sagen, dass Produkt- und Komponentenvarianten, die einmal „im Markt“ sind, aus vertraglichen und wirtschaftlichen Gründen nicht ohne weiteres ersetzt und schon gar nicht aus dem Angebot gestrichen werden können.

2.7 Hilfsmittel zur Strukturierung und Visualisierung der Variantenvielfalt

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über diejenigen Hilfsmittel, Konzepte und Software-Werkzeuge, die ausdrücklich für die Anwendung im Rahmen des Variantenmanagements (im Sinne der gezielten Analyse und Optimierung von Variantenspektren) gedacht sind bzw. in besonderer Weise dafür geeignet scheinen und daher eine Grundlage der vorliegenden Arbeit darstellen. Einen umfassenden Überblick über Veröffentlichungen im erweiterten Kontext des Variantenmanagements gibt PULM (2004, S. 128ff).

Der Strukturierung und Visualisierung der oft umfangreichen und komplexen Zusammenhänge kommt eine außerordentlich große Rolle im Variantenmanagement zu. Nachfolgend werden die wichtigsten Hilfsmittel zur Erfüllung dieser Aufgabe vorgestellt. Neben graphischen haben sich gerade in jüngerer Zeit matrixbasierte Ansätze etabliert. Diese werden von vielen ungeübten Anwendern zwar als weniger eingänglich empfunden, sie erlauben jedoch eine sehr kompakte Darstellung von Informationen und sind daher auch für umfangreiche Variantenspektren geeignet. Zudem kommen sie mit weit weniger Redundanzen als die „klassischen“ Darstellungen aus, was die Übersichtlichkeit bei großen Betrachtungsumfängen wiederum erhöht.

2.7.1 Merkmalbaum

Der Merkmalbaum ist das wohl bekannteste und weitverbreitetste Mittel zur Visualisierung von Varianten bzw. Variantenspektren. Wie der Name impliziert, werden in einem Variantenbaum die Merkmale und deren Ausprägungen, also die Eigenschaften der zu betrachtenden Varianten in einem Baumdiagramm dargestellt. Der Baum liegt dabei in der Regel auf der Seite, wobei das Element, das die Wurzel des Baumes bildet auf der linken Seite zum liegen kommt. Nach rechts hin verzweigt sich der Baum (siehe Abbildung 2-16).

Jede (vertikale) Ebene des Variantenbaums ist genau einem Merkmal zugeordnet. Die Einträge in einer Ebene entsprechen den einzelnen Ausprägungen eines Merkmals. Jeder Ast des Merkmalbaums entspricht genau einer Variante.

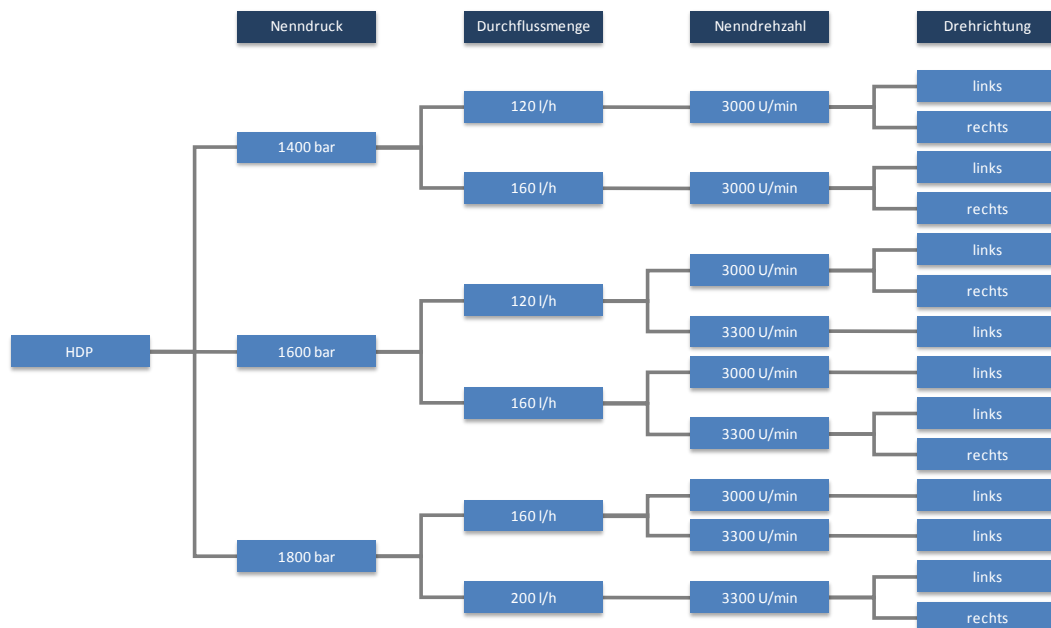


Abbildung 2-16 Darstellung der Eigenschaften (Merkmale und Ausprägungen) von Produkt- bzw. Komponentenvarianten im Merkmalsbaum

Da unterschiedliche Varianten z. T. identische Eigenschaften haben können (zwei Varianten unterscheiden sich in mindestens einer Eigenschaft, also der Ausprägung eines Merkmals), kann eine Merkmalsausprägung mehrmals im Merkmalsbaum enthalten sein. Enthielte ein Spektrum von Fahrzeugen beispielsweise zehn Produktvarianten mit Sechszylinder-Motor, so würde die Ebene „Zylinderzahl“ (Merkmal) bis zu zehn Mal den Eintrag „6“ (Ausprägung) enthalten. Die genaue Anzahl identischer Einträge hängt davon ab, welcher Ebene ein bestimmtes Merkmal entspricht. Entspräche das Merkmal „Zylinderzahl“ der ersten Ebene, würde der Eintrag „6“ nur ein einziges Mal auftauchen und die Wurzel eines sich weiter verzweigenden Teil des Merkmalsbaumes darstellen (alle Varianten in diesem Teil des Merkmalsbaumes hätten einen Sechszylinder-Motor). Entspräche die Zylinderzahl hingegen der letzten Ebene des Baumes, würde der entsprechende Eintrag genau zehn Mal auftauchen.

Abhängig von der Reihenfolge der Merkmale, also der Ebenen, verändert sich auch die Gesamtzahl der darzustellenden Merkmalsausprägungen, also der Einträge. Folglich verändern sich auch die Ausdehnung und die Gestalt des Merkmalsbaumes. Es ist jedoch ein weit verbreiteter Irrtum, dass die Reihenfolge der Merkmale in einem Merkmalsbaum irgendeine Aussage und damit irgendeine Implikation auf die Optimierung von Variantenspektren hätte. Dem ist, anders als im Falle des von SCHUH (1989, S. 45ff) entwickelten Variantenbaumes (vgl. Abschnitt 2.7.2), nicht so. Schließlich bleibt die Gesamtzahl der Varianten, also der Äste des Baumes, immer gleich.

Aufgrund ihres Aufbaus bzw. Inhalts können Merkmalsbäume sowohl zur Darstellung von Produktvarianten, als auch zur Darstellung von Komponentenvarianten verwendet werden, denn beide verfügen über Eigenschaften (vgl. die Ausführungen zu System- und Kompo-

teneigenschaften in Abschnitt 2.1.3). Merkmalbäume dienen jedoch nicht alleine der Darstellung von Eigenschaften. Sie erlauben vielmehr die Visualisierung der Kombinatorik von Merkmalen und deren Ausprägungen und der daraus resultierenden Vielfalt. Der große Vorteil von Merkmalbäumen besteht dabei in ihrer intuitiven Verständlichkeit, was in erster Linie darin begründet liegt, dass das Denken in hierarchischen Strukturen und deren Darstellung in Form von Baumdiagrammen weit verbreitet sind.

Merkmalbäume weisen jedoch auch erhebliche Nachteile auf, die ihre Anwendbarkeit stark einschränken. So werden sie schnell groß und unübersichtlich, denn die Anzahl darzustellender Varianten und damit die Anzahl der Äste von Variantenbäumen können (im Extremfall) exponentiell mit der Anzahl vorhandener Merkmalsausprägungen steigen. Allein aufgrund dieser Tatsache sind Merkmalbäume für umfangreiche Variantenspektren, die es in der Praxis nun einmal zu betrachten gilt, oft ungeeignet. Hinzu kommt, dass die redundante Darstellung identischer Merkmalsausprägung (zumal in umfangreichen Merkmalbäumen) trotz des intuitiven Grundaufbaus zu Verwirrungen führen kann.

Die Verwendung von Baumdiagrammen zur Visualisierung verschiedenster Sachverhalte ist so weit verbreitet, dass sich kaum sagen lässt, wer die naheliegende Anwendung im Zusammenhang mit Variantenspektren begründet hat. Für die nachfolgenden Ausführungen sind die von SCHUH (2004B, S. 9FF) zugrunde gelegte Definition und insbesondere die damit einhergehende Abgrenzung zu Variantenbäumen maßgeblich. Tatsächlich werden Merkmalbäume in der Praxis oft, wahrscheinlich sogar meistens, als Variantenbäume bezeichnet. Variantenbäume dienen jedoch ausschließlich zur Darstellung der im Verlauf von Montageprozessen entstehenden Vielfalt von Halbfertigerzeugnissen (siehe Abschnitt 2.7.2). Für diese Arbeit gilt: Variantenbaum ist keine alternative Bezeichnung für einen Merkmalbaum, sondern ein klar definiertes, anders aufgebautes Hilfsmittel zur Beantwortung anderer Fragestellungen. Die ebenfalls verwendete Bezeichnung Strukturvariantenbaum²⁹ PULS (2002, S. 39) steht nicht im Konflikt mit den Definitionen anderer Hilfsmittel.

Neben der Visualisierung der Kombinatorik von Eigenschaften, werden Merkmalbäume auch zur Visualisierung der Kombinatorik von Komponentenvarianten benutzt. Obwohl dies nicht der ursprünglichen Definition entspricht, ist auch diese Anwendung durchaus angebracht (und wohl das einzige Argument, die Bezeichnung Variantenbaum vorzuziehen). Es kommt jedoch vor, dass Eigenschaften und Komponenten in einem „Variantenbaum“ miteinander kombiniert werden, was schnell zu Verwirrung führen kann. Es sollte immer beachtet werden, dass die Betrachtung von Eigenschaften auf einer höheren Abstraktionsebene stattfindet als die von Komponenten und dass ein klarer Zusammenhang zwischen Eigenschaften und Komponenten besteht: Komponenten dienen der Realisierung bzw. Bereitstellung von Eigenschaften (stehen also nicht auf einer Stufe mit ihnen). Die strikte (zumindest gedankliche) Trennung von Eigenschaften- und Komponentensicht ist daher wesentlich (vgl. Abschnitt 3.1.1). Die Auswahl der einzunehmenden Sicht bzw. die Festlegung der Betrachtungsreihenfolge sollte natürlich immer anhand der zu beantwortenden Fragestellung geschehen.

²⁹ Weitere, jedoch selten verwendete und z. T. falsche Assoziationen hervorrufende, Bezeichnungen sind Lösungsbaum, Stammbaum und Lösungsstammbaum (PULS 2002, S. 39).

2.7.2 Variantenbaum

Der Variantenbaum ist essenzieller Bestandteil der von SCHUH (1989) entwickelten Methodik zur Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten. Der Variantenbaum dient der grafischen Aufbereitung der entlang von Montageprozessen entstehenden Komponenten- und Produktvielfalt (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 112F). Unterschiedliche Arten zum Einsatz kommender Komponenten werden dabei durch unterschiedliche Kästen symbolisiert (siehe Abbildung 2-17). Kleine, einzelne Kästen mit dünner Umrandung symbolisieren Bauteile, die keine Varianz aufweisen (Anbauteile). Sie sind anhand der Montager Reihenfolge durchnummeriert und enthalten ganze Zahlen. Kleine, nebeneinanderstehende Kästen mit dicker Umrandung symbolisieren Bauteile, die in unterschiedlichen Varianten vorliegen (Variantenteile). Sie enthalten zwei ganze durch einen Punkt getrennte Zahlen. Die erste Zahl ist Teil der übergeordneten Nummerierung, die die Montager Reihenfolge repräsentiert und ist folglich bei allen Varianten gleich. Die zweite Zahl dient zur Unterscheidung der einzelnen Varianten. Große Kästen symbolisieren Baugruppenvarianten. Sie enthalten Abkürzungen, die sich auf ihre spätere Verwendung in bestimmten Produktvarianten beziehen und sie eindeutig definieren. Verbindungslinien zwischen den einzelnen Kästen stellen den Zusammenbau von Komponenten sowie deren Einbau in Baugruppenvarianten dar.

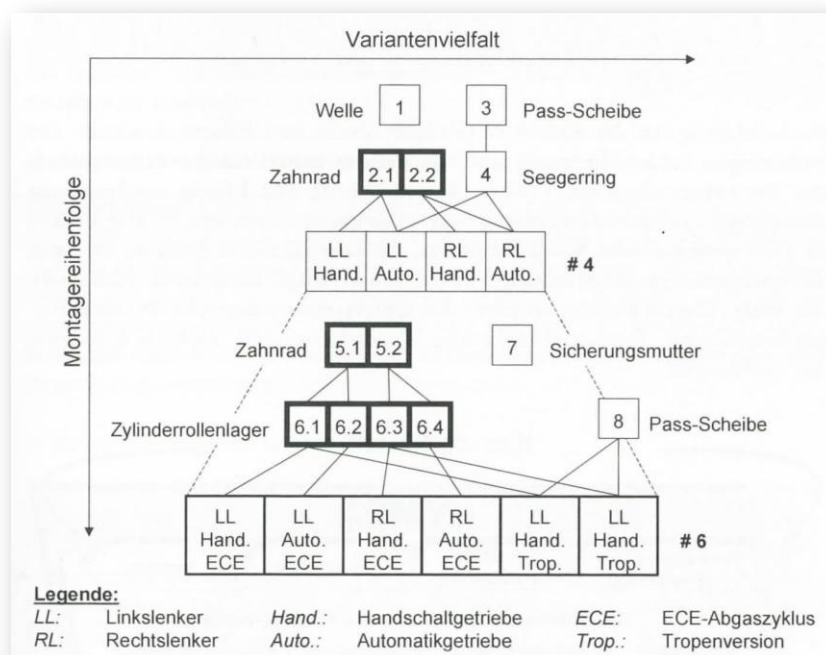


Abbildung 2-17 Darstellung der Variantenvielfalt über der Montager Reihenfolge im Variantenbaum (SCHUH & JONAS 1997, S. 27)

Obwohl er dem Merkmalbaum in seinem grundsätzlichen Aufbau ähnelt und für Fragestellungen im selben Kontext herangezogen wird, ist der Variantenbaum ein weniger gut verstandenes und weit verbreitetes Hilfsmittel. Dabei wurden beide z. T. gemeinsam entwickelt und

sind in ihrer Anwendung untrennbar miteinander verbunden, wie die von SCHUH & SCHWENK (2001, S. 112) festgelegten Schritte zum Aufbau eines Variantenbaums zeigen:

- Erfassen der Merkmale und Ausprägungen,
- Festlegen der Kombinationsverbote und Kombinationszwänge zwischen den Ausprägungen,
- Generieren der Typen und Ermitteln der Variantenzahl,
- Eingeben der Teiledaten und Zuordnen der Teileverwendung,
- Festlegen der Montagereihenfolge und
- Berechnen der Variantenbaumgrafik.

Merkmalbäume unterstützen die Durchführung der ersten drei Schritte in besonderer Weise.

Die alternative Verwendung des Begriffs Variantenbaum wurde bereits in Abschnitt 2.7.1 bemängelt. Natürlich gilt es anzuerkennen, dass der Begriff Variantenbaum in der Praxis häufig verwendet wird, um einen Merkmalbaum zu bezeichnen. Vermutlich wird der Begriff Variantenbaum sogar häufiger in diesem als im ursprünglichen Kontext gebraucht – und vermutlich wird er häufiger gebraucht als der Begriff Merkmalbaum. Aber angesichts der Tatsache, dass es eine klare Abgrenzung gibt und zugunsten einer eindeutigen Ausdrucksweise, werden die Begriffe Merkmalbaum und Variantenbaum im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich in ihrer ursprünglichen und oben beschriebenen Bedeutung verwendet.

Die Darstellung im Variantenbaum bildet die Grundlage der Methodik zur gezielten Optimierung der Montagereihenfolge bzw. Produktstruktur und damit zur Reduktion der entstehenden Variantenvielfalt. Die Methodik basiert auf der Annahme, dass die Handhabung der im Verlauf des Montageprozesses entstehenden Halbfertigprodukte zu erheblichen Mehraufwänden und damit -kosten führt und neben der Qualität auch die Lieferfähigkeit negativ beeinflusst (vgl. Abschnitt 2.5.2). Wesentlicher Betrachtungsgegenstand der Variantenbaumanalyse ist daher der Variantenentstehungszeitpunkt. Eine gegebene Anzahl von Komponenten- bzw. Produktvarianten kann bereits durch die ersten Montageschritte (früher Variantenentstehungszeitpunkt) oder aber erst durch die letzten Montageschritte erzeugt werden (später Variantenentstehungszeitpunkt). Ein späterer Variantenzeitpunkt bedeutet dabei eine geringere Anzahl von Halbfertigprodukten und ist folglich von Vorteil. Der Variantenentstehungszeitpunkt bzw. die Variantenentstehungszeitpunkte (einschließlich ihres Verlaufs) lassen sich bereits an der Gestalt des Variantenbaums erkennen. Ziel der nachgelagerten Optimierung ist die Verschiebung der Variantenentstehungszeitpunkte in möglichst späte Phasen des Montageprozesses durch Umstellung der Montagereihenfolge oder auch Anpassung der Produktstruktur. Im Falle von Neuentwicklungen kann der Variantenbaum zur Gestaltung der Produktstruktur genutzt werden. Dabei werden Planspiele durchgeführt, um verschiedene Strukturalternativen zu bewerten und letzten Endes die geeignete Produktstruktur zu finden (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 113).

2.7.3 Merkmals-Ausprägungs- und Kombinationsmatrix

Die Merkmals-Ausprägungs-Matrix und die Kombinationsmatrix dienen der systematischen Aufnahme und strukturierten Darstellung variantenerzeugender Eigenschaften und deren Kombinatorik im Rahmen der Produktgestaltung (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 99F).

Die Zeilen der Merkmals-Ausprägungs-Matrix enthalten die Merkmale der zu betrachtenden Produkt- bzw. Komponentenumfänge. Die Spalten enthalten sämtliche Ausprägungen dieser Merkmale. Da die Ausprägungen unterschiedlicher Merkmale in alle Regel nicht frei miteinander kombiniert werden können bzw. sollen, gilt es entsprechende Kombinationszwänge und -verbote zu definieren (SCHUH & JONAS 1997, S. 20). Diese werden in der Kombinationsmatrix hinterlegt, wobei die Kombination zweier Ausprägungen immer, nie oder unter bestimmten Bedingungen zulässig sein kann (siehe Abbildung 2-18).

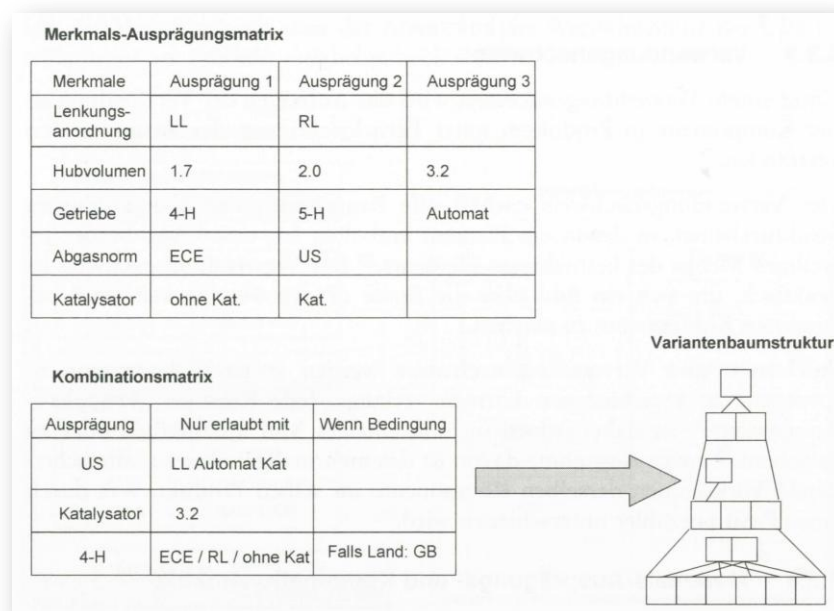


Abbildung 2-18 Merkmals-Ausprägungs- und Kombinationsmatrix (als Input für die Variantenbaumstruktur) (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 100)

Die Erstellung der Merkmals-Ausprägungs- und Kombinationsmatrix wird, wie obiger Abbildung zu entnehmen ist, als Grundlage zum systematischen Aufbau von Merkmal- und Variantenbaumstrukturen empfohlen (SCHUH & JONAS, S. 19FF).

2.7.4 Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix

Die Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix (gemeinhin kurz als K- und V-Matrix bezeichnet) wurde von BONGULIELMI ET AL. (2001) zur Repräsentation von Konfigurationswissen eingeführt. Eine vollständige K- und V-Matrix besteht, wie Abbildung 2-19 zu entnehmen

ist, aus zwei Verträglichkeitsmatrizen und einer Konfigurationsmatrix. Beide Verträglichkeitsmatrizen sind identisch aufgebaute Intra-Domain-Matrizen³⁰. Aus der ersten sind die zulässigen Kombinationen von Komponentenvarianten ersichtlich, aus der zweiten die von Merkmalsausprägungen (ein Eintrag bedeutet, dass die Kombination zweier Komponentenvarianten bzw. Merkmalsausprägungen zulässig ist). Die Kombinationsmatrix ist eine Inter-Domain-Matrix³¹ (DMM), die die beiden Verträglichkeitsmatrizen miteinander verknüpft. Ein Eintrag in der Kombinationsmatrix bedeutet, dass die Ausprägung eines Merkmals einen Einfluss auf die Variante einer Komponente hat. Merkmale und deren Ausprägungen werden dabei als Kundensicht auf ein Produkt bzw. Produktprogramm beschrieben, Komponenten und deren Varianten hingegen als technische Sicht; vgl. MAURER (2007, S. 61F). Die Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix dient somit in gewisser Hinsicht auch der Beschreibung der Schnittstelle zwischen Kunden und Unternehmen.

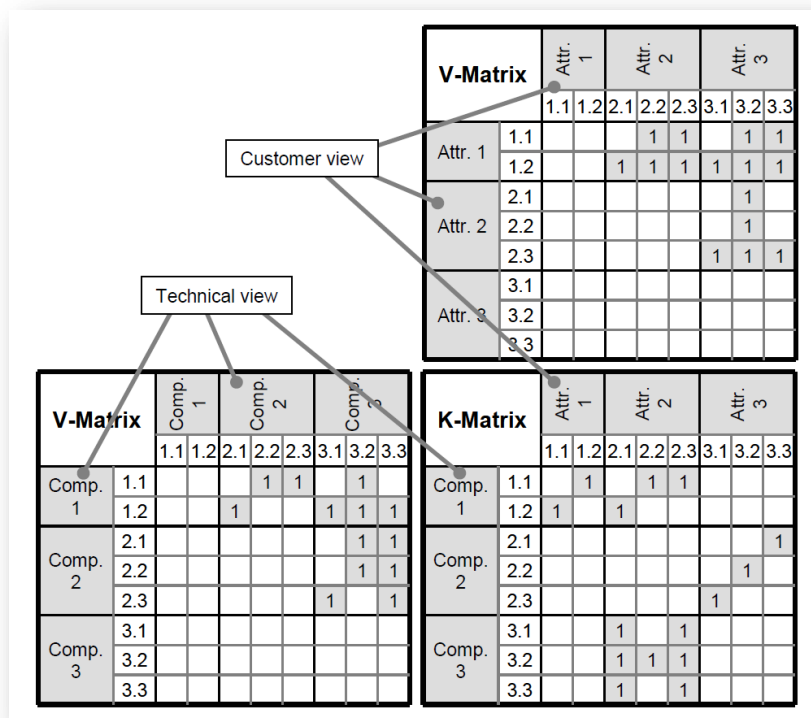


Abbildung 2-19 Aufbau der Kombinations- und Verträglichkeitsmatrix (MAURER 2007, S. 62)

³⁰ Intra-Domain-Matrizen dienen zur Abbildung von Relationen zwischen Elementen einer Art (einer Domain); vgl. Abschnitt 2.7.5.

³¹ Inter-Domain-Matrizen dienen zur Abbildung von Relationen zwischen Elementen unterschiedlicher Art (unterschiedlicher Domains); vgl. Abschnitt 2.7.5.

PULS ET AL. (2002) beschreiben die Implementierung der Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix. Praktische Anwendungen finden sich in PULS (2002) und HENSELER (2004). PULS (2002, S. 89FF) verweist zudem auf die Möglichkeit, eine der drei Matrizen zu berechnen, sofern die beiden anderen vorliegen sowie auf grundsätzliche Analysemöglichkeiten, ohne auf Details zur Implementierung dieser Möglichkeiten einzugehen³².

2.7.5 Multiple-Domain Matrix

Die von MAURER (2007) entwickelte Multiple-Domain Matrix (MDM) dient der systematischen Aufnahme und kompakten Darstellung beliebiger (komplexer) Systeme. Sie kombiniert sog. Intra-Domain-Matrizen und Inter-Domain-Matrizen, die jeweils nur einfache Systeme bzw. Ausschnitte komplexer Systeme abbilden können, und bildet die Grundlage zur Berechnung bestimmter, nicht vorliegender Informationen zu einzelnen Teilsystemen (Abbildung 2-20).

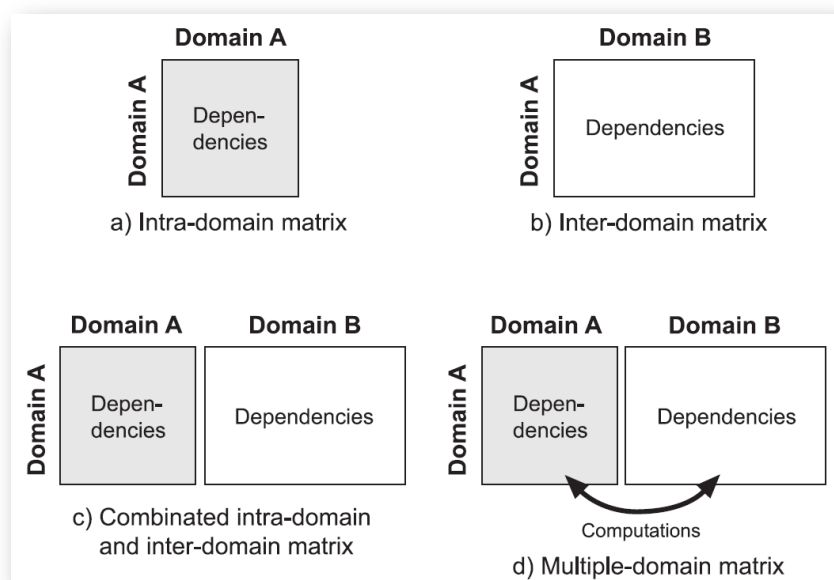


Abbildung 2-20 Klassifikation matrixbasierter Methoden (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 50 NACH MAURER & LINDEMANN 2007)

Die MDM basiert auf dem Grundgedanken, dass die meisten Systeme, die es in der Praxis zu betrachten gilt, Elemente unterschiedlicher Domänen, sprich unterschiedlicher Art enthalten. Diese Elemente können wiederum unterschiedliche Arten domäneninterner und -übergreifender Relationen haben (Abbildung 2-21). Um ein Gesamtsystem in eben dieser

³² Ausführliche Informationen zur Berechnung von fehlenden aus vorhandenen DSM bzw. DMM einer MDM sowie zur (automatisierten) Analyse von Matrizen finden sich in MAURER (2007) und LINDEMANN ET AL. (2009).

Differenziertheit abbilden zu können, reichen einzelne Intra- und Inter-Domain-Matrizen nicht aus.

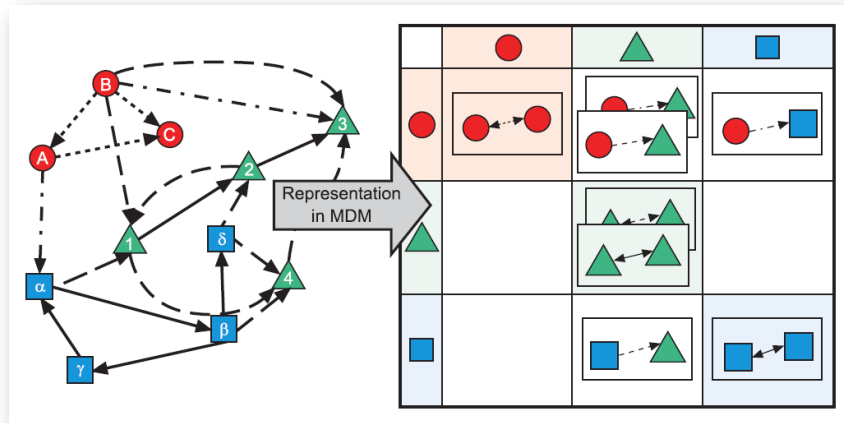


Abbildung 2-21 Repräsentation komplexer Systeme in der Multiple-Domain Matrix (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 72)

Die Anwendung matrixbasierter Methoden zur Modellierung technischer Systeme entstammt dem Systems Engineering, in dem sich in jüngerer Vergangenheit weitestgehend die Bezeichnungen Design Structure Matrix³³ (DSM) und Domain Mapping Matrix (DMM) durchgesetzt haben. Die ursprünglich von STEWARD (1981) entwickelte DSM ist eine Intra-Domain-Matrix, d. h. sie dient ausschließlich zur Abbildung von Elementen einer Domäne und Relationen einer Art; vgl. z. B. PIMMLER & EPPINGER (1994); BROWNING (2001); YASSINE ET AL. (2000); MAURER ET AL. (2007). Die DMM gehört hingegen zur Gruppe der Inter-Domain-Matrizen. In ihr werden die Elemente genau zweier Domänen und die zwischen ihnen bestehenden Relationen genau einer Art beschrieben; vgl. z. B. DANILOVIC & BÖRJESSON (2001); DANILOVIC & SIGEMYR (2003); DANILOVIC & BROWNING (2004); DANILOVIC & BROWNING (2007). In einer MDM sind alle im Kontext der jeweiligen Aufgabenstellung relevanten Domänen und Relationsarten eines Systems enthalten. Alle sich daraus ergebenden DSM und DMM werden dabei in einem Ordnungsschema angeordnet (siehe Abbildung 2-21). In der Regel sind nur die Matrizen einzelner Teilsysteme zu betrachten, wenngleich nicht alle dieser Teilsysteme immer modelliert werden können – z. B. weil die dazu benötigten Informationen gar nicht oder nur mit erheblichem Aufwand ermittelt werden können. Bestimmte Teilsysteme lassen sich jedoch (automatisiert) aus anderen berechnen; vgl. hierzu EICHINGER ET AL. (2006); MAURER (2007); LINDEMANN ET AL. (2009).

Die MDM bildet die Grundlage des in Abschnitt 2.8.6 beschriebenen strukturellen Komplexitätsmanagements, das von LINDEMANN ET AL. (2009) propagiert wird. Die MDM wurde erst-

³³ Die Design Structure Matrix wird auch allgemeiner als Dependence bzw. Dependency Structure Matrix bezeichnet.

mals und bislang ausschließlich in dem von der TESEON GMBH (2011) vertriebenen Software-Werkzeug LOOMEO implementiert, das in Abschnitt 2.9.8 vorgestellt wird.

2.8 Konzepte zur Analyse und Optimierung der Variantenvielfalt

Die zunehmende und im Grundsatz notwendige Vielfalt von Produkten und Komponenten, sowie die damit einhergehende Komplexität, haben die (gefühlte) Beherrschbarkeitsgrenze in vielen Unternehmen überschritten. Aus diesem Grund wurden in der jüngeren Vergangenheit Methoden zur Analyse und Optimierung der Variantenvielfalt entwickelt, die vielfach (auch) auf der Nutzung derselben zuvor beschriebenen Hilfsmittel basieren. Nachfolgend werden die wesentlichen Konzepte zur Beherrschung der Variantenvielfalt vorgestellt.

2.8.1 Variant Mode and Effects Analysis

Die Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) dient der frühzeitigen Variantenerkennung und -vermeidung. Sie wurde von CAESAR (1991) in Anlehnung an die Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)³⁴ entwickelt, die der frühzeitigen Fehlererkennung und -vermeidung dient. Die zugrunde liegende Methodik wurde vor allem von Schuh weiterentwickelt (SCHUH 1994; SCHUH & JONAS 1997; SCHUH & TANNER 1998; SCHUH & SCHWENK 2001). Sie wird heute von der SCHUH & CO. GMBH (2011A) als Beratungsleistung angeboten.

Die VMEA ist eine systematische Vorgehensweise, die die Produktprogrammplanung, die Produktentwicklung, die Produktion sowie den Vertrieb frühzeitig mit einbezieht (siehe Abbildung 2-22). Ziel der Optimierungen im Rahmen der VMEA ist die Beherrschung der technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen der anzubietenden Produktvielfalt (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 114).

³⁴ Die Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) wurde bereits Anfang der 60er Jahre von der National Aeronautics and Space Administration (NASA) entwickelt. Heute ist sie insbesondere in der Automobil- und Automobilzuliefererindustrie fester Bestandteil der Qualitätsvorausplanung (AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP 2008; VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE 2009).

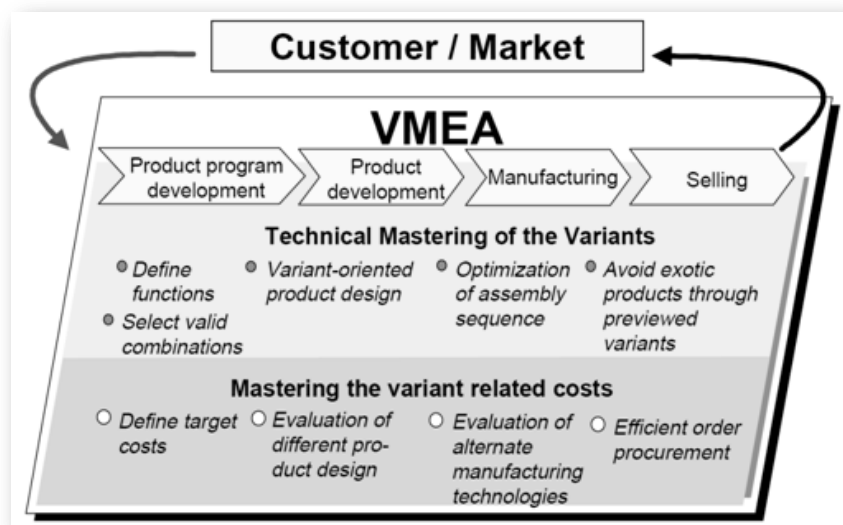


Abbildung 2-22 Ablauf der Variant Mode and Effects Analysis (VMEA) (SCHUH & TANNER 1998, S. 2)³⁵

Die Durchführung der VMEA gliedert sich in vier Phasen; vgl. CAESAR (1991, S. 29); SCHUH & JONAS (1997, S. 14FF); SCHUH & SCHWENK (2001, S. 115F):

- Marktorientierte Ermittlung und Gestaltung der Produktfunktionen: Festlegung der zu erfüllenden Funktionen unter Berücksichtigung von (zu ermittelnden) Zielkosten.
- Ableiten von Gestaltungsalternativen: Optimierung und Festlegung der Kombinationen von Funktionen und Identifikation von Variantentreibern (im Rahmen von Planspielen).
- Bewerten der alternativen Lösungen: Beurteilung der technischen Realisierbarkeit sowie der Kostenwirkungen der entwickelten Gestaltungsalternativen.
- Schlanker Vertrieb für komplexe Produkte: Optimierung des Konfigurationsvorgangs und frühzeitige Förderung der Kommunikation zwischen Vertrieb, Produktion und Entwicklung, um den Verkauf technisch sinnvoller Lösungen sicherzustellen.

Die Ergebnisse der zweiten Phase basieren maßgeblich auf der Anwendung der bereits vorgestellten Hilfsmittel des Merkmal- bzw. Variantenbaums sowie der Merkmals-Ausprägungs- und Kombinationsmatrix (SCHUH & SCHWENK S. 155FF).

³⁵ Der Ablauf der VMEA wird von Schuh in jüngerer Vergangenheit bzw. in anderem Kontext (in leicht abgewandelter Form) auch allgemeiner als „Regelkreis des Variantenmanagements“ publiziert; vgl. z. B. SCHUH (2004, S. 20).

2.8.2 Design for Variety

Design for Variety (DFV) ist das von MARTIN & ISHII (1996; 1997; 2000) propagierte Design-for-X-Konzept, das die systematische Entwicklung robuster Produktplattformen zum Ziel hat. Robust bedeutet in diesem Zusammenhang, dass zukünftige, konstruktive Anpassungen möglichst wenige Folgeanpassungen erfordern und somit einen möglichst geringen Anpassungsaufwand und letztlich möglichst geringe Kosten verursachen.

Der Ansatz basiert auf der Bewertung von Produktarchitekturen mittels zweier Kennzahlen. Die erste Kennzahl ist der sog. Generational Variety Index (GVI). Der GVI ist ein Indikator für das Ausmaß der prognostizierten, konstruktiven Anpassungen, die nötig sind, um zukünftige Anforderungen abzudecken. Bei der Ermittlung des GVI, die maßgeblich auf der Anwendung des House of Quality (HAUSER & CLAUSING 1988), einer abgewandelten Form des Quality Function Deployment (QFD) (AKAO 1992), beruht, werden ausschließlich externe Treiber berücksichtigt (vgl. Abschnitt 2.4.1). Die zweite Kennzahl ist der sog. Coupling Index (CI). Der CI gibt Auskunft über die Änderungsabhängigkeit einer Komponente. Der Coupling Index – Receiving (CI-R) beschreibt dabei die Wahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Komponente in Folge der Änderungen anderer Komponenten geändert werden muss. Der Coupling Index – Supplying beschreibt hingegen die Wahrscheinlichkeit, mit der andere Komponenten in Folge der Änderung einer bestimmten Komponente geändert werden müssen. Die CI beruhen in erster Linie auf der Anzahl der Komponenten, zu denen eine Änderungsabhängigkeit besteht. Zur Ermittlung der Änderungsabhängigkeiten und zur anschließenden Berechnung der CI werden DSM (vgl. Abschnitt 2.7.5) benutzt. Liegen alle drei Kennzahlen vor, kann der potenzielle Anpassungsaufwand abgeschätzt und die Robustheit eines Produktkonzepts bewertet werden.

KIPP & KRAUSE (2008A, S. 425) fassen unter dem Begriff Design for Variety bzw. variantengerechte Produktgestaltung sämtliche Aktivitäten der Produktentwicklung zur Reduzierung der internen Vielfalt bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der externen Vielfalt (vgl. Abschnitt 2.3) zusammen. Dabei sollte die variantengerechte Produktgestaltung von der kontinuierlichen Produktprogrammberingung flankiert werden, die die Reduzierung der externen Vielfalt auf das unbedingt notwendige Maß zum Ziel hat (Abbildung 2-23).

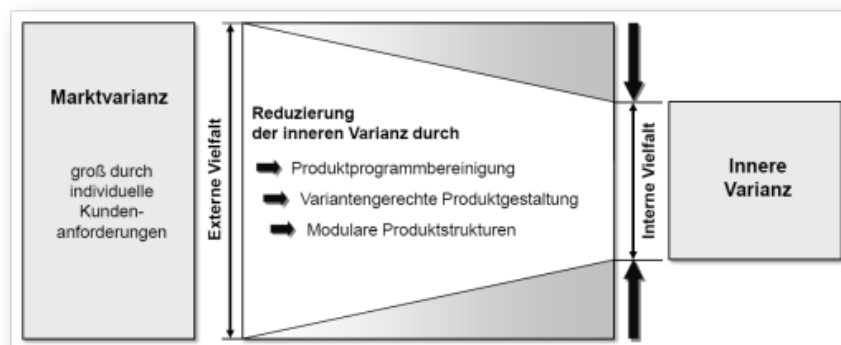


Abbildung 2-23 Intention der variantengerechten Produktgestaltung (KIPP & KRAUSE 2008C, S. 179)

KIPP & KRAUSE (2008B) verdichten etablierte Ansätze zur variantengerechten Produktgestaltung bzw. Entwicklung modularer Produktstrukturen (eine eindeutige Differenzierung ist laut Eigenaussage nicht möglich) zu einem Ansatz zur variantengerechten Produktstrukturierung. Zentrales Element dieses Ansatzes ist ein Vier-Ebenen-Modell zur Abbildung der Abhängigkeiten zwischen varianten, kundenrelevanten Merkmalen, physikalischen und technischen Größen, beeinflusster Wirkgeometrie sowie Komponenten (Abbildung 2-24).

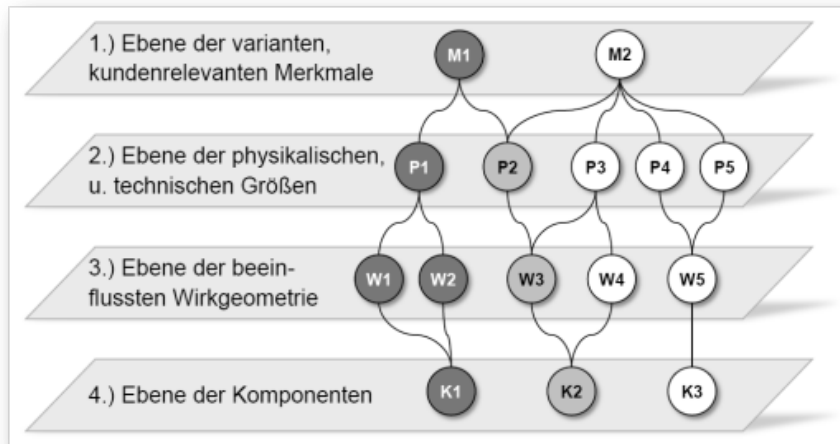


Abbildung 2-24 Vier-Ebenen-Modell zur entwicklungsbegleitenden Visualisierung des Einflusses varianter Produktmerkmale (KIPP & KRAUSE 2008C, S. 190)

Das Vier-Ebenen-Modell des Ansatzes zur variantengerechten Produktstrukturierung wird in jüngeren Veröffentlichungen auch als Variety Allocation Model (VAM) bezeichnet (BLEES ET AL. 2010, S. 163F; KIPP ET AL. 2010, S. 164).

Das von der Europäischen Kommission im Rahmen des Seventh Framework Programme (FP7) geförderte Projekt „AMISA – Architecting Manufacturing Industries and Systems for Adaptability“ widmet sich dem artverwandten Themengebiet des Design for Adaptability (LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN 2012A). Ein internationales Konsortium, bestehend aus zwei Universitäten und sechs Industriepartnern, beschäftigt sich mit der Frage, wie technische Systeme anpassungsfähig gestaltet werden können, um über den gesamten Lebenszyklus hinweg profitabel zu bleiben. Ziel des Projekts ist die Erarbeitung einer skalierbaren Methode, die für ein breites Anwendungsspektrum geeignet ist (LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN 2012B).

2.8.3 iViP

Das Leitprojekt „integrierte Virtuelle Produktentstehung – iViP“ war eine vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Gemeinschaftsinitiative von 51 Partnern aus Industrie und Forschung. Ziel des Leitprojekts war die Schaffung innovativer Soft-

ware-Werkzeuge für eine neuartige, virtuelle Produktentstehung (FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND KONSTRUKTIONSANLAGEN 2011). Die virtuelle Produktentstehung wurde dabei als ein Ansatz zur durchgehenden Digitalisierung des Produktentstehungsprozesses über Unternehmensgrenzen und -standorte hinweg verstanden. Als Grundvoraussetzung für die Erreichung dieses Ziels wurden eine einheitliche Software-Architektur und eine darauf basierende Integrationsplattform zur Einbindung der Werkzeuge aus den verschiedenen Teilprojekten entwickelt (KRAUSE ET AL. 2002, S. 11).

Das Teilprojekt 3.4 fokussierte auf die Entwicklung verschiedener Konzepte zur Software-technischen Unterstützung des Komplexitätsmanagements. Auf Grundlage praktischer Beispiele aus der Automobilindustrie wurden dabei drei Themenschwerpunkte identifiziert:

- Konfigurationsdatenhandling: Beherrschung der Komplexität bei der Erstellung und Pflege von Konfigurationsdaten variantenreicher Produkte
- Komplexitätsanalysen: Analyse von Produktdaten als Grundlage zur Komplexitätsreduzierung
- Produktbereinigung: Vereinheitlichung von Bauteilen zur Komplexitätsreduzierung.

Ergebnis des Teilprojekts waren zwei auf der iViP-Software-Architektur basierende Software-Prototypen (EHINGER ET AL. 2002, S. 111ff). Der iViP-VariantenManager dient zur Aufbereitung von Informationen bezüglich der Teileverwendung, zur Darstellung von Strukturvarianten sowie zur Unterstützung der Komplexitätskostenrechnung. Der iViP-Komplexitätsassistent dient der Beantwortung allgemeiner Fragestellungen im Kontext des Komplexitäts- bzw. Variantenmanagements. Nähere Informationen zum Aufbau und den Funktionen der beiden Software-Werkzeuge finden sich in Abschnitt 2.9.4.

2.8.4 EVAPRO

Das Verbundprojekt „Methoden und Werkzeuge zur Kostenreduktion variantenreicher Produktspektren in der Einzel- und Kleinserienfertigung (EVAPRO)“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Die Zielsetzung des Projekts bestand darin, einen Beitrag zur Verbesserung der Variantenbeherrschung zu leisten (INSTITUT FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG 2011A). Im Fokus des Projekts stand die Einzel- und Kleinserienfertigung, die in besonderem Maße nach Konzepten zur Analyse, Bewertung und Bereinigung variantenreicher Produktspektren verlangt. Während des Projekts wurden bestehende Methoden und Werkzeuge gesucht, analysiert und ggf. adaptiert sowie gänzlich neue Ansätze entwickelt. Die berücksichtigten Methoden und Werkzeuge kommen in den verschiedensten Phasen des Produktentstehungsprozesses zum Einsatz. Einen inhaltlichen Schwerpunkt bildeten dabei Ansätze zur Reduzierung varianteninduzierter Kosten.

Zentrales Ergebnis des Verbundprojekts war, neben dreier Veröffentlichungen zum Thema Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung (VDI-GESELLSCHAFT ENTWICKLUNG, KONSTRUKTION, VERTRIEB 1998; VDI-GESELLSCHAFT ENTWICKLUNG, KONSTRUKTION, VERTRIEB 2001; FRANKE ET AL. 2002), eine zentrale Methodendatenbank. Die

„Methodendatenbank für das Variantenmanagement“ enthält alle im Verlauf des Projekts gesammelten bzw. weiterentwickelten Methoden und Werkzeuge. Ein Teil der Inhalte wurde zudem in eine thematisch übergreifende Methodendatenbank³⁶ integriert und über das Internet verfügbar gemacht (INSTITUT FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG 2011A).

2.8.5 Baukasten-, Modul- und Plattformkonzepte

Dieses Kapitel widmet sich, wie die gesamte Arbeit, ausdrücklich nicht der Betrachtung von Baukasten-, Modul- und Plattformkonzepten. Aufgrund ihrer weiten Verbreitung und herausragenden Bedeutung für die industrielle Praxis (ERICSSON & ERIXON 1999, S. 2FF) sollen sie an dieser Stelle jedoch Erwähnung finden.

Baukasten-, Modul- und Plattformkonzepte dienen allesamt der Reduktion interner Vielfalt, also der Reduktion von Komponentenvarianten mittels geeigneten Produktdesigns. Sie könnten daher auch als technische oder konstruktive Ansätze bezeichnet werden. Im Vordergrund steht dabei die Wiederverwendung der (zu definierenden) Bausteine, Module bzw. Plattformen oder allgemein gesprochen von Komponentenvarianten. Die Definitionen und Abgrenzungen der unterschiedlichen Konzepte variiert durchaus. Zudem wurden sie in der Vergangenheit zum Teil als Schlagworte missbraucht (PULM 2004, S. 132). Grundsätzlich lässt sich jedoch feststellen, dass Modulkonzepte Sonderformen von Baukastenkonzepten darstellen (JESCHKE 1997, S. 28), und Plattformkonzepte wiederum Sonderformen von Modulkonzepten (PONN 2000, S. 42). Dabei sind Module nach WILDEMANN (2010, S. 150) Bausteine, die eigenständig eine Funktion erfüllen und Plattformen nach RENNER (2007, S. 72) Module, die für den Kunden meist nicht sichtbar sind.

Neben den hier erwähnten Baukasten-, Modul- und Plattformkonzepten gibt es noch weitere Konzepte, die jedoch ähnliche oder identische Ziele verfolgen und auf denselben Prinzipien beruhen. Zudem finden sich alternative Bezeichnungen für dieselben einschlägigen Konzepte. In diesem Zusammenhang sei auf FIXSON (2006) verwiesen, der einen detaillierten Vergleich von 168 Veröffentlichungen der letzten 35 Jahre zu den Themen Modularität und Kommunalität veröffentlicht hat.

2.8.6 Strukturelles Komplexitätsmanagement

Das von MAURER (2007) begründete strukturelle Komplexitätsmanagement ist ein umfassender Ansatz zur Handhabung komplexer Systeme, der auf der Multiple-Domain Matrix (siehe Abschnitt 2.7.5) basiert. Es beruht auf der Annahme, dass die Relationen zwischen den Elementen eines Systems unterschiedliche Strukturen (wie Kreisschlüsse oder Hierarchien) auf-

³⁶ siehe dazu: FRANKE ET AL. (2005); INSTITUT FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG (2011B)

weisen, die das Systemverhalten determinieren³⁷. Die Kenntnis derartiger Strukturen ist folglich notwendige Voraussetzung, um das Verhalten eines Systems verstehen und – gezielt – beeinflussen zu können.

Das strukturelle Komplexitätsmanagement entstammt der systematischen Produktentwicklung. Dort wurde es zunächst zur Modellierung von Produktstrukturen, mit dem Ziel deren Robustheit zu erhöhen, eingesetzt. Die Methoden des strukturellen Komplexitätsmanagement können und wurden jedoch auch auf andere Untersuchungsgegenstände als Produkte (z. B. Prozesse) und zur Untersuchung anderer Charakteristika als deren Robustheit (z. B. deren Durchlaufzeit) angewendet. Das strukturelle Komplexitätsmanagement stellt demnach einen generischen, also nicht anwendungsspezifischen Ansatz zur Analyse und Optimierung beliebiger Systeme dar. Das grundlegende Vorgehen im Rahmen des strukturellen Komplexitätsmanagements gliedert sich in folgende fünf Phasen (Abbildung 2-25):

- Während der *Systemdefinition* wird der notwendige Betrachtungsumfang festgelegt. Dies umfasst neben dem Umfang vor allem die Art der zu betrachtenden Elemente (Domänen) und Relationen.
- Die *Informationsakquise* dient der systematischen Aufnahme aller Elemente und Relationen, die in irgendeiner Form dokumentiert sind oder (mit vertretbarem Aufwand) ermittelt bzw. erfragt werden können.
- Die *Ableitung indirekter Abhängigkeiten* dient der Berechnung von Relationen, die nicht direkt ermittelt bzw. erfragt werden können. Voraussetzung dafür sind allerdings bestimmte Ausgangsinformationen, sprich andere Relationen, die bereits vorliegen müssen.
- Die Identifikation von Strukturen, die im Kontext der jeweiligen Fragestellung von Bedeutung sind erfolgt automatisiert, teilautomatisiert oder manuell während der *Strukturanalyse*.
- Auf Grundlage der identifizierten Strukturen werden Optimierungspotenziale abgeleitet, die im Zuge der *Produktgestaltung* umgesetzt werden.

Die Abfolge der fünf Phasen resultiert direkt aus deren Inhalt und ist daher festgelegt. Abhängig von der jeweiligen Ausgangssituation und Fragestellung ergeben sich jedoch Iterationen bzw. werden nur bestimmte Phasen durchschritten.

³⁷ Eine umfassende Zusammenstellung von Strukturen einschließlich der Beschreibung ihres grundsätzlichen Einflusses auf das Verhalten eines Systems findet sich in MAURER (2007, S. 197ff) und LINDEMANN ET AL. (2009, S. 201ff).

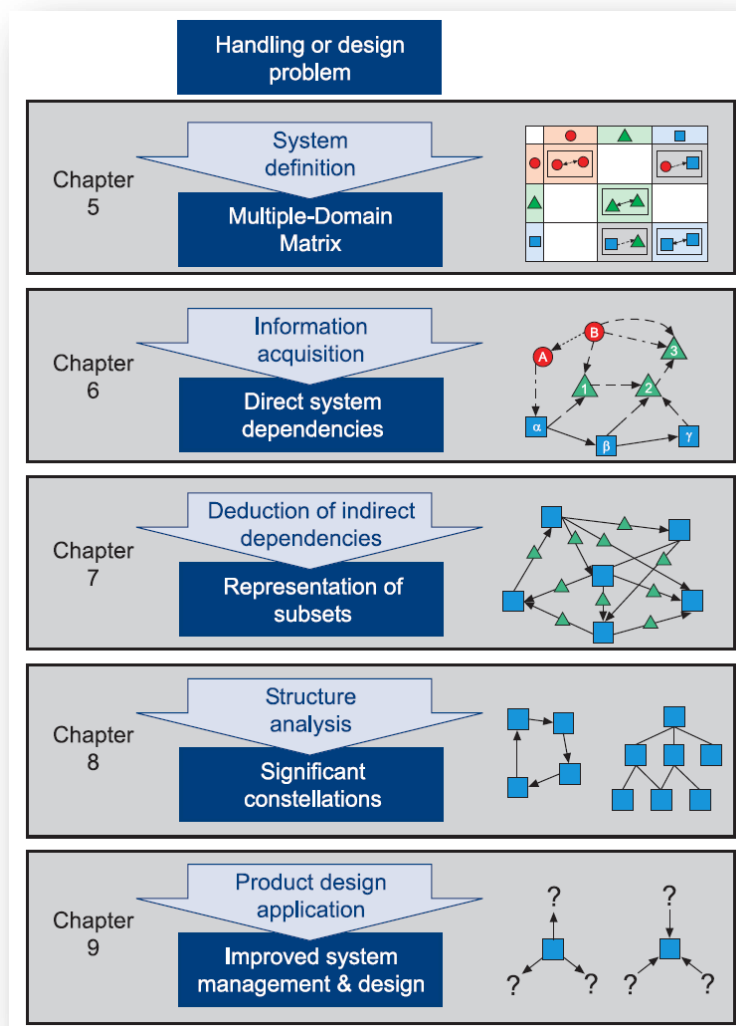


Abbildung 2-25 Ablauf des strukturellen Komplexitätsmanagements (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 64)

Der Vorteil des strukturellen Komplexitätsmanagements besteht in der Möglichkeit, Gesamtsysteme aufnehmen und untersuchen zu können. Die Identifikation von Strukturen erfolgt dabei jedoch ausschließlich domänenintern, da deren Interpretation und die darauf basierende Ableitung von Aussagen bezüglich des Systemverhaltens nur dann möglich sind. So können z. B. Kreisschlüsse innerhalb der Domäne „Prozessschritte“ eindeutig als Iterationen interpretiert werden, die die Laufzeit von Prozessen beeinflussen. Kreisschlüsse, die sich über mehrere Domänen erstrecken erlauben hingegen keine eindeutige Interpretation und damit letztlich keine Ableitung von Optimierungspotenzialen.

2.9 Software-Werkzeuge zur Unterstützung des Variantenmanagements

Software-Unterstützung kommt eine besondere Bedeutung für die praktische Umsetzung jedweden Konzepts des Variantenmanagements zu – allein aufgrund der immensen Datenumfänge, die es in der Regel zu betrachten gilt. Dies gilt nicht nur für die in Abschnitt 2.8 vorgestellten Konzepte. Die hohe Volatilität von Daten, also deren Veränderlichkeit über die Zeit, ist, neben deren Umfang, der zweite wesentliche Aspekt, der angemessene Software-Unterstützung unumgänglich macht. Sei es, um Veränderungen der Ausgangssituation über die Zeit abzubilden oder um zu einem gegebenen Zeitpunkt verschiedene Szenarien durchzuspielen. In beiden Fällen müssen Veränderungen der Ausgangsdaten effizient und effektiv, d. h. aufwandsarm und vor allem zuverlässig, gehandhabt werden.

Test- bzw. Demoversionen der auf dem Markt erhältlichen Software-Werkzeuge sind nicht immer verfügbar. Zudem sind einige Werkzeuge gar nicht verfügbar, sondern ausschließlich für den internen Gebrauch der (Beratungs-)Unternehmen oder Forschungseinrichtungen, die sie entwickeln vorgesehen. Hinzu kommt, dass sich der Funktionsumfang von Software im Laufe der Zeit ändert (was sich in neuen Versionen niederschlägt). Folglich kann der nachfolgende Überblick über die für den Fokus dieser Arbeit wesentlichen Software-Werkzeuge und deren Anbieter bzw. Entwickler den Anspruch auf einheitliche Detailtiefe sowie Aktualität nur bedingt erfüllen.

2.9.1 Complexity Manager

Der Complexity Manager ist ein Ergebnis der Forschungs- und Beratungstätigkeit von SCHUH (1989). Das Werkzeug wird von der SCHUH & CO. GMBH (2011B) eingesetzt und vertrieben. Der Complexity Manager umfasste ursprünglich drei Module, die Funktionen zur Unterstützung des Varianten-, Prozess- und Prozesskostenmanagements boten³⁸ (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 245).

Das im Zusammenhang mit der Betrachtung von Variantenspektren maßgebliche Modul F/V ermöglicht das Ausfüllen von Merkmals-Ausprägungs- und Kombinationsmatrizen (siehe Abschnitt 2.7.3) und den darauf basierenden Aufbau von Merkmalbäumen (siehe Abschnitt 2.7.1) zur Visualisierung der Variantenvielfalt. Der Informationsgehalt und damit die Aussagekraft der Merkmalbäume kann dabei durch zusätzliche Informationen, wie Verkaufszahlen von Produktvarianten, erhöht werden. Darüber hinaus ermöglicht das Modul F/V den Aufbau von Variantenbäumen (siehe Abschnitt 2.7.2) zur Darstellung der Variantenvielfalt über der Montagereihenfolge. Unterschiedliche mit dem Complexity Manager erstellte Merkmal- und Variantenbäume können als Grundlage für die Durchführung von Planspielen im Rahmen der VMEA (siehe Abschnitt 2.8.1) dienen.

³⁸ Das Modul C, das im Rahmen des Prozesskostenmanagements zum Einsatz kam, ist mittlerweile nicht mehr im Umfang des Complexity Managers enthalten und wurde bislang durch keine anderes ersetzt.

2.9.2 TRAVIS

TRAVIS dient, laut Aussage der PURVENTIS GMBH (2011), die das Werkzeug entwickelt und vertreibt, zur computergestützten Modellierung von Variantenbäumen. Diese Aussage ist kennzeichnend für den unterschiedlichen Gebrauch der Bezeichnung Variantenbaum, denn in Übereinstimmung mit den vorangegangenen Definitionen können mit TRAVIS keine Varianten-, sondern ausschließlich Merkmalbäume modelliert werden. Die in Abschnitt 2.7.1 beschriebene Grundstruktur eines Merkmalbaums kann um zusätzliche Informationen ergänzt werden. Dabei handelt es sich in erster Linie um Verkaufszahlen und Kosteninformationen, auf Grundlage derer verschiedene Analysen durchgeführt werden können.

Der grundlegende Vorteil eines Werkzeugs wie TRAVIS besteht in der effizienten Erstellung, vor allem aber in der effizienten Pflege, von Merkmalbäumen. Dazu sollte man sich vor Augen halten, dass die Modellierung von Merkmalbäumen ohne weiteres mit anderen Werkzeugen, wie etwa Grafik- oder Office-Anwendungen (und selbstverständlich auch gänzlich ohne Computerunterstützung), möglich wäre. Gerade die Pflege ist in diesen Fällen jedoch äußerst aufwendig und fehleranfällig. Die in Abschnitt 2.7.1 dargelegten grundsätzlichen Vor- und Nachteile des Merkmalbaums (im Sinne eines Hilfsmittels) bestehen natürlich trotz der Computerunterstützung fort, auch wenn sie zum Teil weniger schwer wiegen.

2.9.3 METUS

Das Software-Werkzeug METUS wird von der ID-CONSULT GMBH (2011) vertrieben und in Beratungsprojekten eingesetzt. Es dient, laut Eigenaussage, zur durchgängigen Unterstützung der sieben notwendigen Schritte bei der Konzeption und Optimierung modularer Produktarchitekturen.

Die grundlegende Funktionalität des Software-Werkzeugs besteht in der Modellierung der Funktions- und Komponentenstruktur von Produkten bzw. Produktspektren in Baumdiagrammen. Die Besonderheit besteht dabei in der Möglichkeit, beiden Strukturen miteinander zu verknüpfen und so die konstruktive Umsetzung der einzelnen Funktionen bzw. den funktionalen Beitrag der einzelnen Komponenten transparent zu machen. METUS bietet zudem die Möglichkeit, den Einfluss sog. Variantentreiber zu Visualisieren. Unter Variantentreibern werden dabei Merkmale verstanden, deren unterschiedliche Ausprägungen zu unterschiedlichen Komponentenvarianten führen. Der Einfluss der einzelnen Variantentreiber kann durch entsprechende Einfärbungen in der Komponentenstruktur sichtbar gemacht werden. Darüber hinaus können die variantentreibenden Merkmale und Ausprägungen selbst in Form eines Baumdiagramms dargestellt und mit denen der Funktions- bzw. Komponentenstruktur verknüpft werden.

2.9.4 iViP-VariantenManager und iViP-Komplexitätsassistent

Der iViP-VariantenManager und der iViP-Komplexitätsassistent sind das Ergebnis des Teilprojekts 3.4 des in Abschnitt 2.8.3 vorgestellten Leitprojekts „integrierte Virtuelle Produktentstehung – iViP“, das sich mit dem Thema Komplexitätsmanagement auseinander gesetzt hat.

Der iViP-VariantenManager unterstützt Funktionen zur Erstellung, Pflege und Analyse von produktbeschreibenden Daten (FRANKE ET AL. 2002, S. 250). Dabei handelt es sich insbesondere um die in Stücklistensystemen enthaltenen aber nicht transparenten Daten zur Konfiguration variantenreicher Serienprodukte. Der Software-Prototyp besteht aus drei Modulen. Der „Teilegültigkeits-Editor“ bildet das zentrale Modul und dient der Pflege von Informationen zur Teileverwendung und damit zur Kombinatorik der vorhandenen Komponenten. Diese Informationen können mit dem Modul „Strukturvariantenbaum“ grafisch dargestellt werden. Veränderungen in der Kombinatorik können schließlich mit dem Modul „Komplexitätskostenrechnung“ monetär bewertet werden.

Der iViP-Komplexitätsassistent ist ein auf der Thesaurus-Technologie basierender Software-Prototyp eines Wissensmanagement-Tools. Er soll laut Aussage des Projekt-Teams die Funktionalität zur Beschreibung, Hinterlegung und Navigation des Begriffsraums „Komplexitätsmanagement“ bieten (FRANKE ET AL. 2002, S. 251). Dazu werden Funktionen zur Ablage, Verwaltung und Suche von Definitionen, Richtlinien und Literaturquellen sowie Experten, Verantwortlichen und Software-Werkzeugen bereitgestellt.

2.9.5 Vamos

Vamos ist das von der Volkswagen AG im Rahmen einer konzernweiten Variantenmanagement-Initiative entwickelte „Variantenmanagement und -optimierungssystem“, das die Handhabung der benötigten Komponentenvielfalt unterstützen soll (ROSE 2005A). Die Ursprünge des Software-Tools gehen ebenfalls auf die Ergebnisse des Teilprojekts „Komplexitätsmanagement“ im Rahmen des Leitprojekts „integrierte Virtuelle Produktentstehung – iViP“ (vgl. Abschnitt 2.8.3) zurück (ZAGEL 2006, S. 49).

Da Vamos ausschließlich für den konzerninternen Gebrauch zur Verfügung steht, lassen sich kaum Aussagen zum Funktionsumfang und dessen Weiterentwicklung sowie zur tatsächlichen Verwendung und heutigen Verbreitung machen. Bekannt ist, dass sich mit Vamos die Variantenvielfalt einzelner Komponenten, auch modellübergreifend, in Form von Merkmalbäumen grafisch darstellen lässt (ROSE 2005B, S. 17). Basierend auf der Komponentenvielfalt aktueller Modelle können Szenarios für die gewünschte bzw. benötigte Komponentenvielfalt neuer Modelle erstellt werden. Die Visualisierung derartiger Szenarios mittels der von Vamos zur Verfügung gestellten Merkmalbäume bildet dabei die wesentliche Diskussions- und Entscheidungsgrundlage (ALDERS 2006, S. 231ff).

2.9.6 Konfiguratoren

Konfiguratoren spielen im Rahmen dieser Arbeit eine untergeordnete Rolle. Aufgrund ihrer weiten Verbreitung und öffentlichen Wahrnehmung seien sie an dieser Stelle jedoch aufgeführt.

Konfiguratoren³⁹ sind die wohl bekannteste Art von Software-Werkzeugen im Kontext des Variantenmanagements, denn sie dienen in erster Linie zur *kundenseitigen* Handhabung von Variantenvielfalt. Insbesondere komplexe Konsumgüter kommen heute nicht mehr ohne (in aller Regel internetbasierte) Konfiguratoren aus. Bei dieser fast schon als „klassisch“ zu bezeichnenden Art der Anwendung werden Konfiguratoren dazu genutzt, die Eigenschaften von Produkten unter Einhaltung vorgegebener Zwänge und -verbote zusammenzustellen. Die Anwendung von Konfiguratoren ist jedoch mitnichten auf Kunden, Konsumgüter und Produkteigenschaften beschränkt. So werden sie zunehmend unternehmensintern eingesetzt. Immerhin hat die Komplexität der Variantenkonfiguration in vielen Branchen schon lange ein Ausmaß angenommen, das auch von Experten nur noch schwer beherrschbar ist. Gerade im Investitionsgüterbereich müssen zudem sehr kundenindividuelle Produkte und damit spezifische Konfigurationen gehandhabt werden. Das bezieht sich nicht nur auf die vielfältigen Eigenschaften, sondern auch auf die Komponenten der Produkte, sodass es Konfiguratoren gibt, die Schnittstellen zu CAD-Systemen haben und (im Rahmen der Parametrik) sogar konstruktive Anpassungen erlauben.

Obige Ausführungen zeigen, dass das Anwendungsspektrum von Konfiguratoren bereits bei oberflächlicher Betrachtung groß ist. Hinzu kommen unterschiedliche Formen der Repräsentation von Konfigurationsregeln und unterschiedliche Ansätze bei der Umsetzung in ein Software-Werkzeug; vgl. REICHWALD ET AL. (2006, S. 30FF). So verwundert es nicht, dass es mittlerweile eine Vielzahl von mehr oder weniger spezialisierten Anbietern und Produkten gibt. Eine Klassifikation von Konfigurationssystemen nach Technologie und Funktionsweise findet sich z. B. in ROGOLL & PILLER (2005, S. 65FF). Für einen umfassenden Überblick über derzeit am Markt erhältliche Konfiguratoren und einen detaillierten Vergleich ihrer Funktionalitäten sei an dieser Stelle auf BRINKOP (2009) verwiesen.

2.9.7 EmcienMix und EmcienPattern

EmcienMix und EmcienPattern sind zwei von der EMCEN, INC. (2011) vertriebene Software-Werkzeuge zur Analyse von Verkaufsdaten mit dem Ziel der Optimierung von Produktprogrammen. Beide fokussieren auf die Analyse der Nachfrage von Produkten, können jedoch auch zur Analyse der Nachfrage von Produkteigenschaften genutzt werden. Im Gegensatz zu anderen Software-Werkzeugen bieten EmcienMix und EmcienPattern umfangreiche Funktionalitäten zur Betrachtung der *Kombinationen* von Produkten bzw. deren Eigenschaften, was sie im Kontext der vorliegenden Arbeit interessant erscheinen lässt.

Mit EmcienMix kann nicht nur die Nachfrage einzelner Eigenschaften, sondern auch die *vorgegebener* Kombinationen von Eigenschaften ermittelt werden. Diese Funktionalität ist enorm wichtig, um verwertbare Aussagen zu generieren, da eine bestimmte Eigenschaft in der Realität immer in Kombination mit anderen Eigenschaften verkauft wird und die Nachfrage der Eigenschaften-Kombinationen extrem unterschiedlich sein kann. Eine wesentliche Einschränkung besteht allerdings darin, dass ausschließlich vorgegebene Kombinationen betrachtet

³⁹ Gebräuchliche Synonyme sind u. a. Produktkonfiguratoren, Variantenkonfiguratoren und Konfigurationssysteme.

werden können. Hält man sich vor Augen, dass sich die Anzahl der möglichen Kombinationen (ungeachtet bestehender Kombinationszwänge und -verbote) aus dem Produkt der Anzahlen der Ausprägungen aller Merkmale ergibt, so wird schnell klar, dass die Betrachtung vorgegebener Kombinationen nur einen Bruchteil abdecken kann. Mit EmcienPattern ist es daher möglich Eigenschaften-Kombinationen zu identifizieren, die bestimmten Kriterien genügen (z. B. häufig miteinander) verkauft wurden.

Auch wenn die Betrachtung von Produkteigenschaften grundsätzlich möglich ist, sind beide Software-Werkzeuge (insbesondere EmcienPattern) auf die Betrachtung von Produkten und spezielle Anwendungen (wie die Analyse von „Einkaufskörben“ in Internet-Shops) ausgelegt. Dementsprechend spezifisch gestalten sich die Funktionen zum Import und zur Analyse von Verkaufszahlen, zur Darstellung der Analyseergebnisse etc. Einige grundlegende Ansätze können jedoch ein wertvoller Input für das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Software-Werkzeug sein.

2.9.8 LOOME0

LOOME0 ist ein Software-Werkzeug, das heute von der TESEON GMBH (2011) weiterentwickelt, vertrieben und in Beratungsprojekten verschiedener Art eingesetzt wird. Der erste Prototyp des Werkzeugs entstand unter dem Namen MOFLEPS („Modeling flexible product structures“) im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs SFB 582 „Marktnahe Produktion individualisierter Produkte“ am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München (LINDEMANN & MAURER 2006, S. 50). LOOME0 unterstützt alle fünf in Abschnitt 2.8.6 beschriebenen Phasen des strukturellen Komplexitätsmanagements, d. h. es bietet Funktionen zur Systemdefinition, zum Import und zur Aufnahme von Systemelementen und bekannten Relationen, zur Berechnung unbekannter Relationen sowie zur Identifikation von Strukturen. Der Aufbau und die Funktionalität des Software-Werkzeugs basieren auf der Multiple-Domain Matrix (vgl. Abschnitt 2.7.5). Ein Schwerpunkt der Funktionalität betrifft die Visualisierung der zu betrachtenden Systeme. Sowohl das Gesamtsystem als auch beliebige Teilsysteme können zu jeder Zeit in Form von Matrizen (DSM bzw. DMM) und stärkebasierten Graphen dargestellt werden.

Der wesentliche Vorteil von LOOME0 besteht in der Tatsache, dass es genauso generisch ist wie der zugrunde liegende Multiple-Domain-Ansatz und das darauf basierende strukturelle Komplexitätsmanagement selbst. Das Werkzeug ist daher für die Unterstützung verschiedenster Anwendungen geeignet. Außerdem bieten die darin umgesetzten Repräsentationsformen zusätzliche Vorteile. Matrizen erlauben neben der äußerst systematischen Aufnahme die kompakte Darstellung auch umfangreicher Systeme. Graphen ermöglichen zudem oft einen intuitiven Zugang zu den grundsätzlichen Strukturen und damit zum grundsätzlichen Verhalten von Systemen. Aus diesen Gründen scheint LOOME0 generell für die Analyse und Optimierung von Variantenspektren geeignet.

3. Gestaltung von Produktvariantenspektren

Im ersten der vier folgenden Abschnitte wird die matrixbasierte Notation zur Abbildung von Variantenspektren dargelegt. Wesentliche Grundlage bildet dabei die Auffassung von Produktvarianten als spezifische Eigenschaftskombinationen einerseits und spezifische Komponentenkombinationen andererseits. Der zweite Abschnitt widmet sich der gezielten Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen zur Anpassung des Angebots an die Kundennachfrage bzw. zur Steuerung der Kundennachfrage. Im Vordergrund steht dabei die Beschreibung des Vorgehens zur Aufbereitung und Analyse der Kombinationshäufigkeiten umfangreicher Eigenschaften- und Komponentenspektren. Der dritte Abschnitt behandelt die Integration von Produkt- und Komponentenvarianten zur Reduzierung der internen Vielfalt. Kern des beschriebenen Vorgehens bildet die Kosten-Nutzen-Bewertung und die darauf beruhende Priorisierung der Variantenintegration. Im letzten Abschnitt wird die Konzeption des Software-Werkzeugs vorgestellt, das die praktische Anwendung der Vorgehen auf realistische Betrachtungsumfänge ermöglicht.

3.1 Matrixbasierte Notation zur Abbildung von Variantenspektren

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der matrixbasierten Notation zur Abbildung umfangreicher Variantenspektren Schritt für Schritt erläutert. Dabei beziehen sich die Ausführungen mitunter nicht auf tatsächlich in der Praxis durchzuführende Schritte. Sie sind jedoch notwendig, um ein tiefgreifendes Verständnis für die im nächsten Abschnitt dargestellte Methodik zu entwickeln.

Die Abbildung von Variantenspektren erfolgt im Rahmen des hier verfolgten Ansatzes grundsätzlich mittels der in Abschnitt 2.7.5 vorgestellten Design Structure Matrices (DSM) und Domain Mapping Matrices (DMM), die zu einer Multiple-Domain Matrix (MDM) zusammengeführt werden.

3.1.1 Unterscheidung von Eigenschaften- und Komponentenkombinationen

Wesentliche Grundlage aller nachfolgenden Betrachtungen ist die strikte Trennung zweier unterschiedlicher Auffassungen von Produktvarianten. Wie in Abbildung 3-1 dargestellt, können Produktvarianten grundsätzlich als Kombinationen von Eigenschaften oder aber als Kombinationen von Komponenten aufgefasst werden.

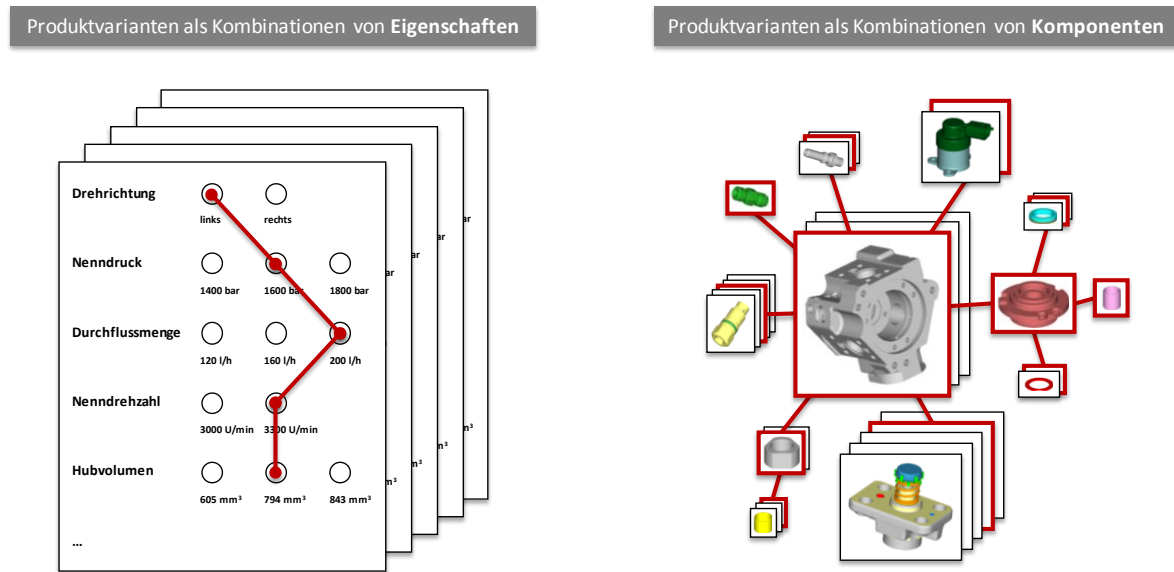


Abbildung 3-1 Produktvarianten als Kombinationen von Eigenschaften und Komponenten

Selbstverständlich stellt jede Produktvariante *zugleich* eine Kombination von Eigenschaften und von Komponenten dar. Der systematische Umgang mit Produktvarianten erfordert es jedoch, die beiden Auffassungen nicht zu vermischen und sich darüber hinaus auf diejenige zu konzentrieren, die im jeweiligen Problemkontext von Interesse ist (das können natürlich auch beide Auffassungen sein).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Unterscheidung von Eigenschaften- und Komponentensicht nicht der Unterscheidung von externer und interner Variantenvielfalt entspricht, die bei genauerer Betrachtung, wie bereits in Abschnitt 2.3 dargelegt, ohnehin schwer fällt. Dabei lässt sich durchaus feststellen, dass die Kunden vieler Unternehmen, zumindest tendenziell, die Auffassung von Produktvarianten als Kombinationen von Eigenschaften (um nicht zu sagen als Kombinationen von Anforderungen) teilen und dass gerade in den Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen vieler Unternehmen nach wie vor sehr stark „in Komponenten“ gedacht wird. Trotzdem ist die hier geforderte Unterscheidung von Eigenschaftensicht und Komponentensicht auch nicht mit der beim Aufbau einer Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix (KVM) üblichen Unterscheidung von Kundensicht und technischer Sicht (BONGULIELMI ET AL. 2001; PULS ET AL. 2001) zu verwechseln, in denen sowohl Eigenschaften als auch Komponenten betrachtet werden. Die Unterscheidung von Eigenschaftensicht und Komponentensicht ist ebenso wenig mit der in Abschnitt 3.2.3 empfohlenen Unterscheidung von Kunden- und Techniksicht zu verwechseln, die zur Unterteilung der Eigenschaftensicht dient, um die systematische Aufnahme relevanter Eigenschaften zu unterstützen.

Jede Produktvariante ist also durch eine *spezifische* Kombination von Eigenschaften und eine *spezifische* Kombination von Komponenten charakterisiert. Dabei entspricht jede Eigenschaftskombination genau einer Komponentenkombination (Abbildung 3-2), d. h. es gibt keine zwei Produktvarianten, die dieselben Eigenschaften haben, aber unterschiedliche Kompo-

ten enthalten und umgekehrt. Einen Sonderfall in dieser Hinsicht stellen Produktvarianten dar, deren Eigenschaften z. T. von Software-Umfängen determiniert werden. Um derartige Produktvarianten dem hier vorgestellten Ansatz zugänglich zu machen, müssen die entsprechenden Eigenschaften entweder unberücksichtigt bleiben oder die zugrunde liegenden Software-Umfänge als virtuelle Komponenten betrachtet werden (vgl. die Ausführungen in Abschnitt 2.1.4).

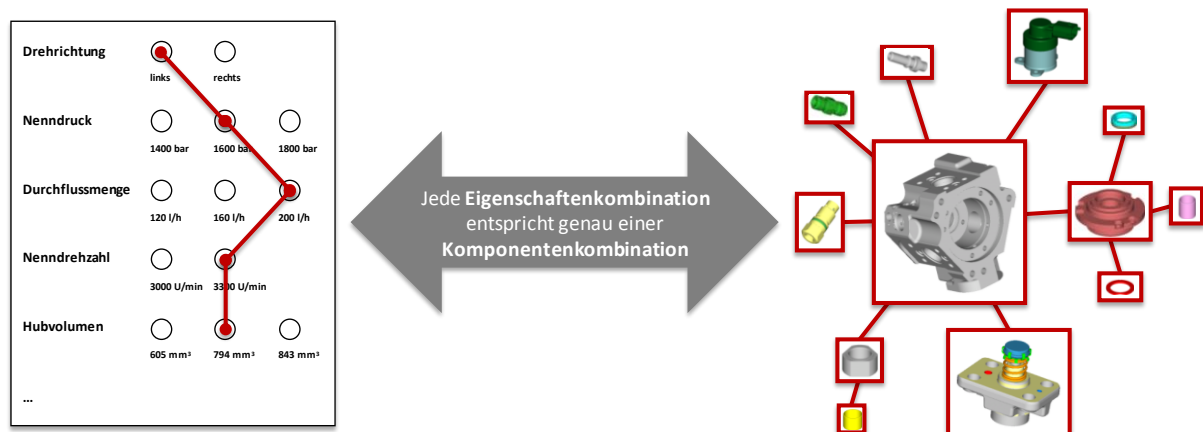


Abbildung 3-2 Zusammenhang zwischen Eigenschaften- und Komponentenkombinationen

Der grundsätzliche Zusammenhang zwischen Eigenschaften- und Komponentenkombinationen mag zunächst einmal trivial erscheinen. Die Abbildung der konkreten Zusammenhänge ist jedoch, gerade im Fall komplexer Produkte und umfangreicher Produktspektren, eine herausfordernde Aufgabe, die nicht Teil des Betrachtungsumfangs dieser Arbeit ist.

Aufmerksamkeit verdient auch die Tatsache, dass es falsch, zumindest aber unpräzise, ist von *den* Eigenschaften einer Produktvariante zu sprechen, denn theoretisch ist jede Produktvariante durch die Ausprägungen unendlich vieler Merkmale gekennzeichnet (PULS 2005, S. 35). Praktisch ist die Anzahl der Eigenschaften, die eine Produktvariante *vollständig* beschreiben natürlich begrenzt, wenngleich sie in der Regel sehr hoch ist. Immerhin stellen Eigenschaften abstrakte Betrachtungsgegenstände dar und sind somit letztendlich Definitionssache. Die Berücksichtigung aller Eigenschaften einer Produktvariante ist daher weder möglich noch in irgendeiner Weise sinnvoll (GÖKER 1996, S. 84). Vielmehr gilt es diejenigen Eigenschaften auszuwählen, die eine Produktvariante *eindeutig* beschreiben. So können grundsätzlich all jene Merkmale außer Acht gelassen werden, hinsichtlich derer sich die zu betrachtenden Produktvarianten nicht unterscheiden. Darüber hinaus können Merkmale, die im Kontext der vorliegenden Problemstellung ohne Bedeutung sind vernachlässigt werden. So klammern z. B. viele Ansätze, die ausschließlich auf die Beantwortung konstruktiver Fragestellungen abzielen, rein ästhetische Merkmale aus. GEMBRY (1998) spricht in diesem Zusammenhang von einer problemspezifischen Auswahl von Merkmalen.

Die Komponenten einer Produktvariante sind, im Gegensatz zu deren Eigenschaften, eindeutig definiert – das gilt zumindest auf Ebene der Bauteile. Bei der Aggregation von Bauteilen

zu Bugruppen, vor allem bei der gedanklichen, besteht jedoch ein gewisser Definitionsspielraum. Außerdem ist auch im Falle der Komponenten die Konzentration auf eine problemspezifische Auswahl angeraten – sei es nur um den Betrachtungsumfang, der in der Praxis ohnehin meist groß genug ist, zu minimieren. Trotz dieser Einschränkungen ist und bleibt die Beschreibung von Produktvarianten als Kombinationen von Komponenten aber die konkretere und stärker vorgegebene.

3.1.2 Abbildung von Eigenschaftskombinationen in der Eigenschaftens-DSM

Die Abbildung von Eigenschaftskombinationen erfolgt in einer Design Structure Matrix (DSM), die im Folgenden als Eigenschaftens-DSM bezeichnet wird. DSM dienen, generell gesprochen, zur Verknüpfung von Elementen derselben Domain⁴⁰, d. h. von Elementen desselben Typs, was hier der Fall ist. Die Verknüpfung von Elementen desselben Typs wird als Intra-Domain Mapping, DSM entsprechend als Intra-Domain Matrices bezeichnet (vgl. Abschnitt 2.7.5). Jede Eigenschaft entspricht einer Zeile und einer Spalte der DSM, wobei die Zeilen dieselbe Reihenfolge haben wie die Spalten. Der daraus resultierende symmetrische Aufbau ist charakteristisch für alle DSM. Die Zeilen- und Spaltenköpfe enthalten die Bezeichnungen der Eigenschaften, oder genauer gesagt, die Bezeichnungen der Merkmale und ihrer Ausprägungen (vgl. BRAUN & DEUBZER 2007; DEUBZER ET AL. 2008). Dabei sind die Ausprägungen nach Merkmalen gruppiert. Aus diesem Grund weisen die Zeilen- und Spaltenköpfe der Eigenschaftens-DSM einen hierarchischen Aufbau auf (siehe Abbildung 3-3).

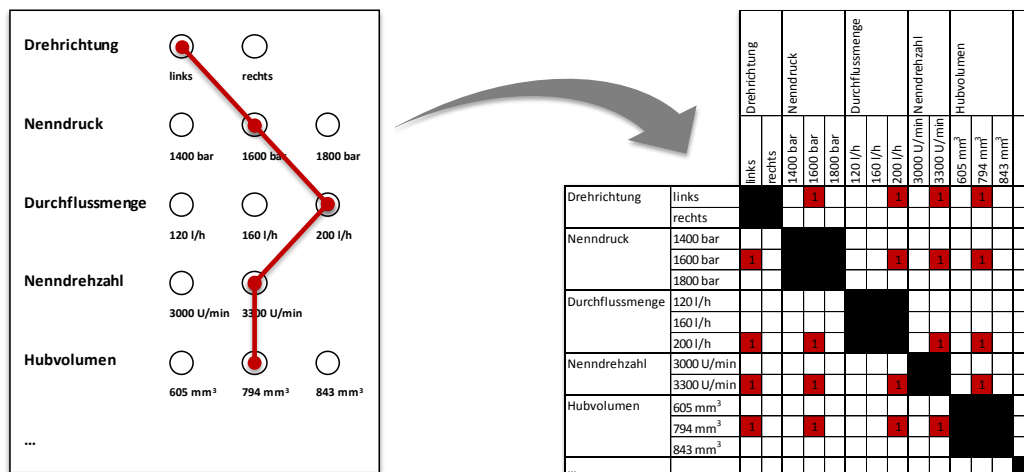


Abbildung 3-3 Einzelne Eigenschaftskombination in Matrixnotation (einzelne Eigenschaftens-DSM)

Die dargestellte Eigenschaftens-DSM enthält die spezifische Eigenschaftskombination einer Produktvariante. Die Gesamtkombination ist dabei in alle darin enthaltenen Zweierkombina-

⁴⁰ vgl. MAURER (2007, S. 71ff) für eine detaillierte Definition des Begriffs Domain und dessen Verwendung

tionen aufgeteilt. Jede der rot eingefärbten Zellen enthält den Eintrag „1“ und repräsentiert genau eine dieser Zweierkombinationen, nämlich die der im Zeilenkopf eingetragenen Eigenschaft und der im Spaltenkopf eingetragenen Eigenschaft. Die Aussage, die hinter einem Zelleintrag in der Eigenschaften-DSM steckt ist demnach: „Es gibt *mindestens* eine Produktvariante, in der Eigenschaft A und Eigenschaft B miteinander kombiniert wurden bzw. werden können⁴¹.“ Um diese Aussage zu unterstreichen, enthalten die entsprechenden Zellen den Eintrag „1“, nicht etwa das ebenfalls übliche „X“ bzw. andere Ziffern, Buchstaben oder Symbole.

Um eine einzelne Produktvariante vollständig zu beschreiben, wäre es vollkommen ausreichend, die Merkmale und Ausprägungen eben dieser Variante in die zugehörige Eigenschaften-DSM zu übernehmen. Alle Zellen der Eigenschaften-DSM enthielten in diesem Fall den Eintrag „1“, da alle Eigenschaften einer Produktvariante miteinander kombiniert werden. Tatsächlich aber enthält jede Eigenschaften-DSM sämtliche Merkmale und Ausprägungen des gesamten zu betrachtenden Produktvariantenspektrums. Der Grund dafür liegt in der Notwendigkeit, die Eigenschaften-DSM der einzelnen Produktvarianten zu überlagern (siehe Abschnitt 3.1.4). Außerdem erlaubt die durchgängige Verwendung dieses einheitlichen Matrix-Layouts zu jeder Zeit die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Matrizen und der durch sie repräsentierten Produktvarianten.

Zellen, die auf der Diagonale der Eigenschaften-DSM liegen sind, wie die jeder DSM, geschwärzt. Sie dürfen keine Einträge enthalten, da diese reflexiven Beziehungen entsprechen, die jedoch nicht vorgesehen sind. Übertragen auf den hier vorliegenden Anwendungsfall bedeutet das, dass eine Produktvariante nicht über unterschiedliche Ausprägungen desselben Merkmals verfügen kann. Der Ausschluss findet also auf Ebene der Merkmale statt, sodass immer ganze Gruppen unzulässiger Ausprägungskombinationen geschwärzt sind.

Da jede Eigenschaft sowohl durch eine Zeile als auch durch eine Spalte der Eigenschaften-DSM repräsentiert wird, kann die Kombination zweier Eigenschaften A und B durch zwei verschiedene Zelleinträge repräsentiert werden. Zum einen durch einen Eintrag in der Zelle, die Zeile A mit Spalte B verbindet, zum anderen durch einen Eintrag in der Zelle, die Zeile B mit Spalte A verbindet. Die Information beider Zelleinträge ist identisch, denn die oben gemachte Aussage („Es gibt *mindestens* eine Produktvariante, in der Eigenschaft A und Eigenschaft B miteinander kombiniert wurden bzw. werden können.“) weist keinerlei „Richtung“ auf. Wollte man lediglich die Eigenschaftenkombinationen der einzelnen Produktvarianten erfassen, könnte also wahlweise auf die Zellen oberhalb oder unterhalb der Matrixdiagonalen verzichtet werden. Im Folgenden sollen die Eigenschaften-DSM der einzelnen Produktvarianten jedoch zu einer gemeinsamen Eigenschaften-DSM aggregiert und mit zusätzlichen Informationen kombiniert werden, die zu einer Richtungsabhängigkeit führen. Daher werden von Anfang an vollständig ausgefüllte Matrizen verwendet. (Tatsächlich werden die Einzelmatrizen überhaupt nicht verwendet. Sie dienen lediglich der unbedingt notwendigen Verdeutlichung der Logik, die hinter der Gesamtmatrix steckt.)

⁴¹ Die tatsächliche Aussage hängt davon ab, ob es sich um rück- oder vorausschauende Betrachtungen handelt. Im Falle eines bestehenden Variantenspektrums wurden die Eigenschaften miteinander kombiniert (Retrospektive), im Falle eines geplanten Variantenspektrums können die Eigenschaften miteinander kombiniert werden (Perspektive).

Die Anzahl der Zweierkombinationen steigt mit der Anzahl der Eigenschaften, die insgesamt miteinander kombiniert sind. Ist n die Anzahl der Eigenschaften, die in einer bestimmten Produktvariante miteinander kombiniert sind, so ergibt sich die Anzahl der Zweierkombinationen zu $\frac{n!}{2!}$. Aufgrund der oben begründeten redundanten Informationen in den einzelnen Eigenschaften-DSM ergeben sich folglich $2 \frac{n!}{2!}$ Zelleinträge.

Da es auch optionale Eigenschaften gibt, verfügen selbst Varianten desselben Produkts nicht zwangsläufig über dieselbe Anzahl von Eigenschaften. Es obliegt wiederum dem Betrachter, wie derartige Eigenschaften in der DSM modelliert werden. Die erste Möglichkeit besteht darin, die Ausprägungen optionaler Merkmale in den Zeilen- und Spaltenköpfen aufzuführen und das Nichtvorhandensein in einer Produktvariante durch das Weglassen eines Eintrags abzubilden. Die Folge dieses Ansatzes ist, dass nicht alle Eigenschaften-DSM dieselbe Anzahl von Einträgen haben. Die Anzahl der Einträge kann aber dazu genutzt werden, die Vollständigkeit der Informationen zu überprüfen. Dies kann insbesondere nach der Überlagerung der einzelnen Eigenschaften-DSM von Interesse sein. Um derartige Überprüfungen zu ermöglichen, muss die zweite Möglichkeit zur Modellierung optionaler Eigenschaften genutzt werden. Dabei wird das Nichtvorhandensein eines Merkmals als separate Ausprägung aufgenommen. In der Folge verfügt jede Produktvariante über eine Ausprägung jedes Merkmals, d. h. die Anzahl der Einträge ist in allen Eigenschaften-DSM des Betrachtungsumfangs identisch.

3.1.3 Abbildung von Komponentenkombinationen in der Komponenten-DSM

Die Abbildung von Komponentenkombinationen erfolgt ebenfalls in DSM. Diese im Folgenden als Komponenten-DSM bezeichneten DSM sind analog den zuvor beschriebenen Eigenschaften-DSM aufgebaut (siehe Abbildung 3-4).

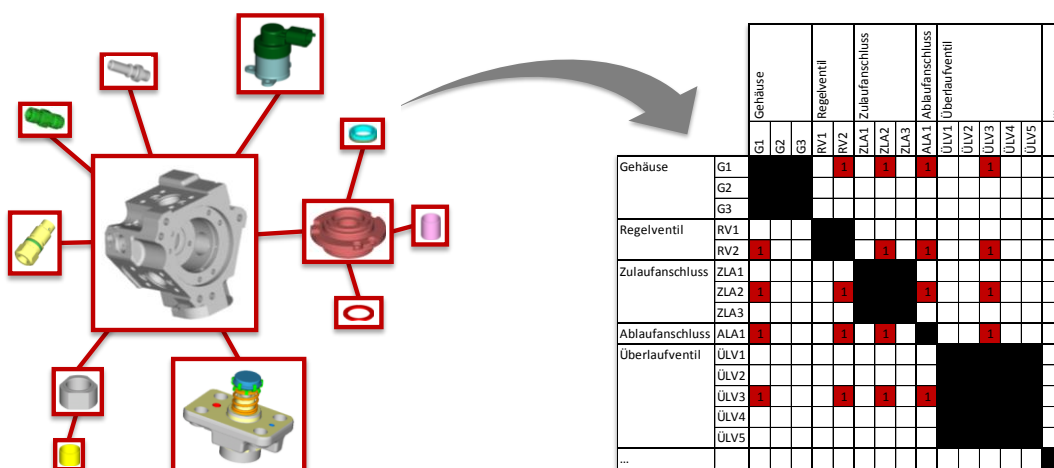


Abbildung 3-4 Einzelne Komponentenkombination in Matrixnotation (einzelne Komponenten-DSM)

Die Zeilen bzw. Spalten der Komponenten-DSM repräsentieren die Komponenten der unterschiedlichen Produktvarianten. Komponenten werden in der Regel durch eindeutige Nummern beschrieben (sog. Ident-, Teile-, Artikelnummern etc.), die in die Zeilen- bzw. Spaltenköpfe übernommen werden können. Komponentenvarianten können zu Gruppen zusammengefasst werden, die eindeutig zu bezeichnen sind. Die Zeilen- bzw. Spaltenköpfe weisen dann, ebenso wie die der Eigenschaften-DSM, einen hierarchischen Aufbau auf.

Die Logik der Zelleinträge folgt ebenfalls der der Eigenschaften-DSM, d. h. die in einer Produktvariante enthaltene Gesamtkombination von Komponenten wird in die $2^{n!}$ entsprechenden Zweierkombinationen bzw. $2^{n!}$ Zelleinträge zerlegt. Der Eintrag „1“ bedeutet folglich: „Es gibt *mindestens* eine Produktvariante, in der Komponente A und Komponente B miteinander kombiniert wurden bzw. werden können.“ Da immer nur eine Variante einer Komponente verbaut werden kann, dürfen die entsprechenden Gruppen von Diagonalelementen auch im Fall der Komponenten-DSM keine Einträge enthalten und sind daher geschwärzt.

Die Modellierung von Komponentenkombinationen in DSM weist, neben all den beschriebenen Gemeinsamkeiten, einen charakteristischen Unterschied zu der von Eigenschaftskombinationen auf: Eine Produktvariante kann eine bestimmte Eigenschaft, per Definition, nur einmal „enthalten“ – sie kann die Eigenschaft entweder aufweisen oder nicht. Allerdings kann eine Produktvariante eine bestimmte Komponente sehr wohl mehrfach enthalten (sog. Gleichteile). Ist dies der Fall, muss die Komponente mehrmals in der Komponenten-DSM aufgeführt und eindeutig bezeichnet werden. Erfüllen Gleichteile jedoch dieselbe Funktion, können sie in aller Regel zusammengefasst werden; ein Beispiel wären die Räder eines Kraftfahrzeugs. Zudem sind Gleichteile typischerweise Kleinteile, wie genormte Verbindungselemente (Schrauben, Muttern, Stifte etc.), die für die meisten Betrachtungen ohnehin unerheblich sind und daher überhaupt nicht modelliert werden müssen.

3.1.4 Abbildung von Gesamtspektren in der aggregierten Eigenschaften- und Komponenten-DSM

Obigen Ausführungen folgend kann jede Produktvariante durch eine spezifische Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM beschrieben werden. Ein Spektrum, das n Produktvarianten umfasst kann folglich durch n Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM vollständig beschrieben werden (Abbildung 3-5).

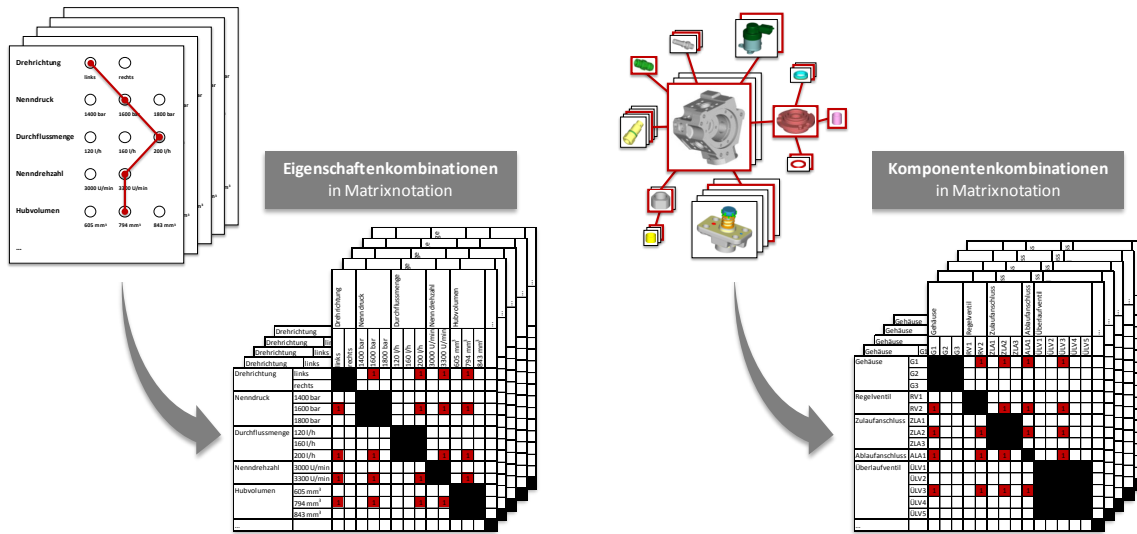


Abbildung 3-5 Eigenschafts- und Komponentenkombinationen in Matrixnotation (Eigenschafts- und Komponenten-DSM)

Um die kompakte Darstellung ganzer Variantenspektren zu ermöglichen, die die Voraussetzung für aussagekräftige Visualisierungen darstellt, und um sie weiterführenden Analysen zugänglich zu machen, müssen die Einzelmatrizen überlagert werden. Dazu werden die Eigenschafts- bzw. Komponenten-DSM addiert (Abbildung 3-6). Notwendige Voraussetzung dafür ist das einheitliche Layout der Einzelmatrizen, d. h. alle Eigenschafts-DSM und alle Komponenten-DSM müssen dieselben Eigenschaften bzw. Komponenten in derselben Reihenfolge enthalten. (Selbstverständlich muss auch die Art der Modellierung der Eigenschaften bzw. Komponenten über alle Matrizen hinweg identisch sein.)

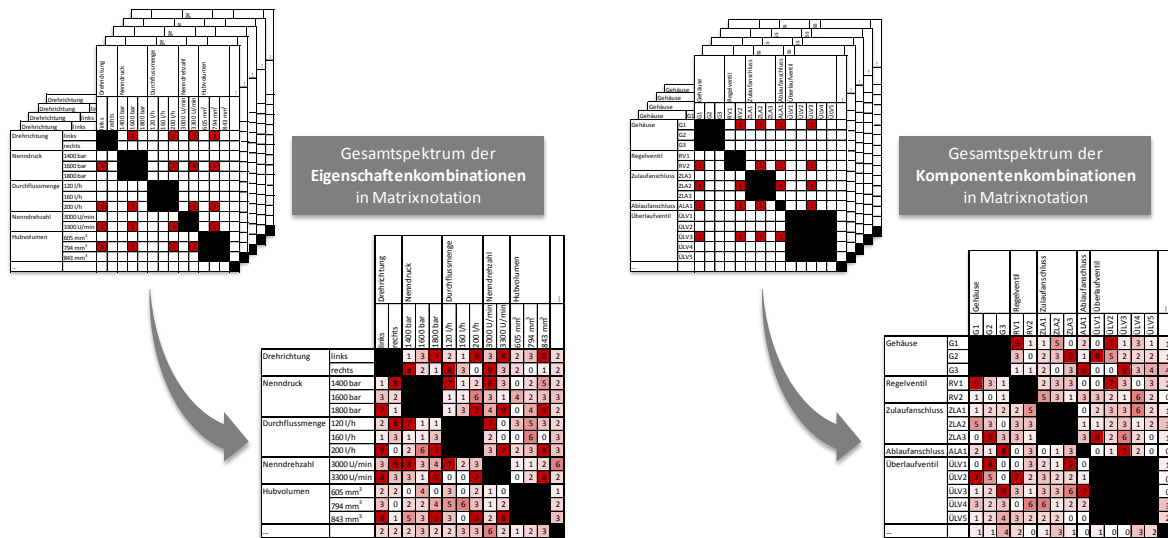


Abbildung 3-6 Gesamtspektrum der Eigenschaften- und Komponentenkombinationen in Matrixnotation (aggregierte Eigenschaften- und Komponenten-DSM)

Die Logik der Gesamtmatrizen entspricht aufgrund des identischen Aufbaus exakt der Logik der Einzelmatrizen – allerdings besitzen die Zelleinträge eine höhere Aussagekraft. Ist die Kombination zweier Eigenschaften bzw. Komponenten in mehreren Produktvarianten enthalten, weisen die entsprechenden Zellen in mehreren Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM den Eintrag „1“ auf. Bei der Überlagerung der Einzelmatrizen werden diese Einträge addiert. Die Zellen der Gesamtmatrizen können folglich Einträge zwischen „1“ und „n“ enthalten, wobei n der Anzahl der zu betrachtenden Produktvarianten entspricht. Der Eintrag „ i “ in der Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM des Gesamtspektrums bedeutet demnach: „Es gibt genau i Produktvarianten, in denen Eigenschaft bzw. Komponente A und Eigenschaft bzw. Komponente B miteinander kombiniert wurden bzw. werden können.“ (Das bloße Vorhandensein eines Zelleintrags bedeutet dabei nach wie vor: „Es gibt mindestens eine Produktvariante, in der Eigenschaft bzw. Komponente A und Eigenschaft bzw. Komponente B miteinander kombiniert wurden bzw. werden können.“)

Die Zelleinträge in der aggregierten Eigenschaften- und Komponenten-DSM geben also Auskunft über die Häufigkeiten der Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen sowie deren Verteilung. Um einen möglichst intuitiven Zugang zu dieser Information zu ermöglichen, werden die Zellen der DSM in Abhängigkeit von den Einträgen eingefärbt. In dem in Abbildung 3-6 dargestellten Beispiel sind diejenigen Zellen, die die höchsten Einträge enthalten am dunkelsten eingefärbt und stechen somit hervor; abhängig vom Anwendungsfall können jedoch auch andere Arten der Einfärbung sinnvoll sein.

Aus den Zelleinträgen der Gesamtmatrizen ist nicht ersichtlich, in welchen Produktvarianten zwei Eigenschaften oder Komponenten miteinander kombiniert wurden. Die Übernahme dieser Information aus den Einzelmatrizen ist nicht möglich, da diese in der Praxis nicht vorliegen, sondern lediglich ein theoretisches Konstrukt darstellen. Die Übernahme der Informatio-

nen aus den tatsächlich vorliegenden Quellen (und deren Codierung), ist ein komplexer und aufwendiger Prozess. Zudem ist der Umfang jedes realistischen Variantenspektrums so groß, dass die Darstellung der Informationen in der Matrix (unabhängig von deren Codierung) nicht möglich ist. Folglich sind die Übernahme und die Bereitstellung der Information, in welchen Produktvarianten die Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen enthalten sind nur in einem entsprechenden Software-Werkzeug möglich. Das im Rahmen dieser Arbeit adaptierte Werkzeug bietet diese Möglichkeit in Abhängigkeit von den Ausgangsdaten. Allerdings stellt sich die Frage nach dem Ursprung der Eigenschaften- und Komponentenkombinationen im Kontext der hier anzugehenden Aufgaben nicht.

Natürlich müssen nicht immer sämtliche Eigenschaften- und Komponenten-DSM eines Variantenspektrums addiert werden. Vielmehr kann eine beliebige Anzahl und Auswahl von Einzelmatrizen addiert werden, um beliebige Teilspektren abzubilden, zu analysieren und, was für die praktische Anwendung von besonderer Bedeutung ist, miteinander zu vergleichen.

3.1.5 Analyse von Gesamtspektren auf Grundlage der aggregierten Eigenschaften- und Komponenten-DSM

Sind die Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen eines Produktvariantenspektrums in Form der aggregierten Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM modelliert, sind sie den Analysemöglichkeiten des strukturellen Komplexitätsmanagements zugänglich.

Das strukturelle Komplexitätsmanagement unterscheidet die Strukturanalyse und die darauf basierende Ableitung von Optimierungspotenzialen (MAURER 2007). Die Strukturanalyse dient der Identifikation ausgewählter sog. Strukturcharakteristika. Die Bedeutung des Begriffs Strukturcharakteristika lässt sich anhand folgender Grundlagen aus der Systemtheorie herleiten: Jedes System besteht aus einer endlichen Anzahl von Elementen und Relationen zwischen den Elementen. Die Gesamtheit der Elemente und Relationen bildet die Systemstruktur, die einen maßgeblichen Einfluss auf das Systemverhalten hat. Jedes System kann in Subsysteme beliebigen Umfangs unterteilt werden. Dabei lassen sich Subsysteme identifizieren, die eine charakteristische Struktur haben und das Verhalten des Systems in charakteristischer Weise beeinflussen. Diese charakteristischen Substrukturen werden auch als Strukturcharakteristika bezeichnet.

Die Modellierung von Systemen erfolgt im Rahmen des strukturellen Komplexitätsmanagements mittels Grafen und/oder Matrizen. Der Vorteil dieser Art der Modellierung liegt in der Tatsache begründet, dass sich die Strukturcharakteristika eines Systems in Form von charakteristischen Mustern in den zugehörigen Grafen und/oder Matrizen niederschlagen. Dabei erfordert die Identifikation derartiger Muster u. U. die vorherige systematische Aufbereitung der Grafen bzw. Matrizen. Die manuelle Aufbereitung ist oft aufwendig und erfordert mitunter viel Erfahrung. Daher erfolgt die Aufbereitung in der Praxis meist teilautomatisch. Einige Strukturcharakteristika lassen sich leichter in Grafen identifizieren, andere leichter in Matrizen. Welche Darstellungsform die bessere ist hängt folglich vom Anwendungsfall und von der Neigung bzw. der Erfahrung der Anwender ab.

Die Kenntnis der wesentlichen Strukturcharakteristika eines Systems erlaubt die Ableitung von Optimierungspotenzialen. Basierend darauf können schlussendlich konkrete Handlungs-

empfehlungen zur gezielten Anpassung des Systems und damit zur erwünschten Beeinflussung des Systemverhaltens gegeben werden.

Wie jeder abgrenzbare Gegenstand des Denkens, kann auch ein Produktvariantenspektrum als System betrachtet werden. Die Elemente dieses Systems sind Produktvarianten und deren Eigenschaften bzw. Komponenten. Die Relationen, die es hier zu analysieren gilt, sind die Kombinationshäufigkeiten der Eigenschaften bzw. Komponenten. Im Kontext des Variantenmanagements gilt es charakteristische Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen (und auch Produktvariantenkombinationen) zu identifizieren. Als charakteristisch sind solche Kombinationen zu betrachten, die besonders häufig oder selten auftreten. Charakteristische Kombinationen zweier Eigenschaften bzw. Komponenten können durchaus ohne weitere Aufbereitung der DSM und daher ohne weitere Software-Unterstützung identifiziert werden. Charakteristische Kombinationen mehrerer Eigenschaften bzw. Komponenten können jedoch ausschließlich anhand charakteristischer Muster in der DSM identifiziert werden. Um diese Muster sichtbar zu machen, ist die gezielte und synchrone Umsortierung von Zeilen und Spalten notwendig. Die manuelle Umsortierung von DSM ist sehr aufwendig und erfordert zudem ein hohes Maß an Erfahrung. Folglich erfordert spätestens die Identifikation charakteristischer Kombinationen mehrerer Eigenschaften bzw. Komponenten angemessene Software-Unterstützung.

Das strukturelle Komplexitätsmanagement kennt zahlreiche Strukturcharakteristika (LINDEMANN ET AL. 2007, S. 201). Sind die zu betrachtenden Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen einmal in Form von DSM beschrieben, könnten die verschiedensten Strukturcharakteristika identifiziert werden. Der entscheidende Schritt ist jedoch nicht die Identifikation, sondern die Interpretation von Strukturcharakteristika im jeweiligen Aufgabenkontext. Ziel dieser Arbeit ist allerdings nicht, sämtliche bekannte Strukturcharakteristika im Kontext des Variantenmanagements zu interpretieren. Ziel ist vielmehr eine Form der Modellierung zu entwickeln, die die Eigenschaften- und Komponentenkombinationen umfangreicher Variantenspektren den Ansätzen des strukturellen Komplexitätsmanagements überhaupt zugänglich macht. Basierend darauf sollen vor dem Hintergrund konkreter Fragestellungen aus der industriellen Praxis diejenigen Strukturcharakteristika ausgewählt werden, deren Identifikation und Interpretation sinnvoll erscheint.

Die Beschreibung der für das Variantenmanagement relevanten Strukturcharakteristika sowie der Muster, die sie in den zugehörigen DSM bilden findet sich in den nachfolgenden Ausführungen zum praktischen Vorgehen. Beispielhaft soll an dieser Stelle die Identifikation sog. Cluster skizziert werden: Verschiebt man die Zeilen und Spalten einer DSM synchron und in geeigneter Art und Weise, bilden sich um deren Diagonale u. U. Blöcke von Zellen mit besonders hohen oder niedrigen Einträgen, die als Cluster bezeichnet werden (Abbildung 3-7).

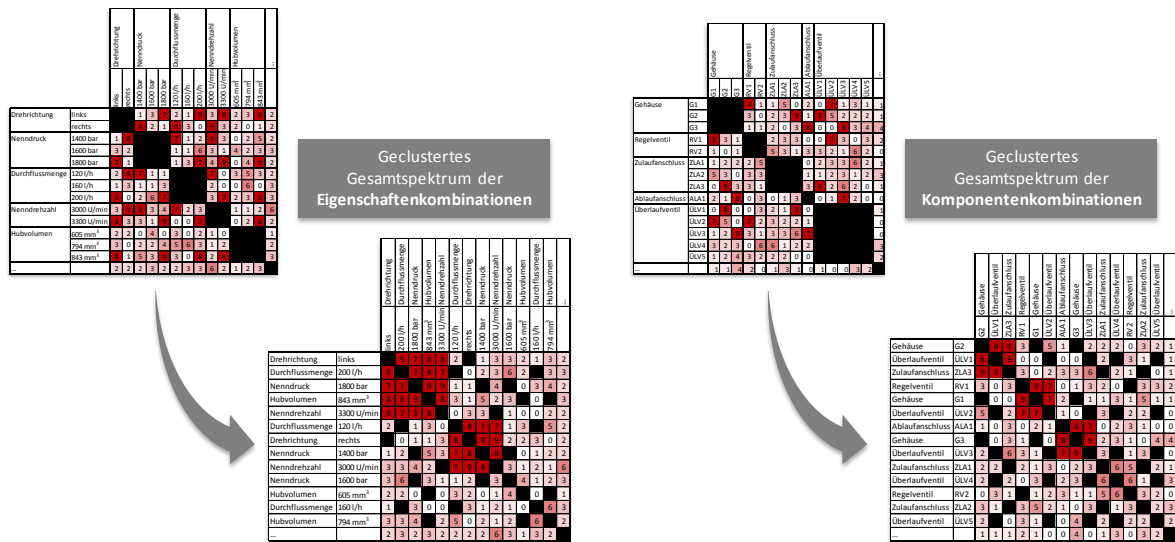


Abbildung 3-7 Geclustertes Gesamtspektrum der Eigenschaften- und Komponentenkombinationen (geclusterte Eigenschaften- und Komponenten-DSM)

Ein Cluster besonders hoher Zelleinträge in der Eigenschaften-DSM kennzeichnet Eigenschaften, die von den Kunden in der Vergangenheit häufig miteinander kombiniert wurden oder laut Prognose in Zukunft besonders häufig kombiniert werden. Bestünde die Aufgabe nun darin, Ausstattungspakete, also Eigenschaftenkombinationen zu definieren, die die Kundennachfrage möglichst exakt befriedigen, wäre es sinnvoll gezielt nach derartigen Clustern zu suchen.

Das Clustern von DSM stellt ein lange bekanntes und verbreitetes Verfahren mit vielen Anwendungen dar (MAURER 2007, S. 214F). Gleichzeitig gibt es noch keinen (implementierten) Ansatz, der unterschiedliche Zelleinträge berücksichtigt und daher für den vorliegenden Anwendungsfall geeignet wäre.

Die Analyse von Eigenschaften- und Komponenten-DSM basiert jedoch nicht zwangsläufig auf der Identifikation von Strukturcharakteristika. So kann allein die kompakte Darstellung von Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen (und auch Produktvariantenkombinationen) in den Matrizen äußerst hilfreich sein, um z. B. unterschiedliche Teilspektren oder Szenarien zu bewerten und miteinander zu vergleichen. Zudem sind aufgabenspezifische Analysen möglich, die nicht (ausschließlich) auf der Identifikation von Strukturcharakteristika basieren, wie sich in den folgenden Abschnitten im Kontext der (sukzessiven) Integration von Produktvarianten zeigen wird.

3.1.6 Integration von Stückzahlen in die (aggregierte) Eigenschaften- und Komponenten-DSM

Jede Produktvariante ist durch eine spezifische Eigenschaften- und Komponentenkombination gekennzeichnet, die in einer Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM abgebildet werden

kann. Eigenschaften- und Komponenten-DSM enthalten, ausgehend von den Ausführungen zu Beginn dieses Abschnitts, ausschließlich den Eintrag „1“, da sie genau eine Produktvariante repräsentieren. Aus diesem Sachverhalt ergibt sich auch die Bedeutung eines einzelnen Eintrags: „Es gibt *mindestens* eine Produktvariante, in der Eigenschaft bzw. Komponente A und Eigenschaft bzw. Komponente B miteinander kombiniert wurden bzw. werden können.“

Bei der Aggregation der einzelnen Eigenschaften- und Komponenten-DSM werden Einträge in derselben Zelle unterschiedlicher Matrizen addiert. Die Einträge in der aggregierten Eigenschaften- und Komponenten-DSM repräsentieren demnach die, auf die *Variantenzahlen* bezogenen, Kombinationshäufigkeiten der Eigenschaften bzw. Komponenten. Daher ist die Bedeutung des Eintrags „*i*“: „Es gibt *genau i Produktvarianten*, in denen Eigenschaft bzw. Komponente A und Eigenschaft bzw. Komponente B miteinander kombiniert wurden bzw. werden können.“

Die Abbildung von Variantenspektren mittels oben beschriebener DSM bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die Verkaufshäufigkeiten bzw. –wahrscheinlichkeiten der zu betrachtenden Produktvarianten zu berücksichtigen. Diese Möglichkeit ist von großer Bedeutung, denn viele der in Abschnitt 2.5 dargelegten Auswirkungen der Variantenvielfalt korrelieren positiv mit den handzuhabenden, d. h. in erster Linie mit den zu fertigenden und zu lagernden, Stückzahlen und weniger mit den handzuhabenden Variantenzahlen.

Die Integration von Stückzahlen in die matrixbasierte Notation zur Abbildung von Variantenspektren gestaltet sich wie folgt: Der grundsätzliche Aufbau der einzelnen Eigenschaften- und Komponenten-DSM bleibt unverändert. Allerdings enthalten sie anstelle des einzigen Eintrags „1“ die Verkaufshäufigkeiten bzw. –wahrscheinlichkeiten der einzelnen Produktvarianten. Die Bedeutung des Eintrags „*i*“ in einer einzelnen Eigenschaften- oder Komponenten-DSM wandelt sich damit zu: „Es gibt *mindestens i Stück/Einheiten/...*, in denen Eigenschaft bzw. Komponente A und Eigenschaft bzw. Komponente B miteinander kombiniert wurden bzw. werden⁴².“

Die Aggregation der Einzelmatrizen bleibt unbeeinflusst von deren Inhalt, d. h. Einträge in derselben Zelle unterschiedlicher Matrizen werden wie gehabt addiert. Ein Eintrag in der Gesamtmatrix kann folglich höchstens so groß sein, wie die abgesetzte bzw. abzusetzende Stückzahl. Natürlich verändert sich mit der Bedeutung der Einträge in den Einzelmatrizen auch die Bedeutung der Einträge in der aggregierten Eigenschaften- und Komponenten-DSM. Der Eintrag „*i*“ bedeutet nun: „Es gibt *genau i Stück/Einheiten/...*, in denen Eigenschaft bzw. Komponente A und Eigenschaft bzw. Komponente B miteinander kombiniert wurden bzw. werden.“ Die aggregierte Eigenschaften- und Komponenten-DSM gibt nun also Auskunft über die, auf die *Stückzahlen* bezogenen, Kombinationshäufigkeiten der Eigenschaften bzw. Komponenten. Die im vorangegangenen Abschnitt umrissenen Analyseverfahren können unverändert auf DSM, die Stückzahlinformationen enthalten angewendet werden. Fände sich z. B. ein Cluster von Zellen mit besonders hohen Einträgen in einer auf Verkaufshäufigkeiten basierenden, aggregierten Eigenschaften-DSM, hieße dies, dass die zugehörigen Eigenschaf-

⁴² Stückzahlangaben können sich sowohl auf Verkaufshäufigkeiten als auch auf Verkaufswahrscheinlichkeiten beziehen, d. h. sie können sowohl auf Erfahrungen als auch auf Prognosen beruhen.

ten in einem Großteil der verkauften Einheiten enthalten waren. Ein Paket aus genau diesen Eigenschaften, entspräche also exakt der Kundennachfrage und fände voraussichtlich auch in Zukunft großen Anklang.

3.1.7 Abbildung von Ausgangsinformationen in der Produktvarianten-Eigenschaften- und Produktvarianten-Komponenten-DMM

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, wie die spezifischen Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen einzelner Produktvarianten in DSM abgebildet und anschließend aggregiert werden, um die Kombinationshäufigkeiten eines Produktvariantenspektrums der Analyse zugänglich zu machen.

Obwohl es möglich ist, die spezifische Eigenschaften- bzw. Komponentenkombination jeder einzelnen Produktvariante in einer DSM abzubilden, würde man dies in der Praxis nicht tun. Allein deshalb nicht, weil die Anzahl der zu betrachtenden Produktvarianten in der Regel viel zu hoch ist; sie kann ohne weiteres mehrere hunderttausend betragen. Vor allem aber werden die Einzelmatrizen für die Analyse des Gesamtspektrums nicht benötigt. Trotzdem haben die detaillierten Beschreibungen der Einzelmatrizen in den vorangegangenen Abschnitten ihre Berechtigung, denn sie dienen der systematische Herleitung der Gesamtmatrizen und sind notwendige Voraussetzung, um ein tiefgreifendes Verständnis für den Inhalt und die Logik der Gesamtmatrizen zu entwickeln.

Festzuhalten bleibt also, dass sich die Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM eines Produktvariantenspektrums in der Realität nicht aus den Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM der einzelnen Produktvarianten speisen kann, da diesen nun mal nicht vorliegen. Tatsächlich ist davon auszugehen, dass die benötigten Ausgangsinformationen in Form von Tabellen vorliegen, in denen den zu betrachtenden Produktvarianten Eigenschaften- bzw. Komponenten zugeordnet werden. Diese Tabellen stellen letztendlich Domain Mapping Matrices (DMM) dar, da es sich bei ihnen um Matrizen handelt, in denen Elemente unterschiedlicher Domains, nämlich Produktvarianten und Eigenschaften bzw. Produktvarianten und Komponenten, miteinander verknüpft werden. (Der Aufbau vorhandener Tabellen entspricht in der Regel nicht exakt dem von DMM, sodass ein gewisser Aufbereitungsaufwand vonnöten ist.) Aus den DMM, die im Folgenden als Produktvarianten-Eigenschaften-DMM und Produktvarianten-Komponenten-DMM bezeichnet werden, kann die benötigte Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM des gesamten darin enthaltenen Produktvariantenspektrums mittels Matrix-Multiplikation berechnet werden. Die einzelnen Schritte zur Aufnahme der Ausgangsinformationen bzw. Aufbereitung der DMM sowie zur Berechnung der DSM sind in den nachfolgenden Abschnitten detailliert beschrieben. Abbildung 3-8 zeigt die Einordnung der unterschiedlichen DMM und DSM in die übergeordnete Multiple-Domain Matrix (MDM) sowie den schematischen Zusammenhang zwischen den zur Verfügung stehenden Ausgangsinformationen und den daraus zu berechnenden Informationen.

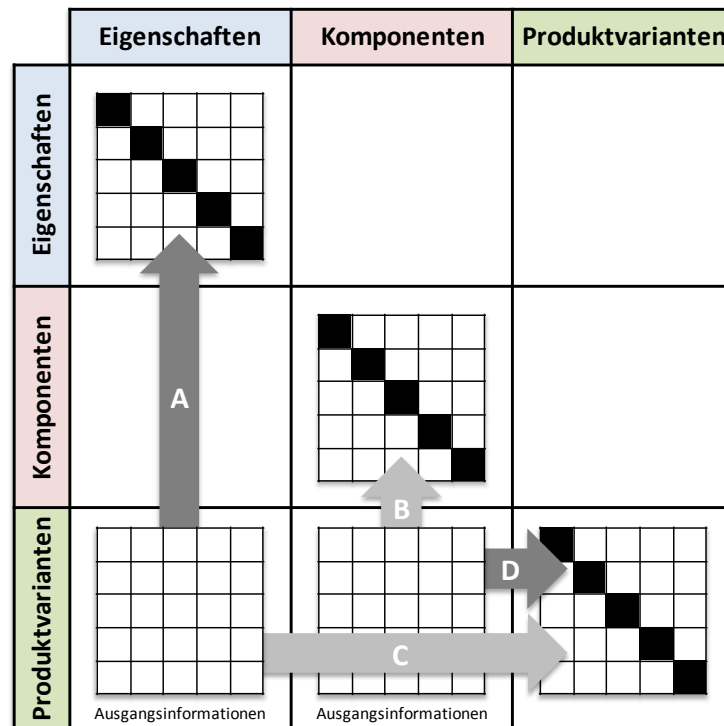


Abbildung 3-8 Berechnung der Eigenschaften-, Komponenten- und Produktvarianten-DSM

Aus der Produktvarianten-Eigenschaften- bzw. Produktvarianten-Komponenten-DMM kann, neben der Eigenschaften- bzw. Komponenten-DSM, auch die Produktvarianten-DSM berechnet werden. Die Produktvarianten-DSM gibt Auskunft darüber, wie viele identische Eigenschaften bzw. Komponenten zwei beliebige Produktvarianten des Betrachtungsumfangs enthalten. Insgesamt stehen damit vier Berechnungsmöglichkeiten zur Verfügung:

- Berechnung der Eigenschaften-DSM aus der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM (A)
- Berechnung der Komponenten-DSM aus der Produktvarianten-Komponenten-DMM (B)
- Berechnung der Produktvarianten-DSM aus der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM (C)
- Berechnung der Produktvarianten-DSM aus der Produktvarianten-Komponenten-DMM (D)

Vollständige Darstellungen der Berechnungsmöglichkeiten in MDM, also der Möglichkeiten zur Ableitung indirekter Abhängigkeiten finden sich in MAURER (2007, S. 82FF) und LINDEMANN ET AL. (2009, S. 99FF).

Wie in Abbildung 3-8 angedeutet, werden im Rahmen des nachfolgend beschriebenen Vorgehen zumeist ausschließlich die Berechnungsmöglichkeiten A und D genutzt. Die Logik, die den genutzten Berechnungsmöglichkeiten zugrunde liegt lässt sich anhand folgender Überlegungen nachvollziehen: Jede Produktvariante ist durch eine spezifische Kombination von Eigenschaften gekennzeichnet. Hat eine Produktvariante die Eigenschaft A und die Eigenschaft B, so ist klar, dass die beiden Eigenschaft miteinander kombiniert werden können – und tatsächlich in mindestens einer Produktvariante miteinander kombiniert wurden (Abbildung 3-9).

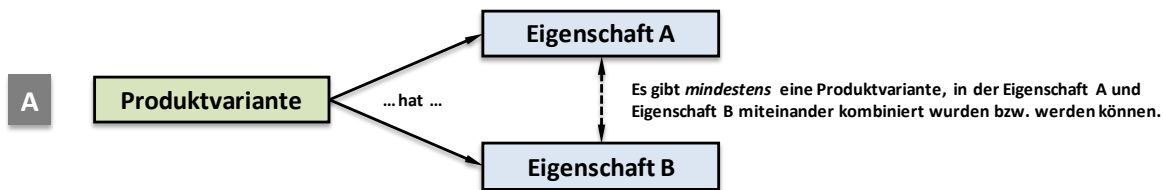


Abbildung 3-9 Berechnung von Eigenschaftskombinationen aus der Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten

Sämtliche Informationen darüber, welche Produktvarianten welche Eigenschaften haben sind in der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM enthalten. Jede Produktvariante entspricht einer Zeile, jede Eigenschaft entspricht einer Spalte und jeder Eintrag ordnet einer Produktvariante eine Eigenschaft zu. Allein aus der Produktvarianten-Eigenschaften-DSM ist demnach ersichtlich, welche Eigenschaften miteinander kombiniert wurden bzw. werden können (alle Eigenschaften, die derselben Produktvariante zugeordnet sind, können miteinander kombiniert werden). Die Berechnung der Komponentenkombinationen aus der Zuordnung von Komponenten zu Produktvarianten folgt derselben Logik wie die Berechnung der Eigenschaftskombinationen aus der Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten.

Aus der Zuordnung von Eigenschaften bzw. Komponenten zu Produktvarianten lässt sich darüber hinaus berechnen, wie ähnlich sich die unterschiedlichen Produktvarianten sind, d. h. wie viele identische Eigenschaften bzw. Komponenten sie enthalten (Abbildung 3-10).

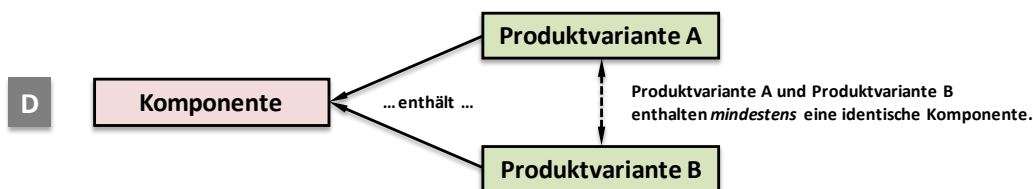


Abbildung 3-10 Berechnung der Ähnlichkeit von Produktvarianten aus der Zuordnung von Komponenten zu Produktvarianten

Detailliertere Beschreibungen der Berechnungen auf Basis der unterschiedlichen DMM und DSM finden sich in den nachfolgenden Abschnitten zum praktischen Vorgehen.

3.2 Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponenten-kombinationen

In diesem Abschnitt wird das praktische Vorgehen zur Abbildung von Eigenschaften- und Komponentenspektren in DSM sowie zur darauf basierenden Analyse von Kombinationshäufigkeiten, die die Identifikation besonders häufig bzw. selten nachgefragter Eigenschaften- bzw. Komponentenkombinationen zum Ziel hat, beschrieben. Übergeordnetes Ziel dieses Vorgehens ist die Anpassung des Angebots an die bisherige Kundennachfrage und/oder die Steuerung der zukünftigen Kundennachfrage.

Die Anpassung des Angebots an die Kundennachfrage und die Steuerung der Kundennachfrage auf Grundlage der Betrachtung nachgefragter Komponentenkombinationen ist durchaus zulässig und zielführend. Da die Komponenten eines Produkts letztendlich nur „Mittel zum Zweck“ sind – sie dienen der Erfüllung von Anforderungen –, sollten derartige Maßnahmen jedoch vorzugsweise auf der Betrachtung nachgefragter Anforderungs-, sprich Eigenschaftenkombinationen basieren. Nur wenn Informationen zur Nachfragesituation von Eigenschaftenkombinationen aus irgendwelchen Gründen nicht zugänglich sind, sollte auf die Analyse von Komponentenkombinationen zurückgegriffen werden. Das Vorgehen zur Analyse von Komponentenkombinationen gestaltet sich zudem vollkommen analog dem zur Analyse von Eigenschaftenkombinationen. Daher konzentrieren sich sämtliche nachfolgenden Ausführungen in diesem Abschnitt aus Vereinfachungsgründen auf die Betrachtung von Eigenschaften und deren Kombinationshäufigkeiten. Die wenigen Unterschiede im Vorgehen werden an entsprechender Stelle herausgestellt.

Die genaue Kenntnis der Nachfragesituation auf Ebene der Eigenschaftenkombinationen ist notwendige Voraussetzung zur Anpassung des Angebots an die Kundennachfrage bzw. zur Steuerung der Kundennachfrage durch gezielte Festlegung von Kombinationsregeln. Um das Verständnis für diese Tatsache zu schärfen, sollen nachfolgend einige grundlegende Überlegungen zu Eigenschaftenkombinationen und deren Beeinflussung angestellt werden.

Die Anzahl der theoretisch möglichen Eigenschaftenkombinationen ergibt sich allein aus der Multiplikation der Anzahlen der Ausprägungen aller Merkmale. So würden drei Karosserieformen, fünf Motorisierungen und zehn Farben beispielsweise in $3 \cdot 5 \cdot 10 = 150$ Varianten eines Kraftfahrzeugs resultieren. Führt man sich die Anzahlen der Merkmale und Ausprägungen heutiger Produkte vor Augen, erkennt man schnell, dass die Anzahl der theoretisch möglichen Eigenschaftenkombinationen in aller Regel immens hoch ist (und daher gerne genutzt wird, wenn es darum geht, ein Variantenspektrum als möglichst umfangreich darzustellen). Ein Großteil der theoretisch möglichen Eigenschaftenkombinationen ist jedoch aus technischen, ästhetischen und kaufmännischen Gründen nicht möglich bzw. sinnvoll und wird daher bereits im Vorfeld ausgeschlossen und gar nicht erst angeboten. Die angebotenen Eigenschaftenkombinationen stellen folglich nahezu immer eine stark eingeschränkte Auswahl der theoretisch möglichen Eigenschaftenkombinationen dar (Abbildung 3-11). Die Aussagekraft der Anzahlen theoretisch möglicher Eigenschaftenkombinationen ist dementsprechend gering.

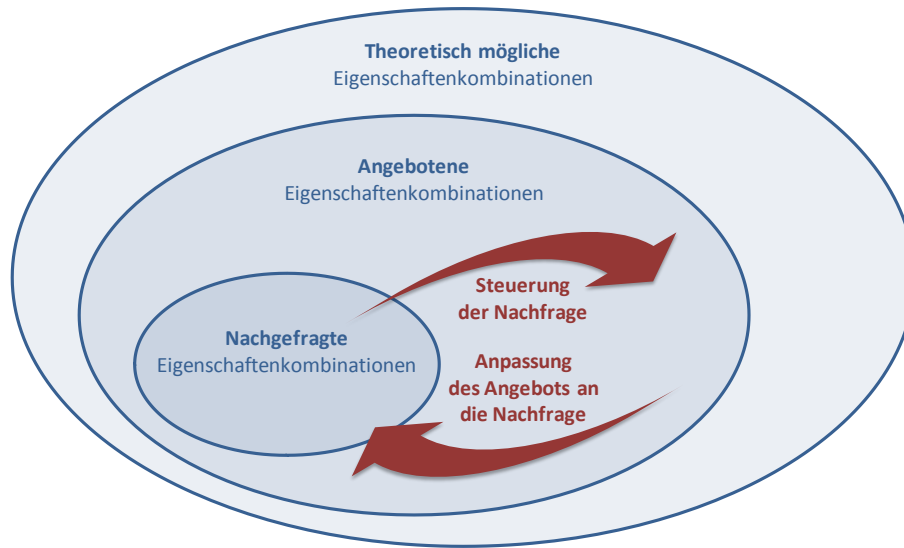


Abbildung 3-11 Anpassung des Angebots an die Nachfrage vs. Steuerung der Nachfrage

Die technische und ästhetische Eignung von Eigenschaftskombinationen genügt vom Markt unabhängigen (oft sogar objektiven) Kriterien und lässt sich daher schon vor Markteintritt eindeutig feststellen (auch wenn die Anzahl der zu überprüfenden Kombinationen mitunter eine große Herausforderung darstellt). Die Beurteilung der kaufmännischen Eignung beruht jedoch immer auf Prognosen des Nachfrageverhaltens und kann daher nur bedingt zuverlässig sein. Im Idealfall decken sich die angebotenen Eigenschaftskombinationen exakt mit den nachgefragten Eigenschaftskombinationen, weshalb dieser Zustand auch das Ziel für die Optimierung des Eigenschaftenspektrums darstellt. In der Realität wird es jedoch, allein aufgrund der Dynamik der meisten Märkte, eine mehr oder weniger große Diskrepanz zwischen den angebotenen und den nachgefragten Eigenschaftskombinationen geben. Die Analyse der Kombinationshäufigkeiten gibt Aufschluss über diese Diskrepanz.

Wie in Abbildung 3-11 dargestellt, gibt es zwei grundsätzliche Ansätze, um die angebotenen und die nachgefragten Eigenschaftskombinationen in Einklang miteinander zu bringen. Der erste Ansatz besteht darin, das Angebot so exakt wie möglich auf die Kundennachfrage zuzuschneiden, d. h. die angebotenen Eigenschaftskombinationen auf diejenigen zu reduzieren, die tatsächlich verkauft werden. In diesem Fall müsste jede häufig nachgefragte Eigenschaftskombination zu einem entsprechenden Kombinationszwang, jede selten nachgefragte zu einem entsprechenden Kombinationsverbot führen. Übergeordnetes Ziel dieses Ansatzes ist zumeist die Einsparung von Kosten für die Handhabung nicht nachgefragter Produktvarianten, in denen die nicht nachgefragten Eigenschaftskombinationen zwangsläufig münden. Ein anderes zentrales Ziel kann die Reduktion von Auswahlmöglichkeiten und damit die Vereinfachung der Konfiguration im Rahmen des Anfrage- bzw. Angebotsprozesses sein.

Der zweite Ansatz besteht in der gezielten Steuerung der Kundennachfrage durch Festlegung entsprechender Kombinationsregeln. Vordergründiges Ziel dieses Ansatzes ist es, gewinnbringende oder auf neuen Technologien basierende (und damit zukünftig gewinnbringende)

Eigenschaften bzw. Eigenschaftskombinationen, die bislang nur selten nachgefragt wurden in den Markt zu bringen, indem man sie mit häufig nachgefragten Eigenschaften bzw. Eigenschaftskombinationen koppelt.

Eines ist jedoch vollkommen unabhängig davon, ob das übergeordnete Ziel die Anpassung des Angebots an die Nachfrage oder die Steuerung der Nachfrage ist: Grundlage eines zielgerichteten Vorgehens ist immer die Kenntnis derjenigen Eigenschaftskombinationen, die besonders häufig bzw. selten nachgefragt wurden.

Das Vorgehen zur Einschränkung zulässiger Eigenschaftskombinationen gliedert sich in acht Phasen (Abbildung 3-12).



Abbildung 3-12 Vorgehen zur Einschränkung zulässiger Eigenschaftskombinationen

Die Ziele, Arbeitsinhalte und Ergebnisse der einzelnen Phasen werden in den nachfolgenden Abschnitten ausführlich erläutert.

3.2.1 Ziele und Randbedingungen festlegen

Die Festlegung von Zielen sollte am Anfang jedes systematischen Vorgehens stehen, denn ohne Ziele ist kein zielgerichtetes Vorgehen möglich. In dem Bestreben von Beginn an größtmögliche Klarheit zu schaffen, sollte die Festlegung von Zielen dabei auch die ausdrückliche Festlegung von Nicht-Zielen umfassen. Aus dem Auftrag zur Durchführung von Maß-

nahmen, die dem Variantenmanagement dienen allein ergeben sich, bestenfalls, übergeordnete Ziele. Diese Ziele gilt es jedoch zu detaillieren, in Bezug zueinander zu setzen und in eine zeitliche Ordnung zu bringen (Etappenziele). Die festgelegten Ziele müssen für alle Beteiligten verbindlich sein und sollten, in welcher Form auch immer, dokumentiert und jederzeit zugänglich gemacht werden.

Ebenso wichtig wie die Festlegung von Zielen ist die Festlegung der zu beachtenden Randbedingungen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der in Abschnitt 2.6.2 dargelegten Limitierungen des Variantenmanagements. Randbedingungen können die Wirksamkeit jedweder Maßnahmen im Rahmen des Variantenmanagements einschränken und sogar verhindern und stehen daher in direktem Zusammenhang mit deren Zielen. So können z. B. Maßnahmen zur Reduktion von Fertigteilvarianz (im Gegensatz zu Rohteilvarianz einerseits und Montagevarianz andererseits) im Falle des Einsatzes hoch *spezialisierter* Fertigungsanlagen äußerst wirkungsvoll, im Falle des Einsatzes hoch *flexibler* Fertigungsanlagen jedoch vollkommen wirkungslos sein. Zielt die Reduktion von Varianten darüber hinaus (auch) auf die Verringerung der Anteile von Just-in-time- bzw. Just-in-sequence-Produktion ab, ergeben sich aus den Randbedingungen (u. a.) die Höchstzahlen der (z. B. in einem Supermarkt) handhabbaren Komponentenvarianten und somit Zielwerte für die Reduktion. Existieren Randbedingungen, die es zu beachten gilt, und können diese klar gefasst oder gar quantifiziert werden, empfiehlt sich auch hier eine entsprechende Dokumentation.

Besondere Bedeutung kommt auch der Frage zu, ob die zu erreichenden Ziele monetär bewertet werden müssen oder nicht. (Diese Frage lässt sich nicht pauschal beantworten und hängt vor allem anderen von der Grundhaltung des jeweiligen Unternehmens bzw. Unternehmensbereichs ab.) Ist dem so, stellt sich die Frage, ob die zur Anwendung kommenden Kostenrechnungssysteme die verursachungsgerechte Zuordnung von Kosten erlauben und eine (hinreichende) monetäre Bewertung somit überhaupt zulassen (vgl. Abschnitt 2.6.2). Kommt kein entsprechendes Kostenrechnungssystem zum Einsatz, ist eine Grundsatzentscheidung zu treffen: Entweder man verzichtet auf die Forderung einer detaillierten, quantitativen Bewertung der Ergebnisse der durchzuführenden Maßnahmen (und begnügt sich mit rein qualitativen bzw. groben, quantitativen Aussagen) oder man verzichtet auf die Durchführung der Maßnahmen selbst. Eine weitere Option besteht natürlich in der Einführung eines entsprechenden Kostenrechnungssystems. Der Aufwand und die Tragweite einer derartigen Maßnahme sind jedoch so hoch, dass sie kaum im Zuge eines einzelnen Variantenmanagement-Projekts durchgeführt werden würde.

In der Regel sind im Verlauf eines Projekts Annahmen zu treffen, auf deren Grundlage gearbeitet wird. Dabei ist das Treffen von Annahmen immer dann notwendig, wenn, wie auch immer geartete und begründete, Informationsdefizite bestehen. Können Informationsdefizite nicht (kurzfristig) ausgeräumt werden, müssen (vorläufig) Annahmen getroffen werden, um arbeitsfähig zu sein bzw. zu bleiben. Ist z. B. nicht klar, *ob* sich die zur Verfügung stehenden Fertigungseinrichtungen in absehbarer Zeit ändern werden, kann die Annahme getroffen werden, *dass* sie sich in einem bestimmten Betrachtungszeitraum *nicht* ändern werden. In der Praxis lässt sich immer wieder beobachten, dass Annahmen zwar getroffen werden, dies jedoch unbewusst geschieht. Die Annahmen sind folglich nicht immer klar, nicht dokumentiert und nicht zugänglich für Dritte. Daraus resultiert die Forderung, Annahmen bewusst und so

früh wie möglich zu treffen und sie einschließlich der zugrunde liegenden Überlegungen zu dokumentieren. Immerhin beruhen die Nachvollziehbarkeit und vor allem die Gültigkeit sämtlicher Ergebnisse vollständig auf den getroffenen Annahmen.

*Ergebnis der Phase „Ziele und Randbedingungen festlegen“ ist das klare und einheitliche Verständnis der **zu erreichenden** und **nicht zu erreichenden Ziele**, der dabei zu berücksichtigenden **Randbedingungen** sowie der im Vorfeld getroffenen **Annahmen** einschließlich der für alle Beteiligten zugänglichen **Dokumentation**.*

3.2.2 Zu betrachtende Produktvarianten festlegen

Bei der Festlegung der zu betrachtenden Produktvarianten geht es um die Ermittlung des geeigneten Betrachtungsumfangs unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Ressourcen einerseits und des Gültigkeitsbereichs der zu erzielenden Ergebnisse andererseits. Dem zweiten Aspekt kommt im Variantenmanagement eine besondere Bedeutung zu, wie folgendes Beispiel verdeutlicht: Das Streichen oder Vereinheitlichen von Komponentenvarianten mag auf Grundlage detaillierter Verkaufszahlenbetrachtungen von Produktvarianten innerhalb eines bestimmten Umfangs (z. B. einer Baureihe) sinnvoll erscheinen. Werden die Komponentenvarianten jedoch auch in Produktvarianten außerhalb des Betrachtungsumfangs (z. B. in anderen Baureihen) verwendet, so kann letztlich keine Aussage über die Auswirkungen und damit die Sinnhaftigkeit des Streichens oder Vereinheitlichens getroffen werden. Es gilt also, im Vorfeld der Analysen, eine problemspezifische Auswahl von Produktvarianten zu treffen (Abbildung 3-13).

Produktvariante A
Produktvariante B
Produktvariante C
Produktvariante D
Produktvariante E
Produktvariante F
Produktvariante ...

Abbildung 3-13 Problemspezifische Auswahl von Produktvarianten

Die Festlegung des Betrachtungsumfangs mag trivial erscheinen. Sie ist jedoch von herausragender Bedeutung für alle nachfolgenden Schritte. So ist u. U. äußerst umfangreiche Nacharbeit zu leisten, wenn der Betrachtungsumfang zu klein gewählt wird. Andererseits wird u. U. äußerst umfangreiche, aber unnötige Arbeit geleistet, wenn der Betrachtungsumfang zu groß gewählt wird. Trotzdem ist der Umfang selbst nur von zweitrangiger Bedeutung. Vielmehr geht es auch in diesem Schritt darum, den Betrachtungsumfang (so groß oder klein er auch sein mag) ausdrücklich und klar zu benennen. Geschieht dies nicht, kann es im Verlauf der Arbeiten immer wieder zur Verwirrung der Beteiligten kommen. Im schlimmsten Fall führt

dies in der Folge zu einem grundsätzlichen Misstrauen gegenüber allen Ergebnissen und zur Verwässerung der darauf basierenden Aussagen.

Außerdem gilt es einen weiteren Aspekt zu beachten, der zum Stolperstein werden kann: Der Betrachtungsumfang scheint oft von vornherein klar. So finden sich Hinweise darauf gerne bereits zu Beginn eines Projekts in dessen Titel. Die Tatsache, dass der Betrachtungsumfang klar scheint heißt jedoch nicht, dass er tatsächlich klar ist – und schon gar nicht, dass er geeignet ist. Erfahrungsgemäß muss der Betrachtungsumfang ohnehin im Zuge der frühen Arbeiten geschärft werden. Besonderes Augenmerk gilt dabei den oft unterschiedlichen Meinungen und Interessen der Beteiligten. Eventuelle Differenzen sollten, auch im Sinne der Schärfung der Ziele, möglichst früh diskutiert und ausgeräumt werden.

Wesentliches inhaltliches Kriterium zur Festlegung des Betrachtungsumfangs ist die Einheitlichkeit der verfügbaren Daten. Für den gesamten Betrachtungsumfang müssen Daten in einheitlicher Güte, d. h. in einheitlicher Detailtiefe und Verlässlichkeit verfügbar sein. Das Format der Daten spielt insofern eine untergeordnete Rolle, als dass es mit entsprechendem Aufwand vereinheitlicht werden kann. Vor dem Hintergrund begrenzter Kapazitäten kann jedoch auch dieser Aspekt in den Vordergrund rücken. Grundsätzlich steigt mit wachsendem Betrachtungsumfang die Wahrscheinlichkeit, dass man sich Daten aus unterschiedlichen Quellen bedienen muss – seien es unterschiedliche Software-Systeme, Unternehmensbereiche oder Standorte. Folglich steigt auch die Wahrscheinlichkeit, inhomogene Daten handhaben zu müssen. Ein größerer Betrachtungsumfang, der aus verschiedenen Gründen der eigentlich geeignete wäre, kann also allein aufgrund der uneinheitlichen Güte der zugrunde liegenden Daten in Summe vollkommen ungeeignet sein.

*Ergebnis der Phase „Zu betrachtende Produktvarianten festlegen“ ist die **problemspezifische Auswahl von Produktvarianten**.*

3.2.3 Zu betrachtende Eigenschaften festlegen

Sind die zu betrachtenden Produktvarianten festgelegt, gilt es die zu betrachtenden Eigenschaften festzulegen⁴³. Die Festlegung der zu betrachtenden Eigenschaften umfasst, ausgehend davon, dass bekannt und dokumentiert ist, welche Produktvariante welche Eigenschaften hat, drei Schritte:

- die eventuelle Auflösung von Eigenschaften,
- die problemspezifische Auswahl von Eigenschaften sowie
- die Überführung der ausgewählten Eigenschaften in ein vorgegebenes Format.

Im Idealfall beschränkt sich die Festlegung auf die problemspezifische Auswahl von Eigenschaften. Dies ist immer dann der Fall, wenn Eigenschaften, der Definition in Abschnitt 2.1.3

⁴³ Sollte das Ziel des Vorgehens nicht die Einschränkung zulässiger Eigenschaftskombinationen, sondern die zulässiger Komponentencombinationen sein, gilt es an dieser Stelle die zu betrachtenden Komponenten festzulegen. Die Ausführungen zur Festlegung der zu betrachtenden Komponenten sind Abschnitt 3.3.3 zu entnehmen.

folgend, als *eindeutige* Merkmale und Ausprägungen beschrieben sind und in dem unten dargestellten Format vorliegen (bzw. sich automatisiert in dieses Format überführen lassen). In vielen Fällen müssen die zu betrachtenden Eigenschaften jedoch erst aufgelöst werden, d. h. erstmals als Merkmale und Ausprägungen beschrieben, decodiert oder zumindest in eindeutige Merkmale und Ausprägungen zerlegt werden.

Auflösung von Eigenschaften

Die Auflösung von Produkteigenschaften ist immer dann notwendig, wenn diese ausschließlich in codierter Form vorliegen. So sind die Eigenschaften vieler Investitions- und Konsumgüter heute in einem Typschlüssel⁴⁴ codiert. Der Typschlüssel ist eine Folge alphanumerischer Zeichen, die dazu dient, die Eigenschaften bestimmter Produktvarianten (oft z. B. die der Standardvarianten) zu codieren (Abbildung 3-14). Im Gegensatz zu anderen Buchstaben- und/oder Zahlenkombinationen, die ausschließlich der eindeutigen Identifikation von Produktvarianten dienen (sog. Ident-, Artikel- oder Sachnummern etc.), ist der Typschlüssel sprechend⁴⁵. Der Typschlüssel besteht aus einer begrenzten Anzahl von Stellen. (Die insgesamt zur Verfügung stehende Anzahl von Stellen wird von dem Software-System vorgegeben, mit dessen Hilfe der Typschlüssel verwaltet wird.) Mehrere Stellen des Typschlüssels können zu einer Position zusammengefasst werden. Jede Position des Typschlüssels, egal ob sie eine oder mehrere Stellen umfasst, entspricht im einfachsten Fall genau einem Merkmal. Jedes an einer Position zulässige Zeichen bzw. jede zulässige Zeichenfolge entspricht genau einer Ausprägung eines Merkmals. Die Bedeutung der einzelnen Positionen, also deren Zuordnung zu Merkmalen, sowie die an den einzelnen Positionen zulässigen Zeichen bzw. Zeichenfolgen und deren Bedeutung, also deren Zuordnung zu Merkmalsausprägungen, sind in entsprechenden Listen oder Tabellen⁴⁶ hinterlegt. Diese Listen oder Tabellen sind zumeist Teil der Produktdokumentation und werden z. B. in Datenblättern und Katalogen veröffentlicht. Sind die Produkte selbst mit dem Typschlüssel versehen (z. B. auf dem Typenschild), können Außenstehende folglich Rückschlüsse auf die Produkteigenschaften ziehen. Aus Gründen des Plagiatschutzes vermeiden viele Unternehmen daher die vollständige Veröffentlichung der in einem Typschlüssel codierten Eigenschaften bzw. die Verwendung eines vollständigen Typschlüssels.

⁴⁴ Synonyme sind u. a. Verkaufsschlüssel, Typschlüsselnummer, Verkaufsschlüsselnummer und Schlüsselnummer.

⁴⁵ Der Typschlüssel ist zwar sprechend, solange in ihm aber nicht sämtliche produktbeschreibende Eigenschaften codiert sind (was allein aufgrund der Stellenbegrenzung nur äußerst selten der Fall ist), ist er jedoch nicht eindeutig und muss daher durch eine entsprechende Ident-, Artikel- oder Sachnummer etc. ergänzt werden.

⁴⁶ Aufgrund einer sprachlichen Ungenauigkeit werden die Listen oder Tabellen zur Decodierung von Typschlüsseln selbst mitunter als Typschlüssel bezeichnet.

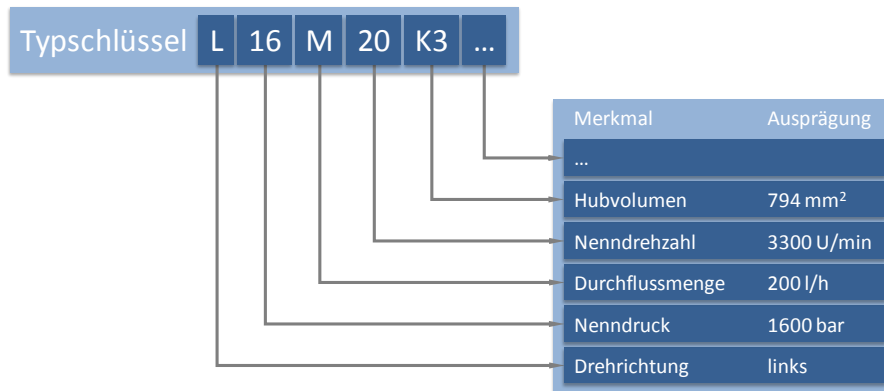


Abbildung 3-14 Codierung von Merkmalen und Ausprägungen im Typschlüssel

Unterschiedliche Produktgruppen haben (z. T. vollkommen) unterschiedliche Eigenschaften. Gleichzeitig ist die Anzahl der Stellen bzw. Positionen von Typschlüsseln und damit die Anzahl der darin codierbaren Eigenschaften begrenzt. Um die Eigenschaften unterschiedlicher Produktgruppen zu codieren, kommen daher zumeist unterschiedliche, produktgruppenspezifische Typschlüssel zum Einsatz (die Produktgruppe selbst wird häufig, aber nicht immer im Typschlüssel codiert).

Anders als in dem in Abbildung 3-14 dargestellten Beispiel ist eine Typschlüsselposition in der Praxis häufig nicht einem einzelnen Merkmal, sondern mehreren Merkmalen zugeordnet. Ein Zeichen bzw. eine Zeichenfolge ist in der Konsequenz nicht einer einzelnen Merkmalsausprägung, sondern einer bestimmten Kombination von Merkmalsausprägungen zugeordnet. Der Grund für diesen Umstand ist wiederum in der begrenzten Stellenzahl zu suchen. Zuweilen liegt die derartige Zusammenfassung von Eigenschaften jedoch auch darin begründet, dass man glaubt, keine detailliertere Beschreibung zu brauchen. Um sie der weiterführenden Analyse zugänglich zu machen, müssen die in einem Typschlüssel codierten Eigenschaften jedoch vollständig zerlegt werden. Dazu sind folgende drei Schritte notwendig:

- die Aufnahme sämtlicher Typschlüsselausprägungen,
- die Aufnahme sämtlicher darin codierter Eigenschaften sowie
- die vollständige Zuordnung der Eigenschaften zu den Typschlüsselausprägungen.

Zur Durchführung der drei Schritte hat sich die in Abbildung 3-15 dargestellte Tabelle bewährt. Ihre Zeilen entsprechen den an einer bestimmten Position zulässigen, auch als Typschlüsselausprägungen bezeichneten, Zeichen bzw. Zeichenfolgen und damit den zulässigen Eigenschaftskombinationen. Jede ihrer Spalten entspricht hingegen genau einer Merkmalsausprägung, sodass nur ein einziger Zelleintrag (vorzugsweise „X“) benötigt wird, dessen Bedeutung mit „umfasst“ oder „kombiniert“ umschrieben werden kann. Die Typschlüsselausprägung „N“ des Beispiels in Abbildung 3-15 „umfasst“ oder „kombiniert“ demnach die vier Eigenschaften „Zulaufanschluss-Position radial“, „Zulaufanschluss-Gewinde M10“, „Rücklaufanschluss-Position radial“ und „Rücklaufanschluss-Gewinde M10“.

		Zulaufanschluss					Rücklaufanschluss				
		Position		Gewinde			Position		Gewinde		
		axial	radial	M10	M12	M14	axial	radial	M10	M12	M14
Typschlüsselausprägung	K	X		X			X		X		
	L	X			X		X			X	
	M	X				X	X				X
	N		X	X				X	X		
	O		X		X			X			
	P		X			X		X		X	X
	...										

Abbildung 3-15 Zerlegung von Typschlüsselausprägungen in einzelne Eigenschaften (Merkmale und Ausprägungen)

Bei der Aufnahme der Typschlüsselausprägungen ist darauf zu achten, dass es Typschlüsselausprägungen geben kann, die (zum Zwecke der Kundensteuerung) nicht veröffentlicht werden, aber dennoch zulässig sind und folglich mit betrachtet werden müssen. Informationen über derartige Typschlüsselausprägungen finden sich in internen Datenblättern und Katalogen oder sonstigen Vertriebsdokumenten.

Der Typschlüssel ist darüber hinaus, wie bereits dargelegt, aus verschiedenen anderen Gründen in der Regel nicht vollständig, d. h. er enthält nicht alle Eigenschaften, die eine Produktvariante eindeutig beschreiben. In der Praxis gibt es eine Vielzahl von Ansätzen zur Codierung zusätzlicher Eigenschaften, die z. T. sehr komplex sind und deren Decodierung einen erheblichen Zusatzaufwand erfordert. Da die meisten dieser Ansätze unternehmensspezifisch sind, ist eine Darstellung an dieser Stelle weder möglich noch sinnvoll. Ein Ansatz, der nicht nur in Ergänzung zu Typschlüsseln weite Verbreitung gefunden hat und daher näher betrachtet werden soll, ist die Beschreibung bzw. Hinterlegung von Eigenschaften mittels Sachmerkmalsleisten (SML).

Bei SML handelt es sich um Tabellen, die (vordefinierte) Produkteigenschaften enthalten. Jede Spalte einer SML entspricht dabei einem (Sach-)Merkmal, die Einträge in einer Spalte den zugehörigen Ausprägungen. Die so beschriebenen Eigenschaften können im PDM⁴⁷- oder ERP⁴⁸-System eines Unternehmens mit den angebotenen Artikeln verknüpft werden. Die Beschreibung von Eigenschaften in SML unterliegt jedoch nur selten Regeln und noch seltener entsprechenden Überprüfungen und ist mitunter ungeeignet für direkte weiterführende Betrachtungen. So kann z. B. die Farbe von Produktvarianten durch das Merkmal „Farbe“ und die Ausprägungen „Rot“, „Grün“, „Blau“ etc. beschrieben werden. Andererseits kann sie durch die Merkmale „Rot“, „Grün“, „Blau“ etc. und jeweils die Ausprägungen „ja“ und „nein“ beschrieben werden. Jede Art der Beschreibung hat bestimmte Vor- und Nachteile, wie etwa die Anzahl der benötigten Merkmale (und damit Spalten in der SML) oder die Möglich-

⁴⁷ Product Data Management

⁴⁸ Enterprise Resource Planning

keit widersprüchliche Angaben zu machen (z. B. „Rot“ und „Blau“ gleichzeitig auszuwählen). Welche Art der Beschreibung sinnvoll ist, kann jedoch ausschließlich im Kontext einer konkreten Anwendung beurteilt werden. Unabhängig von deren Beschreibung, können zudem, wie bei der Definition von Typschlüsseln, mehrere Eigenschaften zu einer zusammengefasst werden. Hinter den Modellbezeichnungen von Automobilen verbergen sich z. B. in aller Regel mehrere Eigenschaften, wie die Baureihe, der Hubraum, die Kraftstoffart u. a. Bevor vorliegende Beschreibungen weiterverwendet werden können, gilt es diese also u. U. zusammenzufassen oder aufzuteilen. Werden SML zur Dokumentation von Eigenschaften verwendet, ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese direkt weiterverwendet werden können bzw. dass der benötigte Aufbereitungsaufwand überschaubar bleibt jedoch am größten.

Neben dem Fall, dass Eigenschaften und deren Kombinationen vollständig dokumentiert sind und direkt weiterverwendet werden können und dem Fall, dass sie teilweise dokumentiert sind und nach Aufbereitung weiterverwendet werden können, gibt es auch den Fall, dass Eigenschaften und deren Kombinationen vollständig unbekannt sind. Als vollständig unbekannt gelten in diesem Kontext auch Eigenschaften, die ausschließlich implizit bzw. nicht zugänglich dokumentiert sind (z. B. Abmessungen in technischen Zeichnungen). In einem solchen Fall wäre die vollständige „manuelle“ Aufnahme unumgänglich. Die nachträgliche Definition von Produkteigenschaften, vor allem aber deren nachträgliche Zuordnung zu den verkauften Produktvarianten gestaltet sich jedoch so aufwendig, dass man sie für realistische Betrachtungsumfänge kaum durchführen würde. Zudem widerspräche sie dem Grundgedanken dieser Arbeit, nämlich *vorhandene* Daten einem umfassenden Variantenmanagement zugänglich zu machen, sodass sie nicht weiter betrachtet wird.

Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass die systematische und vollständige Auflösung bzw. Aufnahme von Produkteigenschaften in Unternehmen bzw. Unternehmensbereichen, in denen diese bisher nie durchgeführt wurde, allein zu einem erheblichen Erkenntnisgewinn führen kann.

Problemspezifische Auswahl von Eigenschaften

Liegen die Eigenschaften in Form von eindeutigen Merkmalen und Ausprägungen vor, gilt es eine problemspezifische Auswahl zu treffen, also diejenigen Merkmale auszuwählen, die es im Kontext der jeweiligen Problemstellung zu berücksichtigen gilt (Abbildung 3-16). Die zugehörigen Ausprägungen bedürfen keiner Auswahl, da sie grundsätzlich vollständig zu betrachten sind. Die Auswahl der tatsächlich zu betrachtenden Eigenschaften generiert zumeist wenig Arbeitsaufwand. Sie gestaltet sich jedoch oft iterativ, erfordert mitunter ausgiebige Diskussionen und bestimmt maßgeblich alle nachfolgend benötigten Arbeitsaufwände – deshalb gilt ihr besonderes Augenmerk. Dabei hat der Betrachtungsumfang nicht nur erheblichen Einfluss auf die benötigten Arbeitsaufwände, sondern auch auf die Komplexität der durchzuführenden Analysen und die Performance der einzusetzenden Software-Werkzeuge. Tatsächlich kann ein zu großer Betrachtungsumfang die Beherrschbarkeitsgrenze von Mensch und Maschine sogar schnell sprengen. Daher ist es nicht angeraten, den Betrachtungsumfang im Zweifelsfall einfach auszuweiten.

Die problemspezifische Auswahl von Eigenschaften ist und bleibt jedoch ein Kompromiss zwischen den benötigten Ressourcen auf der einen Seite und der erzielbaren Ergebnisgüte auf

der anderen. Alle Eigenschaften, deren Analyse (voraussichtlich) keinen Beitrag zur Beantwortung der vorliegenden Fragestellungen leisten, sollten demnach unberücksichtigt bleiben. So wird beispielsweise die Farbe der Lackierung vieler Produkte, obwohl sie eine klar zu fassende und zudem kundenwerte Eigenschaft darstellt, oft nicht betrachtet, weil sie lediglich zu Prozessvarianz führt.

Merkmal A	Ausprägung A
	Ausprägung B
Merkmal B	Ausprägung A
	Ausprägung B
	Ausprägung C
Merkmal C	Ausprägung A
	Ausprägung B
Merkmal D	Ausprägung A
	Ausprägung B
	Ausprägung C
Merkmal E	Ausprägung A
	Ausprägung B
Merkmal ...	

Abbildung 3-16 Problemspezifische Auswahl von Eigenschaften

In einigen Fällen finden sich unterschiedliche Beschreibungen derselben Eigenschaften in den verfügbaren Quellen. Der Grund dafür liegt in der inkonsequenten Unterscheidung von Kunden- und Techniksicht. So werden einerseits die für den Kunden sichtbaren und von ihm verlangten Eigenschaften beschrieben (z. B. die Beständigkeit gegen bestimmte Chemikalien) und andererseits technische Eigenschaften zu deren Realisierung (z. B. das Vorhandensein bestimmter Beschichtungen). Derartige Redundanzen gilt es im Rahmen der problemspezifischen Auswahl von Eigenschaften zu identifizieren und auszuräumen.

Überführung der ausgewählten Eigenschaften in ein vorgegebenes Format

Die ausgewählten Eigenschaften müssen zur Vorbereitung auf deren Weiterverwendung in den nachfolgenden Phasen in ein einheitliches Format überführt werden. Die Überführung in das vorgegebene Format umfasst dabei auch die Verknüpfung der problemspezifischen Auswahl von Eigenschaften mit der problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten. Abbildung 3-17 zeigt die dazu verwendete Produktvarianten-Eigenschaften-DMM.

	Merkmal A		Merkmal B			Merkmal C		Merkmal D			Merkmal E		Merkmal ...
	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung C	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung C	Ausprägung A	Ausprägung B	
Produktvariante A	1			1		1				1		1	
Produktvariante B		1		1			1		1			1	
Produktvariante C		1			1		1	1					1
Produktvariante D		1	1				1			1		1	
Produktvariante E	1		1				1			1		1	
Produktvariante F	1		1					1		1			1
Produktvariante ...													

Produktvariante C weist Merkmal E in der Ausprägung B auf

Abbildung 3-17 Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten in der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM

Die Produktvarianten-Eigenschaften-DMM ist ähnlich aufgebaut wie die zuvor beschriebene Tabelle zur Auflösung von Typschlüsselausprägungen. Die Spalten der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM entsprechen den vollständig aufgelösten Eigenschaften, ihre Zeilen den einzelnen Produktvarianten. Der einzig zulässige Zelleintrag „1“ ordnet einer Produktvariante eindeutig eine Eigenschaft zu.

Der Aufbau der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM hat den Nachteil, dass einer Produktvariante unterschiedliche Ausprägungen desselben Merkmals zugeordnet werden können, sie also widersprüchliche Ausprägungskombinationen enthalten kann. Dieser Nachteil ist jedoch zugunsten der direkten Weiterverwendung der Informationen in Kauf zu nehmen und kommt zudem ausschließlich bei der manuellen Überführung zum Tragen.

Ein Vorteil des Aufbaus der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM besteht darin, dass die Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten in vielen Unternehmen mittels Tabellen erfolgt, die einen ähnlichen Aufbau aufweisen. Der Aufwand zur Überführung ist daher, selbst wenn diese manuell zu erfolgen hat, oft gering. Viel wichtiger ist in diesem Zusammenhang jedoch, dass Informationen zu den Eigenschaften von Produktvarianten zumeist in Datenbanken gespeichert sind. Die benötigten Berechtigungen vorausgesetzt, lassen sich die in Datenbanken gespeicherten Informationen automatisiert in Tabellen beliebigen Aufbaus exportieren. Folglich sind Fehlzuordnungen ausgeschlossen und der Aufwand ist noch geringer bzw. beschränkt sich auf die einmalige Implementierung einer entsprechenden Exportfunktion.

Ergebnis der Phase „Zu betrachtende Eigenschaften ermitteln“ ist die **problemspezifische Auswahl vollständig aufgelöster Eigenschaften** sowie deren Zuordnung zur problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten in der **Produktvarianten-Eigenschaften-DMM**.

3.2.4 Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten ermitteln

Die Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten stellen die Ausgangsinformationen zur Ermittlung der Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaften in der nachfolgenden Phase dar. Basierend auf den Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaften können wiederum die Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaftskombinationen (Kombinationshäufigkeiten der Eigenschaften) ermittelt werden, die zentraler Betrachtungsgegenstand der anschließenden Analysen sind.

Um die Verkaufshäufigkeiten von Eigenschaften zu ermitteln, bedarf es zweierlei Informationen: der Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten („Welche Produktvariante hat welche Eigenschaften?“) und die Zuordnung von Verkaufshäufigkeiten zu Produktvarianten („Welche Produktvariante wurde wie oft verkauft?“). Liegen beide Informationen vor, können die Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten direkt auf deren Eigenschaften übertragen werden. Gleiches gilt, wie in Abbildung 3-18 dargestellt, natürlich auch für die in den Produktvarianten enthaltenen Komponenten. Der genaue Ablauf der Übertragung von Verkaufshäufigkeiten ganzer Produktvariantenspektren ist in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

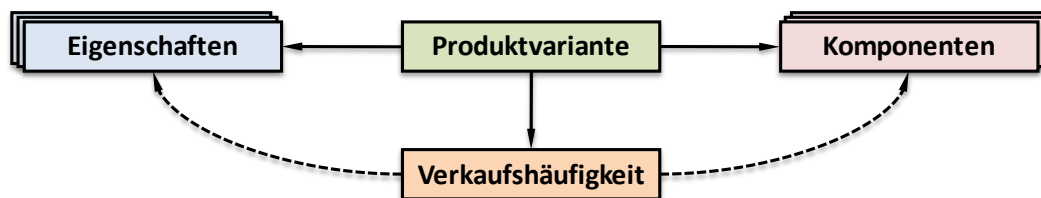


Abbildung 3-18 Übertragen der Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten auf deren Eigenschaften und Komponenten

Die Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten wurde in der vorangegangenen Phase durchgeführt und liegt in Form der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM vor. In dieser Phase gilt es nun die Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten zu ermitteln. Dabei stellt die Ermittlung insofern keine Herausforderung dar, als Informationen zu Verkaufshäufigkeiten in nahezu allen Unternehmen vorliegen und lediglich aus entsprechenden Software-Systemen extrahiert werden müssen. Jedoch ist es auch in diesem Fall wahrscheinlich, dass die Informationen über verschiedene Standorte etc. verteilt sind und daher aus verschiedenen Informationsquellen zusammengetragen werden müssen. Natürlich bedeuten unterschiedliche Informationsquellen, neben unterschiedlichen Software-Systemen und Datenformaten, oftmals auch unterschiedliche Informationsgüte. Hinzu kommt, dass die Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten nicht zwangsläufig in aggregierter Form vorliegen. Bedient man sich z. B. Bestelldaten, ist davon auszugehen, dass ausschließlich die Verkaufshäufigkeiten pro Bestellung dokumentiert sind. Die Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten, die in verschiedenen Be-

stellungen enthalten sind, müssen folglich erst addiert werden. Zwar bieten viele Software-Systeme Möglichkeiten, diesen Schritt zu automatisieren. Abhängig von den zu Verfügung stehenden Ressourcen und Berechtigungen können diese Möglichkeiten jedoch nicht immer genutzt werden. Es kann also ein durchaus nennenswerter Aufwand zur Überprüfung, Aufbereitung und Zusammenführung der Informationen notwendig sein. Andererseits verfügen Abteilungen wie das Produktmanagement z. T. bereits über entsprechend aufbereitete Informationen, die (nahezu) unverändert weiterverwendet werden können. Zum Zwecke der Aufwandsreduktion sollte im ersten Schritt daher immer geklärt werden, ob dies der Fall ist.

Unabhängig davon, welcher Informationsquellen man sich bedienen kann bzw. muss und wie groß der benötigte Aufbereitungsaufwand ist, müssen die Verkaufshäufigkeiten der problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten in die in Abbildung 3-19 dargestellte Form überführt werden.

	Verkaufshäufigkeiten
Produktvariante A	25
Produktvariante B	13
Produktvariante C	7
Produktvariante D	48
Produktvariante E	19
Produktvariante F	32
Produktvariante ...	

Produktvariante C wurde 7-mal verkauft

Abbildung 3-19 Verkaufshäufigkeiten der problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten

Der vorliegende Ansatz ermöglicht neben der Verwendung absoluter Verkaufshäufigkeiten auch die Verwendung relativer Verkaufshäufigkeiten. Dabei gibt es im Wesentlichen drei Umstände, die die Verwendung relativer Verkaufshäufigkeiten rechtfertigen oder sogar erfordern:

- Relative Verkaufshäufigkeiten liegen, im Gegensatz zu absoluten Verkaufshäufigkeiten, in weit gehend aufbereiteter Form vor (Aufwandsminimierung).
- Absolute Häufigkeiten lassen sich nicht (mit vertretbarem Aufwand) ermitteln, so dass man sich auf Schätzungen berufen muss, deren Genauigkeit ohnehin stark begrenzt ist.
- Unternehmen bzw. Unternehmensbereiche lehnen die Herausgabe absoluter Verkaufshäufigkeiten an Außenstehende (aus Geheimhaltungsgründen) ab.

Da bei der späteren Berechnung der Kombinationshäufigkeiten von Eigenschaften auch absolute Werte in relative umgewandelt werden, ist es letztlich unerheblich, ob relative oder absolute Verkaufshäufigkeiten als Ausgangsinformationen verwendet werden. Absolute Verkaufshäufigkeiten sollten, falls möglich, jedoch bevorzugt werden, da sie letztendlich einen höheren Informationsgehalt aufweisen.

Ein Zusammenhang, der trivial aber wichtig ist, sollte an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben: Die Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten können selbstverständlich nur dann gezielt und zuverlässig ermittelt werden, wenn klar ist, für welche Produktvarianten sie ermittelt werden müssen. Die klare und vorherige Festlegung der zu betrachtenden Produktvarianten ist demnach auch für die Ermittlung der Verkaufshäufigkeiten eine wesentliche Voraussetzung.

Eine andere Voraussetzung, die spätestens an dieser Stelle geschaffen werden muss, ist die Festlegung des Betrachtungszeitraums, denn Verkaufshäufigkeiten beziehen sich immer auf einen bestimmten Zeitraum – selbst wenn mit Prognosen gearbeitet wird. Auch bei der Festlegung des Betrachtungszeitraums ist darauf zu achten, dass die Güte der zur Verfügung stehenden Informationen über den gesamten Zeitraum einheitlich sein muss.

*Ergebnis der Phase „Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten ermitteln“ sind die **absoluten oder relativen Verkaufshäufigkeiten der problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten.***

3.2.5 Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaften berechnen

Liegen die Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten und die Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten (in Form der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM) vor, können die Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaften ermittelt werden. Dazu wird die Produktvarianten-Eigenschaften-DMM im ersten Schritt zeilenweise mit den Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten gewichtet (Abbildung 3-20). Die resultierende Matrix wird deshalb als gewichtete Produktvarianten-Eigenschaften-DMM bezeichnet.

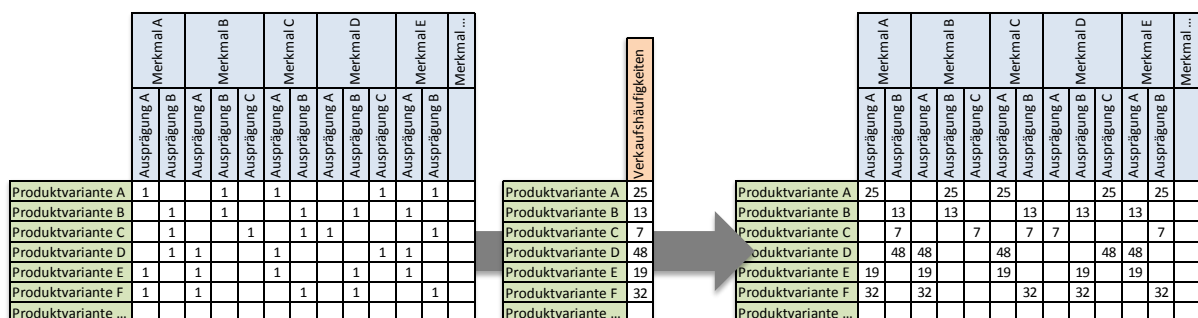


Abbildung 3-20 Herunterbrechen der Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten auf Eigenschaften durch zeilenweise Gewichtung der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM

Im Hinblick auf die u. U. gewünschte oder erforderliche Automatisierung dieses Schritts ist es sinnvoll die Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten in Form einer DSM darzustellen. Die

Zeilen bzw. Spalten dieser speziellen Produktvarianten-DSM entsprechen den Produktvarianten. Die Zellen auf der Diagonalen der DSM sind die einzigen, die Einträge enthalten. Die Einträge selbst sind die Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten, denen die jeweiligen Zeilen und Spalten entsprechen (Abbildung 3-21). Der Vorteil dieser Repräsentationsform besteht darin, dass die zeilenweise Gewichtung der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM durch eine einfache Multiplikation der speziellen Produktvarianten-DSM mit der Produktvarianten-Eigenschaften-DMM erreicht werden kann (Formel 1).

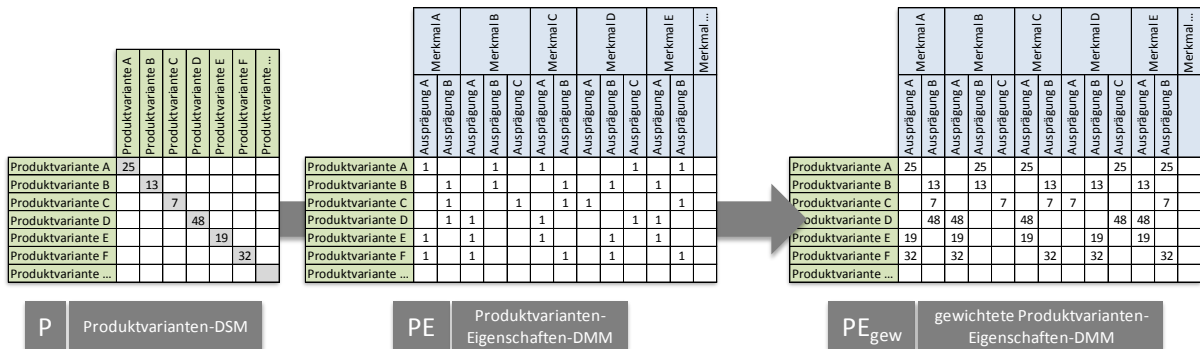


Abbildung 3-21 Herunterbrechen der Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten auf Eigenschaften durch Matrix-Multiplikation

$$P \cdot PE = PE_{gew}$$

- P: Produktvarianten-DSM
- PE: Produktvarianten-Eigenschaften-DMM
- PE_{gew}: gewichtete Produktvarianten-Eigenschaften-DMM

Formel 1

Die gewichtete Produktvarianten-Eigenschaften-DMM enthält an Stelle des einzigen Eintrags „1“ die Verkaufshäufigkeiten der Produktvariante, die der jeweiligen Zeile entspricht. Die Aussage des Eintrags „i“ in der gewichteten Produktvarianten-Eigenschaften-DMM ist: „Produktvariante A enthält Eigenschaft A und wurde i-mal verkauft.“ Die Verkaufshäufigkeit einer Eigenschaft entspricht der Summe aller Einträge in der zugehörigen Spalte. Um die Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaften zu ermitteln werden daher im zweiten Schritt die Spaltensummen der gewichteten Produktvarianten-Eigenschaften-DMM gebildet. Sind die Merkmale und Ausprägungen so definiert, dass jede Produktvariante über eine Ausprägung jedes Merkmals verfügt (vgl. Abschnitt 3.1.2), so sind die Spaltensummen aller Merkmalsblöcke identisch und entsprechen genau der Gesamtzahl der zu betrachtenden Produktvarianten (Abbildung 3-22).

	Merkmal A		Merkmal B			Merkmal C		Merkmal D			Merkmal E		Merkmal ...
	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung C	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung C	Ausprägung A	Ausprägung B	
Produktvariante A	25			25		25					25	25	
Produktvariante B		13		13			13		13			13	
Produktvariante C		7			7		7	7					7
Produktvariante D		48	48			48				48	48		
Produktvariante E	19		19			19			19		19		
Produktvariante F	32		32				32	32					32
Produktvariante ...													

Produktvariante C weist Merkmal E in der Ausprägung B auf und wurde 7-mal verkauft

Verkaufshäufigkeiten	76	68	99	38	7	92	52	7	64	73	80	64
		144		144			144		144		144	

Merkmal E wurde 64-mal in der Ausprägung B verkauft

Abbildung 3-22 Verkaufshäufigkeiten der problemspezifischen Auswahl von Eigenschaften in der gewichteten Produktvarianten-Eigenschaften-DMM

Die Verkaufshäufigkeiten der einzelnen Eigenschaften fallen auch bei der anschließenden Berechnung der Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaftskombinationen ab und sind im Hinblick auf die durchzuführenden Analysen von untergeordnetem Interesse, sodass auf den zweiten der beiden oben beschriebenen Schritte verzichtet werden kann. Die Ermittlung der Verkaufshäufigkeiten auf Merkmalsebene kann jedoch zur frühzeitigen Konsistenzprüfung genutzt werden. Außerdem ist die Diskussion der Verkaufshäufigkeiten der einzelnen Eigenschaften in aller Regel lohnenswert, denn sie weichen erfahrungsgemäß deutlich von den Erwartungen ab. Allein durch diesen Erkenntnisgewinn kann eine Objektivierung der Produktprogrammplanung erreicht werden. Der erste der beiden oben beschriebenen Schritte ist notwendige Voraussetzung zur anschließenden Berechnung der Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaftskombinationen (Kombinationshäufigkeiten der Eigenschaften).

*Ergebnis der Phase „Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaften ermitteln“ sind die **absoluten oder relativen Verkaufshäufigkeiten der problemspezifischen Auswahl von Eigenschaften** in Form der **gewichteten Produktvarianten-Eigenschaften-DMM**.*

3.2.6 Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaftskombinationen berechnen

Die in der vorangegangenen Phase erstellte gewichtete Produktvarianten-Eigenschaften-DMM enthält alle Informationen, die zur Berechnung der Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaftskombinationen benötigt werden. Die Berechnung erfolgt erneut mittels Matrix-

Multiplikation. Dazu wird die Transponierte der nicht gewichteten Produktvarianten-Eigenschaften-DMM mit der gewichteten Produktvarianten-Eigenschaften-DMM multipliziert (Abbildung 3-23/Formel 2). Hier zeigt sich ein wesentlicher Vorteil der Matrixnotation: Die Verkaufshäufigkeiten sämtlicher Eigenschaftenkombinationen eines egal wie umfangreichen Produktvariantenspektrums können in einem einzigen Schritt und mittels einer Standardoperation berechnet werden. Das Ergebnis dieser Operation ist die Eigenschaften-DSM, deren grundsätzlicher Aufbau und Inhalt (unter der Bezeichnung *aggregierte* Eigenschaften-DSM) bereits in Abschnitt 3.1.4 erläutert worden ist.

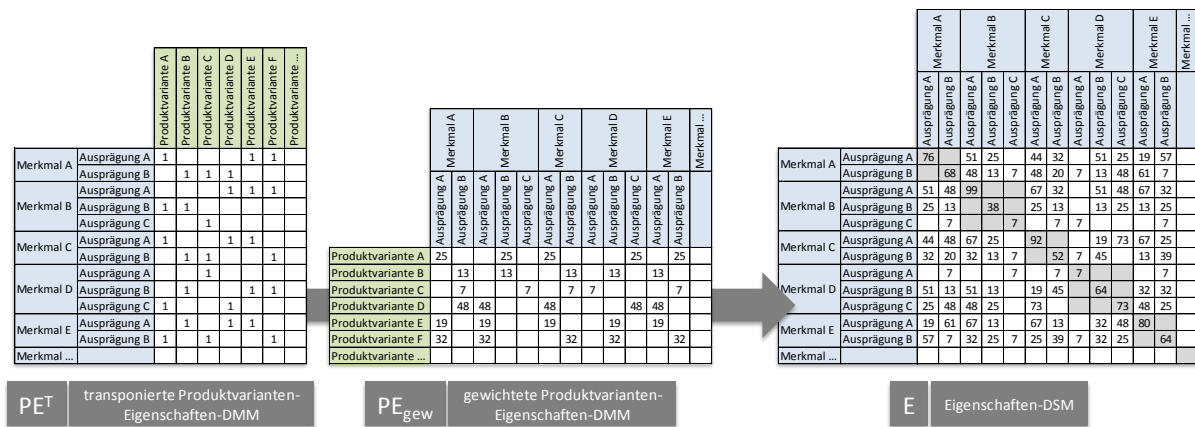


Abbildung 3-23 Berechnung der Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaftenkombinationen durch Matrix-Multiplikation

$$PE^T \cdot PE_{gew} = E$$

- PE: Produktvarianten-Eigenschaften-DMM
- PE_{gew}: gewichtete Produktvarianten-Eigenschaften-DMM
- E: Eigenschaften-DSM

Formel 2

Die Eigenschaften-DSM enthält die absoluten oder relativen Verkaufshäufigkeiten aller vorhandenen Zweierkombinationen der Eigenschaften (abhängig davon, ob absolute oder relative Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten zur Berechnung herangezogen wurden). Der Eintrag „x“ in der Eigenschaften-DSM bedeutet: „Eigenschaft A und Eigenschaft B wurden in x (Prozent der) Produktvarianten miteinander kombiniert.“ Dabei ist der Eintrag in der Zelle, die Eigenschaft A (Zeile) mit Eigenschaft B (Spalte) verbindet identisch mit dem in der Zelle, die Eigenschaft B (Zeile) mit Eigenschaft A (Spalte) verbindet (Abbildung 3-24). Der Informationsgehalt der Eigenschaften-DSM ist also unabhängig von der Leserichtung („Zeile auf Spalte“ oder „Spalte auf Zeile“), was sich mit der Durchführung des anschließenden Schrittes ändert.

		Merkmal A		Merkmal B			Merkmal C		Merkmal D			Merkmal E		Merkmal ...
		Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung C	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung C	Ausprägung A	Ausprägung B	
Merkmal A	Ausprägung A	76		51	25		44	32		51	25	19	57	
	Ausprägung B		68	48	13	7	48	20	7	13	48	61	7	
Merkmal B	Ausprägung A	51	48	99			67	32		51	48	67	32	
	Ausprägung B	25	13		38		25	13		13	25	13	25	
	Ausprägung C		7			7		7	7				7	
Merkmal C	Ausprägung A	44	48	67	25		92			19	73	67	25	
	Ausprägung B	32	20	32	13	7		52	7	45		13	39	
Merkmal D	Ausprägung A		7			7		7	7				7	
	Ausprägung B	51	13	51	13		19	45		64		32	32	
	Ausprägung C	25	48	48	25		73				73	48	25	
Merkmal E	Ausprägung A	19	61	67	13		67	13		32	48	80		
	Ausprägung B	57	7	32	25	7	25	39	7	32	25		64	
Merkmal ...														

Merkmal D in der Ausprägung C wurde 25-mal in Kombination mit Merkmal E in der Ausprägung B verkauft

Merkmal E wurde 64-mal in der Ausprägung B verkauft

Abbildung 3-24 Eigenschaftenkombinationen und deren absolute oder relative Verkaufshäufigkeiten in der Eigenschaften-DSM

Die Zellen auf der Diagonalen der Matrix enthalten die Verkaufshäufigkeiten der einzelnen Eigenschaften. Da unterschiedliche Ausprägungen desselben Merkmals per Definition nicht miteinander kombiniert werden können, bilden sich Blöcke um die Matrixdiagonale, die keine Einträge enthalten können und daher ausgegraut werden. Die Summe der Verkaufshäufigkeiten innerhalb eines grauen Blocks ist immer gleich und entspricht immer der Anzahl der betrachteten Produktvarianten (bei entsprechender Modellierung der Eigenschaften).

Die Eigenschaften-DSM gibt Auskunft darüber, in wie vielen Produktvarianten bzw. in wie viel Prozent der Produktvarianten zwei beliebige Eigenschaften miteinander kombiniert wurden. Bezieht man diese Information nun auf die Anzahl bzw. den Anteil der Produktvarianten, die eine der beiden einzelnen Eigenschaften aufweisen, erhält man folgende Wenn-dann-Aussage: „x Prozent aller Produktvarianten, die Eigenschaft A aufweisen, weisen auch Eigenschaft B auf.“ Um diese Aussage für alle Zweierkombinationen der Eigenschaften zu ermitteln, wird die Eigenschaften-DSM zeilenweise normiert. Dazu werden alle Einträge einer Zeile durch den Eintrag auf der Diagonalen der Matrix dividiert. Anders ausgedrückt werden die Verkaufshäufigkeiten aller Zweierkombinationen, die Eigenschaft A enthalten durch die Verkaufshäufigkeit der Eigenschaft A selbst dividiert. Die zeilenweise Normierung führt dazu, dass der Informationsgehalt der Eigenschaften-DSM von der Leserichtung abhängig ist und dass nur noch die Leserichtung „Zeile auf Spalte“ zulässig ist (Abbildung 3-25).

		Merkmal A		Merkmal B			Merkmal C		Merkmal D			Merkmal E		Merkmal ...
		Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung C	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung A	Ausprägung B	Ausprägung C	Ausprägung A	Ausprägung B	
Merkmal A	Ausprägung A	100		67	33		58	42		67	33	25	75	
	Ausprägung B		100	71	19	10	71	29	10	19	71	90	10	
Merkmal B	Ausprägung A	52	48	100			68	32		52	48	68	32	
	Ausprägung B	66	34		100		66	34		34	66	34	66	
	Ausprägung C		100			100		100	100				100	
Merkmal C	Ausprägung A	48	52	73	27		100			21	79	73	27	
	Ausprägung B	62	38	62	25	13		100	13	87		25	75	
Merkmal D	Ausprägung A		100			100		100	100				100	
	Ausprägung B	80	20	80	20		30	70		100		50	50	
	Ausprägung C	34	66	66	34		100				100	66	34	
Merkmal E	Ausprägung A	24	76	84	16		84	16		40	60	100		
	Ausprägung B	89	11	50	39	11	39	61	11	50	39		100	
Merkmal ...														

Wenn Merkmal D in der Ausprägung C verkauft wurde, wurde in 34 % der Fälle Merkmal E in der Ausprägung B verkauft

Wenn Merkmal E in der Ausprägung B verkauft wurde, wurde in 39 % der Fälle Merkmal D in der Ausprägung C verkauft

Abbildung 3-25 Eigenschaftenkombinationen und deren relative Verkaufshäufigkeiten in der normierten Eigenschaften-DSM

Durch die Normierung nimmt die Eigenschaften-DSM ihre endgültige Gestalt an. Aufgrund der dabei durchgeführten Divisionen enthält die normierte Eigenschaften-DSM immer und ausschließlich relative Werte – unabhängig davon, ob absolute oder relative Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten zugrunde liegen. Der Eintrag „x“ in der zeilenweise zu lesenden normierte Eigenschaften-DSM bedeutet folglich: „x Prozent der Produktvarianten, die Eigenschaft A (Eigenschaft in der Zeile) aufweisen, weisen auch Eigenschaft B (Eigenschaft in der Spalte) auf.“ In der Praxis kann diese Aussage zumeist mit folgender gleichgesetzt werden: „x Prozent der Kunden, die Eigenschaft A gekauft (und mutmaßlich verlangt) haben, haben auch Eigenschaft B gekauft (und mutmaßlich verlangt).“ Dabei gilt es zu bedenken, dass komplementäre Zelleinträge nun erstmals voneinander abweichen können und in aller Regel werden (vgl. Abbildung 3-25). Die Einträge auf der Diagonalen der Matrix müssen immer genau 100 Prozent entsprechen. Ihre Darstellung ist nicht notwendig, kann aber zu Kontrollzwecken sinnvoll sein.

Die normierte Eigenschaften-DSM bildet die Grundlage zur Identifikation von Bereichen extremer bzw. homogener Kombinationshäufigkeiten in der nächsten Phase.

Ergebnis der Phase „Verkaufshäufigkeiten der Eigenschaftskombinationen ermitteln“ sind die relativen Verkaufshäufigkeiten sämtlicher Zweierkombinationen von Eigenschaften der problemspezifischen Auswahl in Form der normierten Eigenschaften-DSM.

3.2.7 Signifikante Eigenschaftskombinationen identifizieren

Die normierte Eigenschaften-DSM bildet die Grundlage zur Analyse des Gesamtspektrums der Eigenschaftskombinationen, d. h. zur Identifikation von Bereichen extremer bzw. homogener Kombinationshäufigkeiten. Dabei können sowohl

- die Kombinationshäufigkeiten *zweier* Eigenschaften als auch
- die Kombinationshäufigkeiten *mehrerer* Eigenschaften

betrachtet werden. Diese Art der Unterteilung ist sinnvoll, weil unterschiedliche Verfahren zur Identifikation signifikanter Eigenschaftskombinationen benötigt werden, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Kombinationshäufigkeiten zweier Eigenschaften

In der normierten Eigenschaften-DSM können diejenigen Kombinationen zweier Eigenschaften identifiziert werden, die besonders häufig oder selten nachgefragt wurden. Basierend darauf können systematisch Kombinationsregeln, also Zwänge und Verbote bei der Kombination von Eigenschaften, abgeleitet werden, um das Produktprogramm an die Kundennachfrage anzupassen oder aber die Kundennachfrage in eine bestimmte Richtung zu lenken.

Die Identifikation besonders häufig bzw. selten nachgefragter Zweierkombinationen von Eigenschaften ist nichts anderes als die Identifikation besonders hoher bzw. niedriger Zelleinträge in der normierten Eigenschaften-DSM. Allerdings wird diese Aufgabe dadurch erschwert, dass es immer zwei Zelleinträge pro Zweierkombination zu betrachten gilt – den Zelleintrag, der Eigenschaft A (Zeile) mit Eigenschaft B (Spalte) verknüpft und denjenigen, der Eigenschaft B (Zeile) mit Eigenschaft A (Spalte) verknüpft. Um die manuelle Identifikation zu erleichtern, können die Zellen in Abhängigkeit von ihren Einträgen eingefärbt werden, sodass besonders hohe bzw. niedrige Zelleinträge herausstechen. Abgesehen davon kann die Identifikation z. T. auch automatisiert werden.

Betrachtet man die Kombinationshäufigkeiten zweier Eigenschaften, lassen sich drei Konstellationen unterscheiden, die eine Anpassung des Produktprogramms bzw. Lenkung der Kundennachfrage durch Definition von Kombinationsregeln nahelegen.

Zwei Eigenschaften werden häufig miteinander kombiniert

Werden zwei Eigenschaften häufig miteinander kombiniert, weisen die beiden entsprechenden Zellen in der Eigenschaften-DSM einen hohen Wert auf (Abbildung 3-26). Dabei können sich die beiden Werte selbstverständlich unterscheiden, was in der Praxis sogar sehr wahrscheinlich ist. Das entscheidende Kriterium ist, dass beide Zellen einen hohen Wert aufweisen. Welche Werte als hoch gelten, ist im Einzelfall festzulegen. Gerade in umfangreichen Eigenschaftenspektren kann die Anzahl charakteristischer Zweierkombinationen sehr hoch

sein, sodass es sich empfiehlt einen Schwellenwert festzulegen und diesen, nach einer anfänglichen Extrembetrachtung, sukzessive herabzusetzen. Man beginnt also mit der Identifikation derjenigen Eigenschaftspaare, die immer miteinander kombiniert wurden und deren Zelleinträge daher genau 100 Prozent entsprechen. Anschließend werden z. B. diejenigen Eigenschaftspaare identifiziert, die in mindestens 99 Prozent der Fälle miteinander kombiniert wurden usw.

	Eigenschaft A	Eigenschaft B
Eigenschaft A		99
Eigenschaft B	99	

Abbildung 3-26 Häufig nachgefragte Zweierkombination von Eigenschaften in der normierten Eigenschaftens-DSM

Wurden zwei Eigenschaften immer miteinander kombiniert, gilt es zu prüfen, ob dies eine Folge unbeeinflusster Kundennachfrage ist oder ob bereits ein entsprechender Kombinationszwang besteht. Kombinationszwänge folgen dem Muster: „Wenn Eigenschaft A gewählt wird, muss auch Eigenschaft B gewählt werden – und umgekehrt.“ Besteht ein solcher Zwang, lassen die Kombinationshäufigkeiten keinerlei Aussage bezüglich der Kundennachfrage zu und müssen folglich ignoriert werden.

Zwei Eigenschaften werden selten miteinander kombiniert

Selten nachgefragte Zweierkombinationen von Eigenschaften stellen sich analog den häufig nachgefragten dar. Werden zwei Eigenschaften selten miteinander kombiniert, weisen die beiden entsprechenden Zellen in der Eigenschaftens-DSM einen niedrigen Wert auf (Abbildung 3-27). Dementsprechend gestaltet sich auch das Verfahren zur Identifikation selten nachgefragter Zweierkombinationen analog dem zur Identifikation häufig nachgefragter. Beginnend mit der Identifikation derjenigen Eigenschaftspaare, die nie miteinander kombiniert wurden, wird der Schwellenwert nun aber sukzessive heraufgesetzt.

	Eigenschaft A	Eigenschaft B
Eigenschaft A		1
Eigenschaft B	1	

Abbildung 3-27 Selten nachgefragte Zweierkombination von Eigenschaften in der normierten Eigenschaften-DSM

Wurden zwei Eigenschaften nie miteinander verkauft, kann dies ebenfalls eine Folge bestehender Kombinationsregeln, in diesem Fall von Kombinationsverboten, sein. Kombinationsverbote folgen dem Muster: „Wenn Eigenschaft A gewählt wird, darf Eigenschaft B nicht gewählt werden – und umgekehrt.“ Auch in diesem Fall gilt es also eine Prüfung durchzuführen und die entsprechenden Kombinationshäufigkeiten zu ignorieren.

Zwei Eigenschaften werden unterschiedlich oft miteinander kombiniert

Wie im vorangegangenen Abschnitt erläutert, enthalten die Zelleinträge der normierten Eigenschaften-DSM eine Wenn-dann-Aussage der Art: „Wenn Eigenschaft A (Zeile) gewählt wurde, wurde in x Prozent der Fälle auch Eigenschaft B (Spalte) gewählt.“ Diese Aussage lässt keinerlei Rückschlüsse auf den umgekehrten Fall zu, ist also vollkommen unabhängig von der Aussage „Wenn Eigenschaft B (Zeile) gewählt wurde, wurde in x Prozent der Fälle auch Eigenschaft A (Spalte) gewählt.“ Es kann also sein, dass eine Eigenschaft häufig bzw. selten mit einer anderen kombiniert wurde, aber nicht umgekehrt (Abbildung 3-28). Derartige Konstellationen sollten ebenfalls in Kombinationszwänge bzw. –verbote gefasst und daher identifiziert werden.

	Eigenschaft A	Eigenschaft B
Eigenschaft A		99
Eigenschaft B	1	

	Eigenschaft A	Eigenschaft B
Eigenschaft A		1
Eigenschaft B	99	

Abbildung 3-28 Unterschiedlich oft nachgefragte Zweierkombinationen von Eigenschaften in der normierten Eigenschaften-DSM

Auch unterschiedlich oft nachgefragte Zweierkombinationen von Eigenschaften können das Ergebnis bestehender Kombinationsregeln sein. Derartige Kombinationsregeln unterscheiden

sich von den bisher genannten darin, dass sie den Umkehrschluss nicht enthalten – egal ob es sich dabei um Zwänge oder Verbote handelt. Sie folgen also dem Muster: „Wenn Eigenschaft A bzw. B gewählt wird, muss auch Eigenschaft B bzw. A gewählt werden – aber nicht umgekehrt.“ bzw. „Wenn Eigenschaft A bzw. B gewählt wird, darf Eigenschaft B bzw. A nicht gewählt werden – aber nicht umgekehrt.“ Bestehen derartige Zwänge bzw. Verbote, müssen sie, wie alle anderen auch, bei der Identifikation charakteristischer Kombinationshäufigkeiten beachtet werden.

Kombinationshäufigkeiten mehrerer Eigenschaften

Betrachtet man, anders als zuvor, *alle* besonders hohen bzw. niedrigen Kombinationshäufigkeiten, lassen sich u. U. homogene Bereiche in der normierten Eigenschaften-DSM identifizieren. Blendet man alle nicht hohen bzw. niedrigen Einträge aus und/oder färbt man die Zellen in Abhängigkeit von deren Einträgen ein, stellen sich Bereiche homogener Kombinationshäufigkeiten in Form typischer Muster dar. Einige dieser Muster sind immer erkennbar, andere werden erst durch das systematische Umsortieren von Zeilen und Spalten erkennbar. Der Informationsgehalt einer DSM ändert sich nicht, solange die Reihenfolge der Zeilen und Spalten identisch bleibt. Zeilen und Spalten können also beliebig verschoben werden, solange dies synchron geschieht.

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Algorithmen zur Identifikation der verschiedenen bekannten Muster in DSM (und auch DMM) entwickelt. Das strukturelle Komplexitätsmanagement bezeichnet diese Muster allgemeiner als Strukturcharakteristika (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 119). Dabei stellen sich nicht alle Strukturcharakteristika eines Systems als (aus menschlicher Sicht) typische Muster in Matrizen dar und können daher nicht mittels matrixbasierter Ansätze identifiziert werden (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 122FF). In diesem Fall sind andere Repräsentationsformen und Analyseansätze, z. B. aus dem Bereich der Graphentheorie (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 226FF), zielführend. Da die Analyse von Eigenschaftenspektren jedoch ausschließlich auf der matrixbasierten Notation fußt, ist die Konzentration auf matrixbasierte Ansätze zur Identifikation struktureller Charakteristika möglich. Die Analyse von Eigenschaftenspektren stützt sich auf die im Folgenden beschriebene Identifikation von *Clustern*, die mehreren häufig bzw. selten miteinander kombinierten Eigenschaften entsprechen, sowie von *Bussen*, die häufig bzw. selten mit *allen* anderen kombinierten Eigenschaften entsprechen.

Mehrere Eigenschaften werden häufig oder selten miteinander kombiniert

Jede Kombination von n Eigenschaften lässt sich in $\frac{n^2-n}{2}$ Zweierkombinationen zerlegen und wird durch $n^2 - n$ Zellen in der normierten Eigenschaften-DSM repräsentiert. Werden mehrere Eigenschaften häufig oder selten miteinander kombiniert, weisen die Zellen sämtlicher aus diesen Eigenschaften zu bildenden Zweierkombinationen hohe oder niedrige Einträge auf. Verschiebt man die Zeilen und Spalten der miteinander kombinierten Eigenschaften so, dass sie über- bzw. nebeneinander zu liegen kommen und dieselbe Reihenfolge aufweisen, bilden die zugehörigen Zellen einen Block um die Diagonale der normierten Eigenschaften-DSM (Abbildung 3-29), der als (vollständig vernetzter) Cluster bezeichnet wird (MAURER 2007, S. 214).

	Eigenschaft A	Eigenschaft B	Eigenschaft C	Eigenschaft D	Eigenschaft E
Eigenschaft A		98	99	97	97
Eigenschaft B	97		99	92	96
Eigenschaft C	96	94		98	96
Eigenschaft D	98	96	97		98
Eigenschaft E	98	98	99	96	

Abbildung 3-29 Häufig nachgefragte Kombination von Eigenschaften in der normierten Eigenschaften-DSM

Die als Clustering bekannten Verfahren zur Identifikation von Clustern in Matrizen gehören zu den bekanntesten matrixbasierten Analyseverfahren. Die etablierten bzw. in etablierte Software-Werkzeuge integrierten Clustering-Algorithmen weisen jedoch einen gravierenden Nachteil auf: Sie unterscheiden lediglich Zellen mit Einträgen (sog. Kanten) und Zellen ohne Einträge und gruppieren diejenigen mit Einträgen um die Matrixdiagonale. Unterschiedliche Zelleinträge (meist als Gewichtungen bezeichnet) werden nicht berücksichtigt und können daher nicht für das Clustering herangezogen werden. Genau das ist bei der Analyse von Eigenschaftenspektren jedoch vonnöten. Erste Algorithmen zum Clustering von gewichteten Matrizen befinden sich zwar in der Entwicklung. Die Güte der damit erzielbaren Ergebnisse ist jedoch noch nicht ausreichend. Daher wurde folgender, pragmatischer Ansatz gewählt, um die normierte Eigenschaften-DSM vorhandenen Cluster-Algorithmen zugänglich zu machen: Alle Kombinationshäufigkeiten oberhalb eines individuell festzulegenden Schwellenwertes werden als Kanten interpretiert, alle darunterliegenden nicht. Ein zusätzlicher Vorteil dieses Ansatzes und ein Grund für dessen Verfolgung ist die Möglichkeit unterschiedliche Szenarien einfach und nachvollziehbar durchzuspielen und die Ergebnisse zu vergleichen.

Ein Cluster in der normierten Eigenschaften-DSM bedeutet, dass alle zugehörigen Eigenschaften oft oder sogar immer miteinander kombiniert wurden. Auch hier gilt es, kritisch zu hinterfragen, was die Ursache eines Clusters ist. Oft können Eigenschaften nämlich nur in Kombination mit *mehreren* anderen gewählt werden. Derartige Kombinationszwänge werden (dem Endverbraucher gegenüber) in der Regel als Ausstattungspakete, -linien o. ä. bezeichnet. Die Betrachtung bestehender Pakete, Linien etc. in der normierten Eigenschaften-DSM ist insbesondere hinsichtlich geeigneter Erweiterungen (zur Steuerung des Nachfrageverhaltens) sinnvoll.

Eine Eigenschaft wird häufig oder selten mit allen anderen kombiniert

Wird eine Eigenschaft häufig oder selten mit *allen* anderen kombiniert, sind *alle* Einträge in der entsprechenden Spalte hoch oder niedrig (Abbildung 3-30). Ausgehend davon, dass die Merkmale und Ausprägungen so definiert sind, dass jede Produktvariante über eine Ausprä-

gung jedes Merkmals verfügt (vgl. Abschnitt 3.1.2), kann es keine Zeilen geben, in denen alle Einträge hoch oder niedrig sind.

	Eigenschaft A		Eigenschaft A
Eigenschaft A		Eigenschaft A	
Eigenschaft B	99	Eigenschaft B	2
Eigenschaft C	96	Eigenschaft C	4
Eigenschaft D	98	Eigenschaft D	3
Eigenschaft E	99	Eigenschaft E	2
Eigenschaft F	97	Eigenschaft F	2
Eigenschaft G	97	Eigenschaft G	1
Eigenschaft H	99	Eigenschaft H	3
Eigenschaft I	98	Eigenschaft I	1
Eigenschaft J	96	Eigenschaft J	2

Abbildung 3-30 Häufig bzw. selten nachgefragte Eigenschaft in der normierten Eigenschaften-DSM

Die Identifikation von Eigenschaften, die häufig oder selten mit allen anderen kombiniert werden ist dann sinnvoll, wenn es darum geht, das Angebot an die Nachfrage anzupassen. So können die Ausprägungen bestimmter Merkmale vorgeben werden („Serienausstattungen“), wenn diese ohnehin häufig oder sogar immer ausgewählt werden. Andererseits können bestimmte Merkmalsausprägungen gestrichen werden, wenn diese ohnehin selten oder sogar niemals ausgewählt werden. Eigenschaften, die häufig oder selten mit allen anderen kombiniert werden sind also nichts anderes als Eigenschaften, die häufig oder selten nachgefragt werden. Die Identifikation derartiger Eigenschaften wäre z. B. auch in der gewichteten Produktvarianten-Eigenschaften-DMM (Abschnitt 3.2.5) möglich. Färbt man die Zellen der normierten Eigenschaft-DSM jedoch in Abhängigkeit von ihren Einträgen ein, stehen die Spalten besonders häufig bzw. selten nachgefragter Eigenschaften sehr stark heraus, weshalb sie hier erläutert werden.

Die automatisierte Identifikation häufig bzw. selten nachgefragter Eigenschaften basiert ebenfalls auf dem Konzept, Zelleinträge oberhalb bzw. unterhalb eines individuell festzulegenden Schwellenwerts als Kanten zu interpretieren, die die Knoten, also die Merkmalsausprägungen miteinander verbinden. Ausgehend davon können, mittels etablierter Algorithmen, all jene Knoten identifiziert werden, die eine vorgegebene Anzahl eingehender Kanten aufweisen. Die Anzahl der Kanten muss dabei genau der Anzahl der übrigen Merkmale entsprechen. Im Kontext der DSM-Methodik werden Knoten, die eine hohe Anzahl eingehender oder ausgehender Kanten aufweisen als Busse bezeichnet (MAURER 2007, S. 204).

Auch Busse sind nicht immer das Ergebnis unbeeinflusster Kundennachfrage. So stellen sich Merkmale, deren Ausprägungen für einen Teil der oder sogar alle zu betrachtenden Produktvarianten vorgegeben sind („Serienausstattungen“) in der normierten Eigenschaften-DSM als Busse dar (im zweiten Fall entsprechen sämtliche Einträge in einer Spalte 100 Prozent). Es gilt also zu prüfen, ob derartige Eigenschaften vorhanden sind bzw. im Rahmen der problem-spezifischen Auswahl von Eigenschaften (siehe Abschnitt 3.2.3) zu entscheiden, ob diese überhaupt in die Betrachtungen mit einbezogen werden sollten.

Eigenschaften, die häufig oder selten mit *allen* anderen kombiniert werden stellen lediglich den Extremfall von Eigenschaften, die häufig oder selten mit *mehreren* anderen kombiniert werden dar. Die Identifikation von Eigenschaften, die häufig bzw. selten mit mehreren anderen kombiniert werden ist eine durchaus wichtige Grundlage für die Festlegung von Kombinationsregeln. Sie ist jedoch durch die bereits beschriebene Identifikation der einzelnen darin enthaltenen Zweierkombinationen abgedeckt.

Ergebnis der Phase „Signifikante Eigenschaftenkombinationen identifizieren“ sind sämtliche aufgrund ihrer extremen und homogenen Verkaufshäufigkeiten herausstechenden Kombinationen zweier oder mehrerer Eigenschaften.

3.2.8 Kombinationszwänge und -verbote ableiten

Basierend auf den zuvor identifizierten signifikanten Eigenschaftenkombinationen können Optimierungspotenziale in Form von Kombinationsregeln für das betrachtete Eigenschaften- und damit Produktvariantenspektrum abgeleitet werden. Dabei gilt es zu beachten, dass eine bestimmte Konstellation von Kombinationshäufigkeiten nicht zur Festlegung einer bestimmten Kombinationsregel und nicht einmal zur Festlegung irgendeiner Kombinationsregel führen muss. Die Frage, ob und welche Konsequenzen das Vorhandensein der unterschiedlichen Konstellationen hat, ist eine durchaus strategische und muss daher im Einzelfall beantwortet werden. Abhängig von der übergeordneten Zielsetzung, also der Frage, ob das Produktprogramm an die Kundennachfrage angepasst oder die Kundennachfrage gezielt beeinflusst werden soll, können jedoch grundsätzliche Empfehlungen für die Ableitung von Kombinationsregeln gegeben werden, die in Tabelle 3-1 zusammengestellt sind und nachfolgend beschrieben werden.

Tabelle 3-1 Ableitung von Kombinationsregeln anhand signifikanter Eigenschaftenkombinationen

	Anpassung des Angebots an die Nachfrage	Steuerung der Nachfrage
Zwei häufig miteinander kombinierte Eigenschaften	Beidseitiger Kombinationszwang	Kopplung mit selten nachgefragter/-n Eigenschaft/-en
Zwei selten miteinander kombinierte Eigenschaften	Beidseitiges Kombinationsverbot	Einseitiger Kombinationszwang
Zwei unterschiedlich oft miteinander kombinierte Eigenschaften	Einseitiger/-s Kombinationszwang/-verbot	
Mehrere häufig miteinander kombinierte Eigenschaften	Kombinationszwang (Ausstattungspaket)	Kopplung mit selten nachgefragter/-n Eigenschaft/-en
Mehrere selten miteinander kombinierte Eigenschaften	Kombinationsverbot	Kombinationszwang
Eine häufig mit allen anderen kombinierte Eigenschaft	Kombinationszwang (Serienausstattung)	
Eine selten mit allen anderen kombinierte Eigenschaft	Kombinationsverbot (Angebotsreduktion)	

Die Ableitung von Kombinationsregeln anhand signifikanter Eigenschaftskombinationen ist abhängig von der übergeordneten Zielsetzung. Dabei können die beiden hier betrachteten Zielsetzungen natürlich auch parallel verfolgt werden. So kann eine selten nachgefragte Kombination zweier Eigenschaften zu einem Kombinationsverbot führen, um das Angebot an die Nachfrage anzupassen, eine andere zu einem Kombinationszwang, um die Nachfrage zu steuern. Abgesehen davon, muss sich nicht jede häufig oder selten nachgefragte Eigenschaftskombination in einer Konfigurationsregel niederschlagen. Dies könnte z. B. dann der Fall sein, wenn die bisherigen Verkaufshäufigkeiten im Widerspruch zu aktuellen Prognosen stünden.

Anpassung des Angebots an die Kundennachfrage

Besteht das Ziel der Betrachtung von Eigenschaftenspektren in der möglichst exakten Anpassung des Angebots an die Kundennachfrage, so sollten die unterschiedlichen Arten signifikanter Eigenschaftskombinationen zu folgenden Kombinationsregeln führen:

- **Zwei häufig miteinander kombinierte Eigenschaften** sollten zu einem Kombinationszwang der Art „Wenn Eigenschaft A gewählt wird, muss auch Eigenschaft B gewählt werden – und umgekehrt.“ Führen (beidseitiger Kombinationszwang).
- **Zwei selten miteinander kombinierte Eigenschaften** sollten zu einem Kombinationsverbot der Art „Wenn Eigenschaft A gewählt wird, darf Eigenschaft B nicht gewählt werden – und umgekehrt.“ führen (beidseitiges Kombinationsverbot).
- **Zwei unterschiedlich oft miteinander kombinierte Eigenschaften** sollten zu einer Wenn-dann-Regel, also zu einem Kombinationszwang der Art „Wenn Eigenschaft A gewählt wird, muss auch Eigenschaft B gewählt werden – aber nicht umgekehrt.“ bzw. einem Kombinationsverbot der Art „Wenn Eigenschaft A gewählt wird, darf Eigenschaft B nicht gewählt werden – aber nicht umgekehrt.“ führen (einseitiger Kombinationszwang bzw. einseitiges Kombinationsverbot).
- **Mehrere häufig miteinander kombinierte Eigenschaften** sollten zu einem Kombinationszwang der Art „Wenn eine der Eigenschaft A, B oder C gewählt wird, müssen auch alle anderen gewählt werden.“ führen (Ausstattungspaket).
- **Mehrere selten miteinander kombinierte Eigenschaften** sollten zu einem Kombinationsverbot der Art „Wenn eine der Eigenschaft A, B oder C nicht gewählt wird, dürfen auch alle anderen nicht gewählt werden.“ führen.
- **Eine häufig mit allen anderen kombinierte Eigenschaft** sollte zu einem Kombinationszwang der Art „Eigenschaft A muss immer gewählt werden.“ führen (Serienausstattung).
- **Eine selten mit allen anderen kombinierte Eigenschaft** sollte zu einem Kombinationsverbot der Art „Eigenschaft A darf nicht gewählt werden.“ führen (Angebotsreduktion).

Es gilt zu beachten, dass es strategische Überlegungen geben kann, die einen Einfluss auf die Gültigkeit der Empfehlungen zur Ableitung von Kombinationsregeln haben können. So könn-

te man z. B. davon ausgehen, dass die Festlegung eines Ausstattungspakets grundsätzlich eine Einschränkung der vom Kunden wahrgenommenen Auswahlmöglichkeiten darstellt und daher durch einen entsprechenden Preisnachlass gerechtfertigt werden muss (auch wenn er die Auswahlmöglichkeiten nachweislich nicht nutzt). In diesem Fall würde man Eigenschaften, die ohnehin häufig oder sogar immer miteinander kombiniert und somit voll bezahlt werden gerade nicht zu einem preiswerten Paket schnüren. Allerdings wäre das primäre Ziel in diesem Fall wohl nicht die Anpassung des Angebots an die Kundennachfrage, sondern eine bestimmte Form der Steuerung der Kundennachfrage.

Steuerung der Kundennachfrage

Besteht das Ziel in der Steuerung der Kundennachfrage unter strategischen Gesichtspunkten, so lassen sich für einige der signifikanten Eigenschaftskombinationen ebenfalls grundsätzliche Empfehlungen zur Ableitung von Kombinationsregeln abgeben:

- **Zwei häufig miteinander kombinierte Eigenschaften** können durch einen entsprechenden Kombinationszwang mit weiteren, bislang selten nachgefragten Eigenschaften gekoppelt werden. In diesem Fall reicht ein einseitiger Kombinationszwang. Wenn also die beiden häufig miteinander kombinierten Eigenschaften ausgewählt werden, sollten auch die selten nachgefragten ausgewählt werden müssen – aber nicht umgekehrt.
- **Zwei selten miteinander kombinierte Eigenschaften** sollten zu einem einseitigen Kombinationszwang führen, wenn eine der beiden Eigenschaften – unerwünschter Weise – auch in allen andern Kombinationen selten, die andere hingegen häufig nachgefragt wurde. In der Folge müsste die selten nachgefragte Eigenschaft immer dann ausgewählt werden, wenn die häufig nachgefragte ausgewählt wird.
- **Mehrere häufig miteinander kombinierte Eigenschaften** können durch einen entsprechenden Kombinationszwang mit weiteren, bislang selten nachgefragten Eigenschaften gekoppelt werden. In diesem Fall reicht ein einseitiger Kombinationszwang. Wenn also die häufig miteinander kombinierten Eigenschaften ausgewählt werden, sollten auch die selten nachgefragten ausgewählt werden müssen – aber nicht umgekehrt.
- **Mehrere selten miteinander kombinierte Eigenschaften** sollten zu einem einseitigen Kombinationszwang führen, wenn einzelne der Eigenschaften – unerwünschter Weise – auch in allen andern Kombinationen selten, die anderen hingegen häufig nachgefragt wurden. In der Folge müssten die selten nachgefragten Eigenschaften immer dann ausgewählt werden, wenn die häufig nachgefragten ausgewählt werden.

Während Kombinationsregeln zur Anpassung des Angebots im Einklang mit der (bisherigen) Kundennachfrage stehen, wenden sich solche zur Steuerung der Kundennachfrage in gewisser Hinsicht gegen sie. Die Wirksamkeit von Kombinationsregeln zur Steuerung der Kundennachfrage hängt daher maßgeblich von der Kundenakzeptanz ab und lässt sich weniger genau prognostizieren, als die von solchen zur Anpassung des Angebots. Um überhaupt eine angemessene Kundenakzeptanz zu erreichen ist es daher unablässig, die Kombinationszwänge mit entsprechenden Preisvorteilen zu verknüpfen.

*Ergebnis der Phase „Kombinationszwänge und -verbote ableiten“ sind **Einschränkungen bei der Kombination von Eigenschaften zur Anpassung des Angebotes an die Kundennachfrage und/oder zur Steuerung der Kundennachfrage.***

3.3 Integration von Produktvarianten und Komponenten

Dieser Abschnitt widmet sich dem praktischen Vorgehen zur Integration von Produktvarianten und Komponenten.

Die Integration von Produktvarianten und Komponenten beruht auf folgender Überlegung: Viele Komponenten eines Produkts bleiben dem (End-)Kunden verborgen und könnten folglich auch dann verbaut werden, wenn sie nicht benötigt werden. Wirtschaftlich wäre das jedoch nur, wenn die Kosteneinsparungen durch die resultierende Variantenreduzierung die Kosten für die nicht benötigten Komponenten überstiegen, denn es ist davon auszugehen, dass nicht benötigte Komponenten vom (End-)Kunden grundsätzlich nicht bezahlt werden.

Unter der Integration von *Produktvarianten* wird die Substitution einer oder mehrerer Produktvarianten durch eine, die zusätzliche Komponenten oder Komponentenvarianten enthält verstanden. (Die Substitution durch eine Produktvariante, die weniger Komponenten enthält ist nicht Gegenstand der Betrachtungen, da sie eine Reduzierung des – vom Kunden wahrgenommenen – Angebots bedeuten würde.) Unter der Integration von *Komponenten* wird die, zumindest gedankliche, Zusammenfassung mehrerer Komponenten und/oder Komponentenvarianten zu einer (übergeordneten) Baugruppe verstanden. Sie entspricht der Festlegung eines Kombinationszwangs, die auch Ergebnis der Einschränkung zulässiger Komponentenkombinationen (siehe Abschnitt 3.2) sein könnte. Allerdings können durch die Integration von Komponenten, wie auch durch die von Produktvarianten, erhebliche Zusatzkosten entstehen, die es zu ermitteln gilt.

Die Integration von Komponenten hat Auswirkungen auf sämtliche Produktvarianten, in denen die jeweiligen Komponenten enthalten sind. Damit bietet sie, in gewisser Hinsicht, einen größeren Hebel zur Variantenreduzierung als die Integration von Produktvarianten. Andererseits erlaubt die Integration von Produktvarianten wesentlich differenzierte Betrachtungen als die Integration von Komponenten und kann, die notwendige Wirtschaftlichkeit vorausgesetzt, darüber hinaus zum gleichen Ergebnis führen. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich daher auf die Integration von Produktvarianten.

Ziel des nachfolgend beschriebenen Vorgehens ist die Ermittlung der Zusatzkosten, die durch die Integration von Produktvarianten bzw. Komponenten entstehen würden. Stellt man diesen Kosten die Einsparungen durch die resultierende Reduktion von Produkt- und Komponentenvarianten gegenüber, lässt sich die Wirtschaftlichkeit der Integration bewerten.

Die Ermittlung der Zusatzkosten basiert auf dem Vergleich der in unterschiedlichen Produktvarianten enthaltenen Komponentenkombinationen einschließlich deren Verkaufshäufigkeiten und Kosten. Vergleicht man die Komponenten zweier Produktvarianten, können vier Konstellationen unterschieden werden, die anhand nachfolgender Beispiele illustriert werden sollen.

Im ersten Fall enthält eine Produktvariante sämtliche Komponenten einer anderen (sowie weitere) und könnte diese daher im Grundsatz ersetzen. In dem in Abbildung 3-31 dargestellten Beispiel enthält Produktvariante B sämtliche Komponenten der Produktvariante A – Produktvariante B könnte Produktvariante A also vollständig ersetzen (eventuelle technische, kaufmännische und ästhetische Randbedingungen außer Acht gelassen). In allen Anwendungen, in denen bislang Produktvariante A zum Einsatz gekommen wäre, würde nun Produktvariante B zum Einsatz kommen. Die Betrachtung der Verkaufshäufigkeiten zeigt, dass Komponente D in 9 Produktvarianten ohne Notwendigkeit verbaut werden würde. Es käme zu einer Übererfüllung von Anforderungen, die kein Kunden honorieren würde, da er sie nicht verlangt hätte (und u. U. nicht einmal Kenntnis von ihr hätte). Die Zusatzkosten von 3,22 € pro Produktvariante, also die Kosten der Komponente D, mal 9 Produktvarianten, in denen Komponente D ohne Notwendigkeit verbaut würde, müsste also der Hersteller tragen. Stellt man diesen Zusatzkosten die Einsparungen durch den Wegfall der Produktvariante A (genau einer Produktvariante) gegenüber, lässt sich die Wirtschaftlichkeit der Zusammenlegung bewerten.

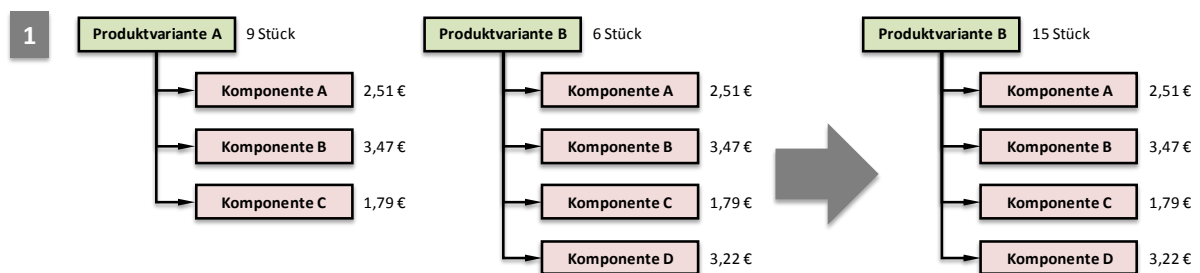


Abbildung 3-31 Integration von Produktvarianten – Fall 1

Im zweiten Fall enthalten *beide* Produktvarianten neben identischen auch spezifische Komponenten und könnten daher nur durch eine dritte substituiert werden. Nach einer Zusammenlegung würde jede Anwendung Zusatzkosten verursachen, da immer nicht benötigte Komponenten verbaut würden. Abbildung 3-32 enthält ein entsprechendes Beispiel: Würden die Produktvarianten A und B durch Produktvariante C ersetzt, so würde in 9 Anwendungen Komponente D und in 6 Anwendungen Komponente A ohne Notwendigkeit verbaut. Es würden also Zusatzkosten in Höhe von 9 mal 3,22 € plus 6 mal 2,51 € anfallen.

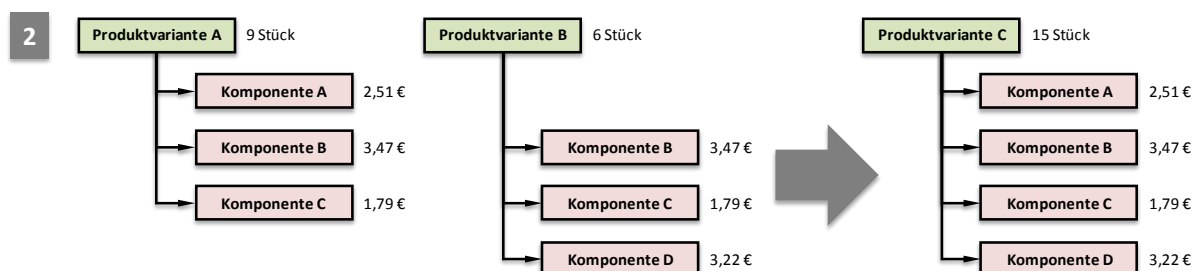


Abbildung 3-32 Integration von Produktvarianten – Fall 2

Der dritte Fall stellt einen Spezialfall des zweiten Falles dar. Der Unterschied besteht darin, dass die beiden Produktvarianten, wie in dem Beispiel in Abbildung 3-33 dargestellt, keine identischen Komponenten enthalten. Die Auswirkungen des zweiten und dritten Falles wären folglich identisch: Die beiden Produktvarianten könnten nur durch eine dritte ersetzt werden und bei jeder Anwendung würden Zusatzkosten anfallen.

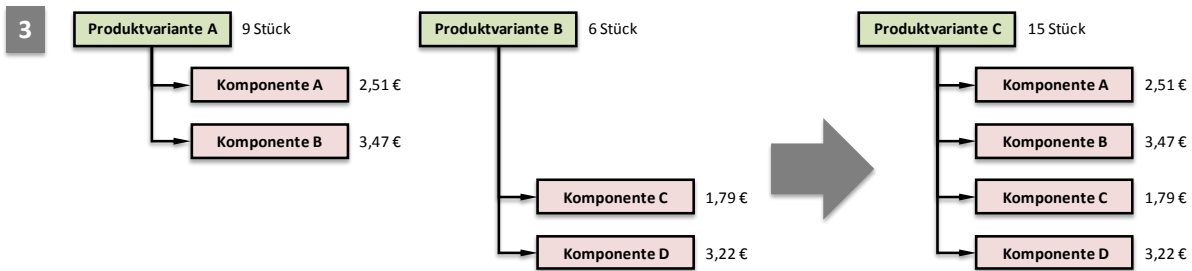


Abbildung 3-33 Integration von Produktvarianten – Fall 3

Die drei bislang erörterten Fälle beschreiben allesamt die Substitution von Produktvarianten durch solche mit *zusätzlichen* Komponenten. Dabei kann es sich bei den zusätzlichen Komponenten auch um zusätzliche Komponentenvarianten handeln. Der vierte Fall beschreibt hingegen die Substitution von Produktvarianten durch solche mit *höherwertigen* Komponentenvarianten. Obwohl er im Rahmen des vorliegenden Ansatzes keine Berücksichtigung findet, soll er, der Vollständigkeit halber und um eine klare Abgrenzung des Betrachtungsgegenstandes zu gewährleisten, an dieser Stelle skizziert werden. Die Zusatzkosten entstehen in diesem Fall nicht durch die Kosten zusätzlicher Komponenten, sondern durch die Mehrkosten höherwertigerer Komponentenvarianten. Der Einfachheit halber soll angenommen werden, dass höherwertige Komponentenvarianten immer teurer sind und die Kosten somit erhöhen. Wäre dem nicht so, wäre das angebotene Produktportfolio ohnehin und grundsätzlich zu überdenken. Das in Abbildung 3-34 enthaltene Beispiel sieht die Substitution der Produktvariante A durch Produktvariante B und damit die Substitution der Komponente B1 durch Variante B2 vor. Die Folge wären Mehrkosten von 3,94 € minus 3,08 €, also 0,86 €, mal 9 Anwendungen.

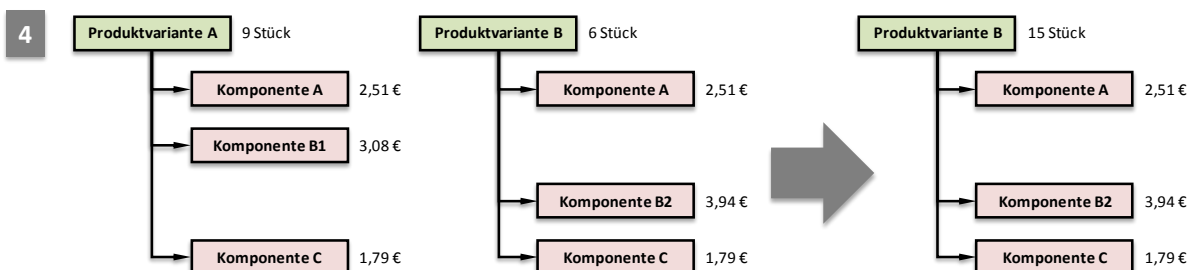


Abbildung 3-34 Integration von Produktvarianten – Fall 4

Die in Abbildung 3-34 skizzierte Konstellation (Fall 4) kommt bei genauer Betrachtung nur selten in der Praxis vor. Zunächst einmal weisen viele Komponenten keine unterschiedlichen Varianten auf; sie führen durch ihr Vorhandensein oder Nichtvorhandensein lediglich zu unterschiedlichen Produktvarianten (Fälle 1 bis 3). Weist eine Komponente unterschiedliche Varianten auf, so erfüllen diese (eine halbwegs systematische Produktentwicklung vorausgesetzt) zwar unterschiedliche Anforderungen – sie erfüllen jedoch nicht zwangsläufig unterschiedlich *hohe* Anforderungen, wovon in Fall 4 ausgegangen wird. So könnte eine Steckervariante mit einer Temperaturbeständigkeit von 200°C eine mit einer Temperaturbeständigkeit von 150°C ohne konstruktive Anpassungen ersetzen, eine runde Steckervariante eine rechteckige jedoch nicht. Sollten die unterschiedlichen Varianten einer Komponente tatsächlich unterschiedlich hohe Anforderungen erfüllen, ist der Handlungsspielraum zudem stark begrenzt, denn eine Komponentenvariante kann nur durch eine ersetzt werden, die höhere Anforderungen erfüllt – nicht aber durch eine die niedrigere erfüllt. So könnte eine Steckervariante mit einer Temperaturbeständigkeit von 200°C eine mit einer Temperaturbeständigkeit von 150°C ersetzen, nicht aber umgekehrt. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Möglichkeit zur Substitution von Komponenten durch höherwertige Varianten nur selten besteht und im Rahmen des normalen Anforderungsmanagements behandelt werden kann. Wie das Beispiel der Temperaturbeständigkeit deutlich macht, betrifft die Erfüllung unterschiedlich hoher Anforderungen darüber hinaus oft sämtliche Komponenten einer Produktvariante und wird damit schnell zum Grundsatzthema.

Die Verwendung höherwertige Komponentenvarianten ist aus technischer Sicht immer möglich. Allerdings wird auch sie nur dann möglich sein, wenn sie dem Endkunden verborgen bleibt. Würde sich herumsprechen, dass technisch gleichwertige Varianten zu unterschiedlichen Preisen angeboten werden, wären die Konsequenzen klar. Ob zusätzliche Komponenten verbaut werden können ist grundsätzlich fraglich. So erhöhen nicht benötigte Kabel z. B. das Gewicht von Kraftfahrzeugen und bergen darüber hinaus die Gefahr des Klapperns und Feuchtigkeitseintritts. Letztlich wird die Frage der Zulässigkeit jedoch immer individuell und anhand der realisierbaren Kosten- bzw. Preisvorteile beantwortet werden.

Bei oberflächlicher Betrachtung mag der Eindruck entstehen, dass die Integration von Produktvarianten, die keine oder nur wenige gemeinsame Komponenten enthalten weniger aussichtsreich ist, als die von Produktvarianten, die viele gemeinsame Komponenten enthalten. Dieser Eindruck täuscht jedoch, denn, wie obige Beispiele zeigen, kann die Wirtschaftlichkeit der Integration von Produktvarianten erst und ausschließlich dann bewertet werden, wenn Verkaufshäufigkeiten und Komponentenkosten in die Betrachtung mit einbezogen werden. Aus den Beispielen lässt sich zudem erkennen, welche Informationen es aufzunehmen und in angemessener Weise aufzubereiten gilt: Produktvarianten und deren Verkaufshäufigkeiten (die auch eine wesentliche Grundlage bei der Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen bilden) sowie Komponenten und deren Kosten.

Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass die Integration von Produktvarianten auch auf Grundlage der Betrachtung von Eigenschaftenkombinationen erfolgen könnte. Das würde bedeuten, dass man dem Kunden nicht geforderte Produkteigenschaften kostenlos zur Verfügung stellt, was jedoch äußerst unrealistisch ist. Immerhin ist eine Produkteigenschaft, im Gegensatz zu den Komponenten, die zu ihrer Realisierung beitragen, nahezu immer sichtbar für den Kun-

den, wie sich am Beispiel von Fahrzeugausstattungen verdeutlichen lässt: Das Vorhandensein eines Einparkassistenten würde vom Kunden wahrgenommen werden, das Vorhandensein von Leitungen zum Anschluss nicht vorhandener Abstandssensoren jedoch nicht. Aus diesem Umstand ergibt sich die zwangsläufige Konzentration auf die Betrachtung von Komponentenkombinationen.

Das Vorgehen zur Integration von Produktvarianten gliedert sich in neun Phasen (Abbildung 3-35).

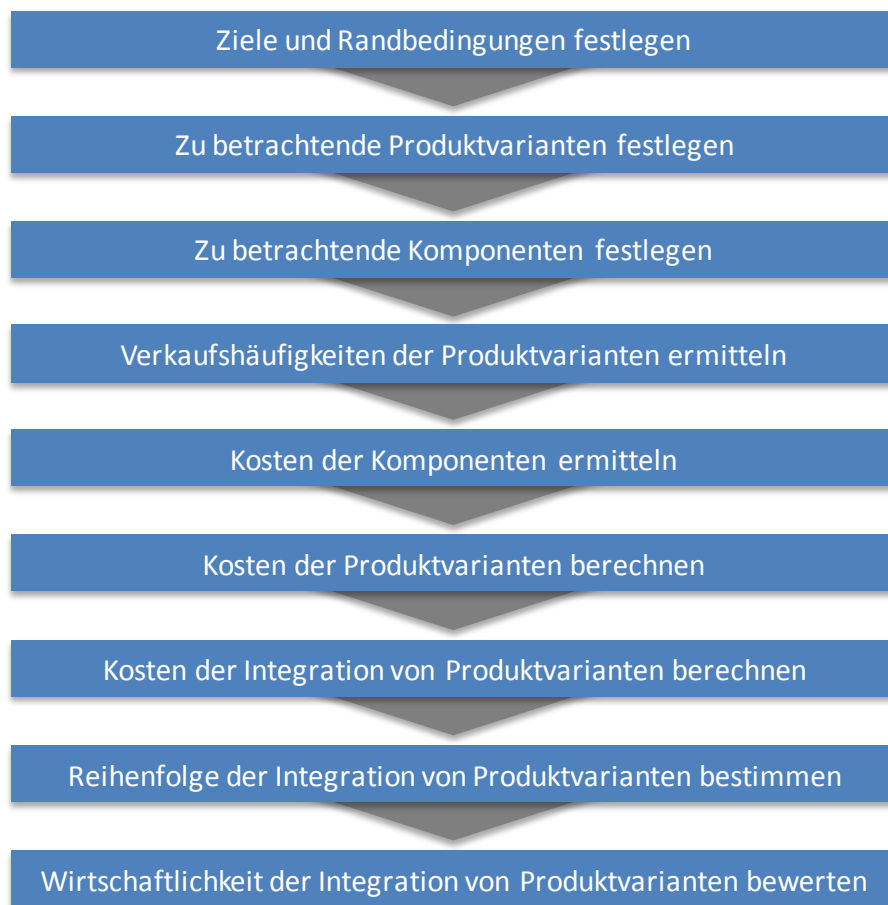


Abbildung 3-35 Vorgehen zur Integration von Produktvarianten

Einige Phasen, die bei der Integration von Produktvarianten zu durchlaufen sind weisen große Gemeinsamkeiten mit denen, die bei der Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen zu durchlaufen sind auf. Die Ausführungen in den entsprechenden Phasen konzentrieren sich daher auf die Darstellung der wesentlichen Unterschiede. Die grundlegenden ersten Phasen beider Vorgehen sind vollkommen identisch, sodass lediglich auf die Ausführungen in den jeweiligen vorangegangenen Abschnitten verwiesen wird und die zu erzielenden Ergebnisse kurz wiederholt werden.

3.3.1 Ziele und Randbedingungen festlegen

Die Festlegung von Zielen und Randbedingungen ist für die Integration von Produktvarianten von ebenso großer Bedeutung wie für die Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen. Die Inhalte dieser Phase sind in beiden Fällen identisch und können daher den Ausführungen in Abschnitt 3.2.1 entnommen werden.

*Ergebnis der Phase „Ziele und Randbedingungen festlegen“ ist das klare und einheitliche Verständnis der **zu erreichenden** und **nicht zu erreichenden Ziele**, der dabei zu berücksichtigenden **Randbedingungen** sowie der im Vorfeld getroffenen **Annahmen** einschließlich der für alle Beteiligten zugänglichen **Dokumentation**.*

3.3.2 Zu betrachtende Produktvarianten festlegen

Die Festlegung der zu betrachtenden Produktvarianten ist der erste und grundlegende Schritt zur Definition des Betrachtungsumfangs. Die Inhalte dieser Phase unterscheiden sich nicht von denen der in Abschnitt 3.2.2 beschriebenen Phase im Kontext der Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen. Besonderes Augenmerk gilt jedoch der Frage, ob Komponenten auch außerhalb des definierten Betrachtungsumfangs Verwendung finden. Ist dem so, müssen alle zu erzielenden Ergebnisse kritisch hinsichtlich ihrer Aussagekraft überprüft werden, denn sie basieren ausschließlich auf den Verkaufszahlen der Produktvarianten innerhalb des Betrachtungsumfangs. Umgekehrt könnte man argumentieren, dass der Betrachtungsumfang im Falle der Komponenten allein durch deren Verwendung vorgegeben ist. Es gibt jedoch Randbedingungen, die eine Einschränkung des Betrachtungsumfangs zulassen oder sogar erfordern, wie etwa die Verfügbarkeit und Güte benötigter Daten.

*Ergebnis der Phase „Zu betrachtende Produktvarianten festlegen“ ist die **problemspezifische Auswahl von Produktvarianten**.*

3.3.3 Zu betrachtende Komponenten festlegen

Die Festlegung der zu betrachtenden Komponenten ist der zweite und abschließende Schritt zur Definition des Betrachtungsumfangs. Die Festlegung der zu betrachtenden Komponenten umfasst, analog der in Abschnitt 3.2.3 beschriebenen Festlegung der zu betrachtenden Eigenschaften, drei Schritte:

- die eventuelle Auflösung von Komponenten,
- die problemspezifische Auswahl von Komponenten sowie
- die Überführung der ausgewählten Komponenten in ein vorgegebenes Format

Die Auflösung von Komponenten gestaltet sich weniger unterschiedlich als die Auflösung von Eigenschaften, da die Art der Dokumentation von Komponenten stärker vereinheitlicht ist. Dafür ist die Auflösung in diesem Fall nahezu immer notwendig.

Auflösung von Komponenten

Die Dokumentation der Komponenten von Produkten erfolgt in nahezu allen produzierenden Unternehmen (auch) in Form von Stücklisten. Die Auflösung von Komponenten ist daher nichts anderes als die Aufbereitung von Stücklisteninformationen. Der Aufbau und Inhalt von Stücklisten ist weitestgehend vereinheitlicht und sogar durch entsprechende Normen geregelt (DIN 199-1, 2002). Unterschiede liegen vor allem in den Software-Systemen, die zu deren Verwaltung eingesetzt werden. Führend sind hier zumeist ERP-Systeme, wobei sich zumindest die Stücklistenstrukturen auch in PDM- und andere Systemen wiederfinden. ERP-Systeme bieten vielfältige Möglichkeiten zur Auswahl und Aggregation sowie zum Export von Stücklisten. Allerdings verfügen in der Regel nur wenige Mitarbeiter über die benötigten Fachkenntnisse und/oder Berechtigungen, um diese Möglichkeiten zu nutzen. Es ist daher auch in diesem Fall in erster Linie eine Frage der zur Verfügung stehenden Ressourcen, ob und wie weit die Aufbereitung der Stücklisteninformationen im Ursprungssystem automatisiert werden kann. Die bloße Anzahl der zu betrachtenden Stücklisten schließt die rein manuelle Aufbereitung oft aus, sodass eine zumindest teilautomatisierte Aufbereitung, z. B. mit Hilfe von Tabellenkalkulations-Programmen, erfolgen muss.

Stücklisten werden in den meisten Unternehmen erst dann angelegt, wenn die darin beschriebenen Produktvarianten von einem konkreten Kunden nachgefragt bzw. Gegenstand eines konkreten Angebots werden. Freigegeben bzw. in einen entsprechenden Status gehoben werden die Stücklisten sogar erst dann, wenn die Produktvarianten tatsächlich verkauft bzw. ausgeliefert wurden (Muster und Prototypen werden dem Kunden mitunter kostenlos zur Verfügung gestellt). Dies gilt auch für Unternehmen, die nicht einzelne (kundenspezifische) Produktvarianten, sondern ganze Produktvariantenspektren vor Markteintritt („kundenanonym“) entwickeln. Stücklisten geben also in aller Regel Aufschluss über die tatsächlich nachgefragten, nicht aber über die grundsätzlich angebotenen oder theoretisch möglichen, Komponenten und Komponentenkombinationen.

Ziel der Auflösung von Komponenten ist eine Liste sämtlicher Komponenten, die in der problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten verbaut werden. Die größte Herausforderung besteht dabei erfahrungsgemäß in der Erstellung einer Liste, die zwar vollständig aber Redundanzfrei ist.

Problemspezifische Auswahl von Komponenten

Unabhängig vom Aufwand zur Auflösung der Komponenten gilt es in diesem Schritt, die problemspezifische Auswahl von Komponenten zu treffen (Abbildung 3-36). Dazu werden all jene Komponenten aus der zuvor generierten Liste gestrichen, deren Varianz im Bezug auf die aktuelle Unternehmenssituation als unkritisch eingeschätzt wird. Das sind in erster Linie Komponenten, die keine oder eine nur geringe Varianz aufweisen. Das sind aber auch Komponenten, die ausschließlich eine bestimmte Art von Varianz aufweisen. Die wesentliche Unterscheidung ist in diesem Kontext die von Roh-, Fertig- und Zukaufteilvarianz. Die negativen Auswirkungen hoher Rohteilvarianz sind potenziell größer als die hoher Fertigteilvarianz und diese wiederum größer als die hoher Zukaufteilvarianz. Letztlich hängt es jedoch immer von den zuvor festgelegten Zielen und Randbedingungen ab, welche Art der Variantenreduktion sinnvoll und daher anzustreben ist.

Vollständig aufgelöste Stücklisten enthalten neben sämtlichen einzelnen Bauteilen auch die Baugruppen, in denen sie enthalten sind – sie weisen also eine gewisse Art von Redundanz auf, die es spätestens in diesem Schritt auszuräumen gilt. Die problemspezifische Auswahl von Komponenten erfordert daher auch die Festlegung, auf welcher Aggregationsebene die Komponenten betrachtet werden sollten. Die Festlegung selbst sollte baugruppenspezifisch erfolgen, denn im einen Fall kann die Betrachtung der einzelnen Bauteile, im anderen die der gesamten Baugruppe sinnvoll sein. Dabei gilt es zu beachten, dass unterschiedliche Varianten ganzer Baugruppen immer (auch) Montagevarianz aufweisen. Die potenziellen, negativen Auswirkungen von Montagevarianz sind zwar vergleichsweise gering, sollten aber nicht vernachlässigt werden.

Komponente A	Variante A
	Variante B
Komponente B	Variante A
	Variante B
Komponente C	Variante A
	Variante B
	Variante C
Komponente D	Variante A
	Variante B
Komponente E	Variante A
	Variante B
Komponente ...	

Abbildung 3-36 Problemspezifische Auswahl von Komponenten

Selbstverständlich verursacht die Verwaltung von Bauteilvarianten *aller* Art Kosten, die durch eine nachträgliche Variantenreduzierung abgebaut werden können. Die für die Verwaltung von Komponenten- und auch Produktvarianten anfallenden Kosten sind zwar begrenzt, dafür sind sie ausschließlich variable und können folglich vollständig abgebaut werden. Vor diesem Hintergrund wäre die Betrachtung sämtlicher Komponenten und ihrer Varianten ange-raten. Dennoch ist die Reduzierung oder vielmehr die Begrenzung des Betrachtungsumfangs notwendig, um die für die Durchführung der nachfolgenden Schritte zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht zu überschreiten.

Überführung der Komponenten in ein vorgegebenes Format

Ist die problemspezifische Auswahl von Komponenten erfolgt, gilt es die in Abbildung 3-37 dargestellte Produktvarianten-Komponenten-DMM zu füllen. Die Produktvarianten-Komponenten-DMM gibt Auskunft darüber, welche Produktvariante welche Komponenten enthält – sie stellt also eine weitere Art der Aufbereitung von Stücklisteninformationen für den Betrachtungsumfangs dar.

	Komponente A		Komponente B		Komponente C			Komponente D		Komponente E		Komponente ...
	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	Variante C	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	
Produktvariante A		1		1		1					1	
Produktvariante B		1	1		1			1		1		
Produktvariante C	1						1		1	1		
Produktvariante D		1				1			1	1		
Produktvariante E	1			1	1			1		1		
Produktvariante F	1		1				1				1	
Produktvariante ...												

Produktvariante F enthält Variante B der Komponente E

Abbildung 3-37 Zuordnung von Komponenten zu Produktvarianten in der Produktvarianten-Komponenten-DMM

Der Aufbau der Produktvarianten-Komponenten-DMM folgt dem der in Abschnitt 3.2.3 vorgestellten Produktvarianten-Eigenschaften-DMM.

Ergebnis der Phase „Zu betrachtende Komponenten ermitteln“ ist die **problemspezifische Auswahl von Komponenten** sowie deren Zuordnung zur problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten in der **Produktvarianten-Komponenten-DMM**.

3.3.4 Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten ermitteln

Die Ermittlung der Verkaufshäufigkeiten wurde bereits im Kontext der Analyse von Eigenschaftenspektren ausführlich erläutert. Die dazu notwendigen Schritte können Abschnitt 3.2.4 entnommen werden.

Eines gilt es bei der Ermittlung von Verkaufshäufigkeiten zu beachten: Um in der letzten Phase des Vorgehens aussagefähig zu sein, müssen die absoluten Kosten der Integration von Produktvarianten vorliegen. Daher empfiehlt es sich, von Beginn an mit absoluten Verkaufshäufigkeiten (und später Kosten) zu arbeiten, wovon im Folgenden ausgegangen wird. Ist dies aus Geheimhaltungsgründen unerwünscht, kann mit relativen Verkaufshäufigkeiten gearbeitet werden. Mit Kenntnis der absoluten Verkaufshäufigkeit aller Produktvarianten der problemspezifischen Auswahl können die Analyseergebnisse dann im Nachhinein umgerechnet werden.

*Ergebnis der Phase „Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten ermitteln“ sind die **absoluten Verkaufshäufigkeiten der problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten.***

3.3.5 Kosten der Komponenten ermitteln

Die Ermittlung von Komponentenkosten sollte sich in der Praxis aufwandsarm gestalten. Immerhin müssen sie den entsprechenden Abteilungen bzw. Mitarbeitern eines Unternehmens vorliegen, damit diese die angebotenen Produkte überhaupt kalkulieren können. Allerdings führt die Herausgabe von Kosteninformationen an Dritte, seien es unternehmensexterne Partner oder auch nur Angehörige anderer Unternehmensbereiche bzw. Abteilungen, immer wieder zu Schwierigkeiten. Die größte Schwierigkeit besteht, neben der Klärung der üblichen Geheimhaltungsthemen, oft darin, Kosteninformationen zu bekommen, die nicht „strategisch belastet“ sind. Dabei soll nicht etwa unterstellt werden, dass Kosten üblicherweise geschönt oder auf irgendeine andere Art manipuliert würden. Kosten sind jedoch grundsätzlich ein so sensibles Thema, dass alle Angaben dazu letztlich immer davon abhängen, wer sie zu welchem Zweck benötigt. Dazu muss man sich vor Augen halten, dass es *die* Kosten einer Komponente häufig gar nicht gibt. Die Gründe dafür sind genauso vielfältig wie nachvollziehbar. So verlangen unterschiedliche Zulieferer unterschiedliche Preise für dieselbe Komponente, haben unterschiedlich Fertigungsstandorte unterschiedliche Einzel- und/oder Gemeinkosten umzulegen und kalkulieren unterschiedliche Unternehmensbereiche die Kosten derselben Komponente (vor dem Hintergrund unterschiedlicher Zwecke) mittels unterschiedlicher Verfahren. Es gibt also einen gewissen Spielraum bei der Angabe von Kosten, der in der Praxis durchaus gezielt ausgenutzt wird.

Werden, unter Angabe von Gründen (unterschiedliche Zulieferer, Fertigungsstandorte, Kalkulationsverfahren etc.), unterschiedliche Kosten für dieselben Komponenten angegeben, besteht die Möglichkeit der Durchschnittsbildung oder einer Best- bzw. Worst-Case-Betrachtung. Unabhängig von deren Ermittlung, müssen am Ende dieser Phase die Kosten sämtlicher Komponenten der problemspezifischen Auswahl vorliegen und dokumentiert sein (Abbildung 3-38).

Kosten	Komponente A		Komponente B		Komponente C			Komponente D		Komponente E		Komponente ...
	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	Variante C	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	
	2,51	2,86	4,23	5,06	9,28	9,02	9,89	1,44	1,97	3,12	3,74	

Variante B der Komponente E kostet 3,74 €

Abbildung 3-38 Kosten der problemspezifischen Auswahl von Komponenten

An dieser Stelle ist es letztlich zweitrangig, wie belastet oder unbelastet und daher genau oder ungenau die vorliegenden Kosteninformationen sind. Viel wichtiger ist, dass sie über sämtliche Komponenten der problemspezifischen Auswahl hinweg gleichmäßig genau bzw. ungenau sind, um die benötigte Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Stimmen die Kostenverhältnisse, könnte sogar mit fiktiven Werten gearbeitet werden. Die Verwendung relativer Werte ist in diesem Fall jedoch nicht zulässig, da eine nachträgliche Umrechnung der Analyseergebnisse sehr aufwendig, und sollten relative Verkaufshäufigkeiten verwendet werden sogar unmöglich, wäre.

*Ergebnis der Phase „Kosten der Komponenten ermitteln“ sind die **absoluten Kosten der problemspezifischen Auswahl von Komponenten.***

3.3.6 Kosten der Produktvarianten berechnen

Die Kosten der Produktvarianten werden mithilfe der Produktvarianten-Komponenten-DMM aus den zuvor ermittelten Kosten der Komponenten berechnet (Abbildung 3-39). Unter Kosten von Produktvarianten werden in diesem Fall lediglich die aufsummierten Kosten der darin enthaltenen Komponenten verstanden, nicht etwa die Herstell- oder Selbstkosten, die zahlreiche weitere Einzel- und Gemeinkostenanteile enthalten; vgl. z. B. SCHMIDT (2008, S. 112).

	Komponente A		Komponente B		Komponente C			Komponente D		Komponente E		Komponente ...
	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	Variante C	Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	
Produktvariante A		2,86		5,06		9,02					3,74	
Produktvariante B		2,86	4,23		9,28			1,44		3,12		
Produktvariante C	2,51						9,89	1,97	3,12			
Produktvariante D		2,86			9,02			1,97	3,12			
Produktvariante E	2,51			5,06	9,28			1,44		3,12		
Produktvariante F	2,51		4,23				9,89				3,74	
Produktvariante ...												

Kosten	2,51	2,86	4,23	5,06	9,28	9,02	9,89	1,44	1,97	3,12	3,74	
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--

Kosten	20,68	20,93	17,49	16,97	21,41	20,37
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Produktvariante F kostet 20,37 €

Variante B der Komponente E kostet 3,74 € und ist in Produktvariante F enthalten

Variante B der Komponente E kostet 3,74 €

Abbildung 3-39 Herunterbrechen der Kosten von Komponenten auf Produktvarianten in der Produktvarianten-Komponenten-DMM

Im ersten Schritt wird die Produktvarianten-Komponenten-DMM spaltenweise mit den Kosten der Komponenten gewichtet. Im zweiten Schritt werden die Zeilensummen gebildet, die nun den Kosten der einzelnen Produktvarianten entsprechen. Die Belastbarkeit der Produktvariantenkosten korreliert natürlich direkt mit der Belastbarkeit der Komponentenkosten. Vor dem Hintergrund der Ausführungen zur vorangegangenen Phase sollte zudem grundsätzlich keine falsche Genauigkeit durch die Verwendung entsprechend vieler Nachkommastellen suggeriert werden.

Die Berechnung der Kosten von Produktvarianten erfolgt analog der Berechnung der Verkaufshäufigkeiten von Eigenschaften. Das in Abschnitt 3.2.5 beschriebene alternative Berechnungsvorgehen ist daher übertragbar.

*Ergebnis der Phase „Kosten der Produktvarianten berechnen“ sind die **absoluten Kosten der problemspezifischen Auswahl von Produktvarianten.***

3.3.7 Kosten der Integration von Produktvarianten berechnen

Die Kosten für die Integration sämtlicher Zweierkombinationen von Produktvarianten werden in der sog. Integrationsmatrix dargestellt. Die Integrationsmatrix basiert auf der Produktvarianten-DSM, die es im ersten Schritt zu berechnen gilt. Die Produktvarianten-DSM erhält man durch Multiplikation der spaltenweise mit den Kosten der Komponenten gewichtete Produkt-

varianten-Komponenten-DMM mit der Transponierten der ungewichteten Produktvarianten-Komponenten-DMM (Abbildung 3-40/Formel 3).

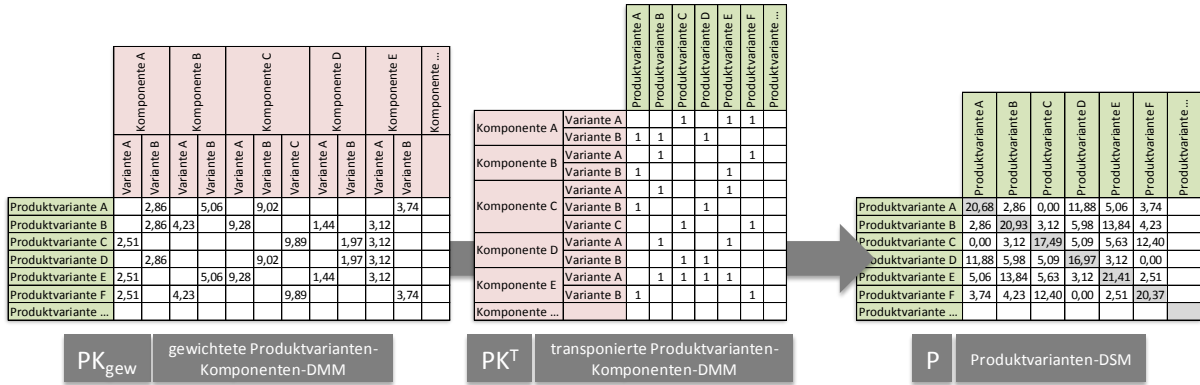


Abbildung 3-40 Berechnung der Kosten identischer Komponenten von Produktvarianten durch Matrix-Multiplikation

$$PK_{gew} \cdot PK^T = P$$

- PK_{gew} : gewichtete Produktvarianten-Komponenten-DMM
- PK : Produktvarianten-Komponenten-DMM
- P : Produktvarianten-DSM

Formel 3

Der Informationsgehalt der Produktvarianten-DSM ist in Abbildung 3-41 verdeutlicht. Enthält eine Zelle einen Eintrag, bedeutet dies, dass die zugehörigen Produktvarianten identische Komponenten enthalten. Der Zelleintrag entspricht dabei den aufsummierten Kosten eben dieser Komponenten. Enthalten zwei Produktvarianten keine identischen Komponenten ist der entsprechende Zelleintrag daher gleich Null. Zelleinträge auf der Matrixdiagonale entsprechen den Gesamtkosten aller in einer Produktvariante enthaltenen Komponente.

	Produktvariante A	Produktvariante B	Produktvariante C	Produktvariante D	Produktvariante E	Produktvariante F	Produktvariante ...
Produktvariante A	20,68	2,86	0,00	11,88	5,06	3,74	
Produktvariante B	2,86	20,93	3,12	5,98	13,84	4,23	
Produktvariante C	0,00	3,12	17,49	5,09	5,63	12,40	
Produktvariante D	11,88	5,98	5,09	16,97	3,12	0,00	
Produktvariante E	5,06	13,84	5,63	3,12	21,41	2,51	
Produktvariante F	3,74	4,23	12,40	0,00	2,51	20,37	
Produktvariante ...							

Die sowohl in Produktvariante A als auch in Produktvariante F enthaltenen Komponenten kosten 3,74 €

Produktvariante F kosten 20,37 €

Abbildung 3-41 Kosten identischer Komponenten von Produktvarianten in der Produktvarianten-DSM

Die Berechnung der Produktvarianten-DSM stellt einen Zwischenschritt dar. Die ihr zu entnehmenden Informationen dienen lediglich als Grundlage für die weiteren Berechnungen und sind für den Anwender daher nicht von unmittelbarem Interesse.

Mit der Produktvarianten-DSM liegen alle Ausgangsinformationen zur Berechnung der Integrationsmatrix vor. Zusätzlich werden die zuvor berechneten bzw. ermittelten Kosten und Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten benötigt (Abbildung 3-42).

Die Berechnung der durch die Integration zweier Produktvarianten entstehenden Zusatzkosten wurde, anhand der unterschiedlichen Ausgangskonstellationen, bereits in Abschnitt 3.3 erläutert. Die einzelnen Berechnungsschritte sollen anhand des nachfolgenden allgemeinen Beispiels noch einmal nachvollzogen werden: Produktvariante A enthält Komponenten, die Produktvariante B nicht enthält. Produktvariante A bzw. die aus einer Zusammenlegung resultierende Produktvariante C soll nun auch in den Anwendungen der Produktvariante B eingesetzt werden. Die zusätzlichen Komponenten der Produktvariante A würden folglich in allen Anwendungen der Produktvariante B umsonst verbaut werden. Die dadurch entstehenden Zusatzkosten ergeben sich aus den Kosten der zusätzlichen Komponenten von Produktvariante A mal der Verkaufshäufigkeit von Produktvariante B. Die Kosten der zusätzlichen Komponenten von Produktvariante A ergeben sich wiederum aus deren Gesamtkosten minus der Kosten der identischen Komponenten, die in der Produktvarianten-DSM enthalten sind. Da Produktvariante B Komponenten enthalten könnte, die Produktvariante A nicht enthält, muss dieselbe Berechnung auch für den umgekehrten Fall durchgeführt werden. Es sind grundsätzlich die Kosten beider Fälle zu berechnen und natürlich zu addieren. Geht eine der Produktvarianten vollständig in der anderen auf, so ist die Anzahl zusätzlicher Komponenten gleich null. Folglich sind auch die Kosten zusätzlicher Komponenten und damit der entsprechende Summand gleich null.

Die beschriebenen Berechnungen müssen für alle Zweierkombinationen und damit für alle Zellen der Integrationsmatrix durchgeführt werden (Formel 4).

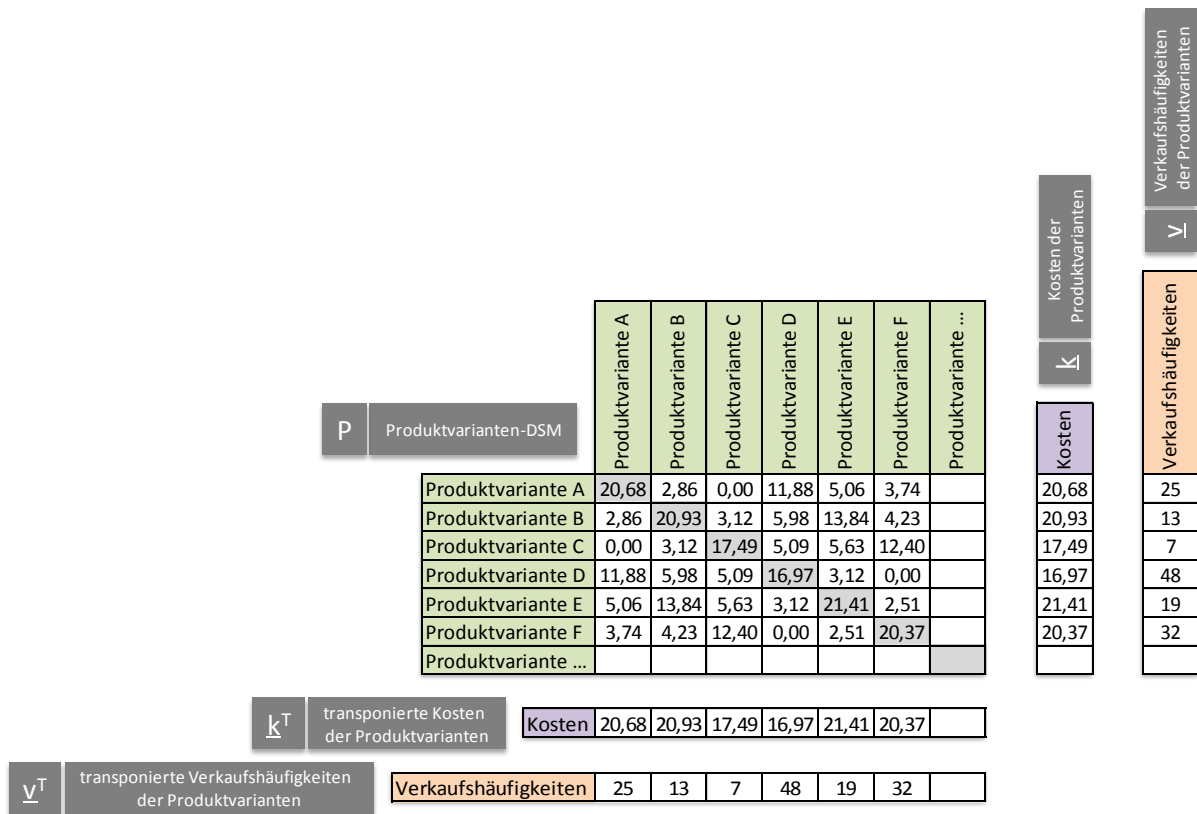


Abbildung 3-42 Ausgangsinformationen zur Berechnung der Integrationsmatrix

$$im_{i,j} = (k_i - p_{i,j}) \cdot v_j^T + (k_j^T - p_{i,j}) \cdot v_i$$

- IM: Integrationsmatrix
- P: Produktvarianten-DSM
- k: Kosten der Produktvarianten
- v: Verkaufshäufigkeiten der Produktvarianten

Formel 4

Die Zelleinträge der Integrationsmatrix entsprechen den Zusatzkosten, die durch die Integration zweier Produktvarianten entstehen würden (Abbildung 3-43). Dabei enthält jede Zelle der Integrationsmatrix einen Eintrag, d. h. die Integration sämtlicher Zweierkombinationen von Produktvarianten wird berücksichtigt. Aufgrund technischer, kaufmännischer und ästhetischer Randbedingungen ist die Integration bestimmter Produktvarianten in der Praxis jedoch nicht sinnvoll oder gar zulässig. Die entsprechenden Zweierkombinationen könnten daher von vornherein von der Betrachtung ausgeschlossen werden. Häufig gibt es jedoch keine eindeutige Antwort auf die Frage, welche Kombination von Produktvarianten zulässig ist und welche nicht. Zudem könnte es erwünscht sein, unterschiedliche Integrations Szenarien durchzuspielen, indem man sie vollständig durchrechnet. Es empfiehlt sich daher, die Integrationskosten

sämtlicher Zweierkombinationen von Produktvarianten zu berechnen und eventuelle Ausschlüsse im Nachhinein festzulegen. Um ausgeschlossene Kombinationen kenntlich zu machen, können die entsprechenden Zelleinträge einfach entfernt (und die Zellen zusätzlich ausgegraut) werden.

	Produktvariante A	Produktvariante B	Produktvariante C	Produktvariante D	Produktvariante E	Produktvariante F	Produktvariante ...
Produktvariante A		680,41	639,43	464,32	701,15	955,66	
Produktvariante B	680,41		332,12	721,87	236,00	733,58	
Produktvariante C	639,43	332,12		657,04	382,84	290,67	
Produktvariante D	464,32	721,87	657,04		1012,31	1466,40	
Produktvariante E	701,15	236,00	382,84	1012,31		930,62	
Produktvariante F	955,66	733,58	290,67	1466,40	930,62		
Produktvariante ...							

Die Integration von Produktvariante A und Produktvariante F würde Zusatzkosten in Höhe von 955,66 € verursachen

Abbildung 3-43 Zusatzkosten der Integration von Produktvarianten in der Integrationsmatrix

Die in der Integrationsmatrix enthaltenen Kosteninformationen beziehen sich auf den im Rahmen der Ermittlung der Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten festgelegten Betrachtungszeitraum. Die Integrationsmatrix gibt folglich Aufschluss über die in einem bestimmten Zeitraum zu erwartenden Zusatzkosten und damit über die laufenden Kosten der Integration von Produktvarianten.

Die Integrationsmatrix kann fallspezifisch ergänzt werden. So könnten z. B. Pauschalbeträge für die durch die Integration zweier Produktvarianten eventuell notwendig werdenden Anpassungen von Zeichnungen addiert werden. Es gilt jedoch zu beachten, dass es sich bei derartigen Kosten, im Gegensatz zu den berechneten Integrationskosten, nicht um laufende, sondern um einmalige Kosten handelt.

*Ergebnis der Phase „Kosten der Integration von Produktvarianten berechnen“ sind die **absoluten Kosten der Integration sämtlicher Zweierkombinationen von Produktvarianten der problemspezifischen Auswahl** in Form der **Integrationsmatrix**.*

3.3.8 Reihenfolge der Integration von Produktvarianten bestimmen

Die in der vorangegangenen Phase berechnete Integrationsmatrix enthält Informationen über die laufenden Kosten der Integration von Produktvarianten. Diese Kosteninformationen sind vollkommen ausreichend, wenn es darum geht, die Wirtschaftlichkeit der Integrationen zweier ganz bestimmter Produktvarianten zu bewerten, die aus den verschiedensten Gründen zum Thema werden kann. Die Anzahl der Zweierkombinationen und damit die Anzahl möglicher Integrationen sind jedoch auch bei überschaubaren Produktvariantenspektren hoch. Verfolgt man nun die gesamtwirtschaftliche Optimierung ganzer Produktvariantenspektren, stellt sich die Frage nach dem geeigneten Maß der Integration. Um diese Frage beantworten zu können,

muss die kostenoptimale Reihenfolge der sukzessiven Integration von Produktvarianten ermittelt werden. Kostenoptimal bedeutet in diesem Fall die Integration und damit Reduktion möglichst vieler Produktvarianten bei möglichst geringen Zusatzkosten.

Die Ermittlung der kostenoptimalen Reihenfolge der sukzessiven Integration von Produktvarianten erfordert ein iteratives Vorgehen (Abbildung 3-44). Zunächst werden die beiden Produktvarianten, deren Integration die geringsten Kosten verursachen würde in der Integrationsmatrix identifiziert. Sollten eventuelle Einschränkungen bei der Integration von Produktvarianten bislang nicht berücksichtigt worden sein, muss an dieser Stelle die Zulässigkeit der Integration überprüft werden. Da sich durch die Integration zweier Produktvarianten sämtliche Mengenverhältnisse, sprich die Verkaufshäufigkeiten und die darauf basierenden Zusatzkosten, ändern, muss die Integrationsmatrix anschließend neu berechnet werden. Dazu werden die Zeilen der beiden zu integrierenden Produktvarianten in der Produktvarianten-Komponenten-DMM addiert – die Integration wird also in der Produktvarianten-Komponenten-DMM „durchgespielt“. Wird dabei nicht eine der beiden Produktvarianten durch die andere ersetzt, sondern werden beide Produktvarianten durch eine neue ersetzt, so ist die Bezeichnung im Kopf der resultierenden Zeile entsprechend anzupassen. Aus der angepassten Produktvarianten-Komponenten-DMM wird nun, wie in Abschnitt 3.3.7 beschrieben, die Produktvarianten-DSM und anschließend die Integrationsmatrix berechnet. In der Integrationsmatrix werden nun erneut die beiden Produktvarianten identifiziert, deren Integration, unter den geänderten Bedingungen, die geringsten Kosten verursachen würde usw.

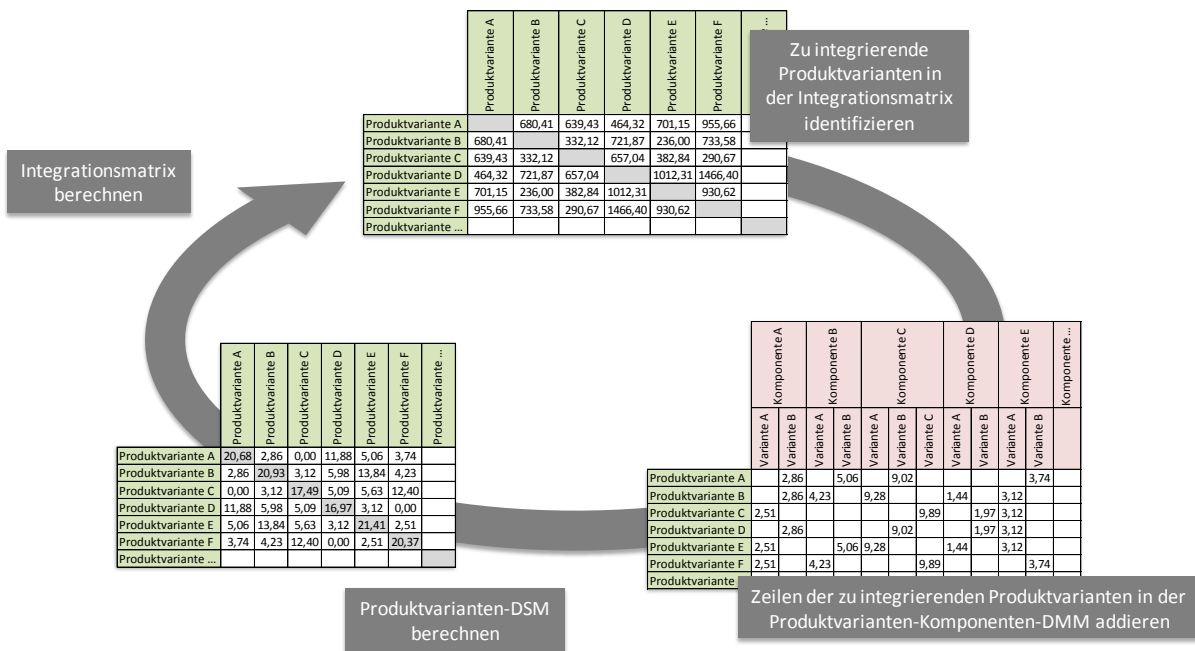


Abbildung 3-44 Iteratives Vorgehen zur Bestimmung der Reihenfolge der Integration von Produktvarianten

Das oben beschriebene Vorgehen kann solange fortgesetzt werden, bis sämtliche Produktvarianten in einer einzigen aufgegangen sind. Die Gesamtzahl der möglichen Integrationen ergibt sich somit zu $n - 1$, wobei n der Gesamtzahl der Produktvarianten entspricht. Die in den ein-

zelen Schritten zu integrierenden Produktvarianten und die dadurch entstehenden Zusatzkosten sind, etwa in Form einer Liste, zu dokumentieren.

Ist die Reihenfolge der sukzessiven Integration von Produktvarianten bestimmt, kann deren spezifischer Kostenverlauf ermittelt und dargestellt werden. Abbildung 3-45 zeigt den Verlauf der kumulierten Kosten eines fiktiven Beispiels in Form eines Säulendiagramms.

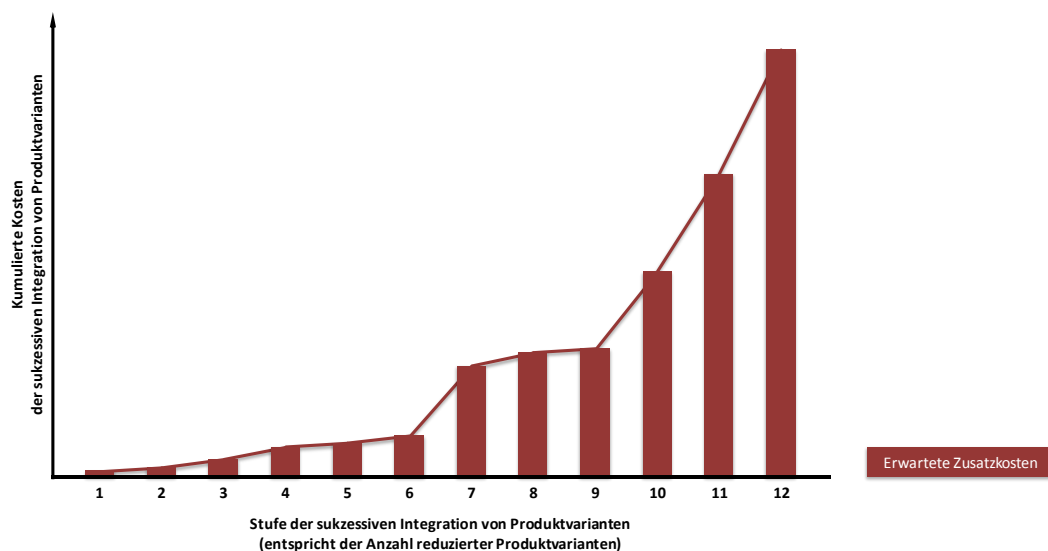


Abbildung 3-45 Verlauf der erwarteten Kosten bei sukzessiver Integration von Produktvarianten

Von besonderem Interesse sind Sprünge im Kostenverlauf, da sie immer auch Sprünge im Kosten-Nutzen-Verhältnis bedeuten und daher eine wichtige Eingangsinformation für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit bzw. die Bestimmung des geeigneten Maßes der Integration von Produktvarianten darstellen.

Ergebnis der Phase „Reihenfolge der Integration von Produktvarianten bestimmen“ sind die kostenoptimale Reihenfolge der Integration von Produktvarianten und deren spezifischer Kostenverlauf.

3.3.9 Wirtschaftlichkeit der Integration von Produktvarianten bewerten

Um die Wirtschaftlichkeit der Integration von Produktvarianten bewerten zu können, muss den erwarteten Kosten der erwartete Nutzen gegenübergestellt werden. Die Nutzenwirkungen der Reduktion von Produkt- sowie auch Komponentenvarianten sind genau so vielfältig wie situationsspezifisch und mitunter schwer zu quantifizieren, wie schon die Ausführungen in Abschnitt 2.5 gezeigt haben. Ein Nutzen resultiert aber in jedem Fall aus der Einsparung von Kosten, die für die Handhabung der zu integrierenden Produktvarianten in den verschiedenen Unternehmensbereichen anfallen würden (Abschnitt 2.5.2). Die Integration von Produktvarianten ist nur dann wirtschaftlich, wenn diese, als Bruttonutzen zu bezeichnenden, Kosten-

einsparungen die Zusatzkosten übersteigen und somit ein Nettonutzen generiert werden kann (Abbildung 3-46).

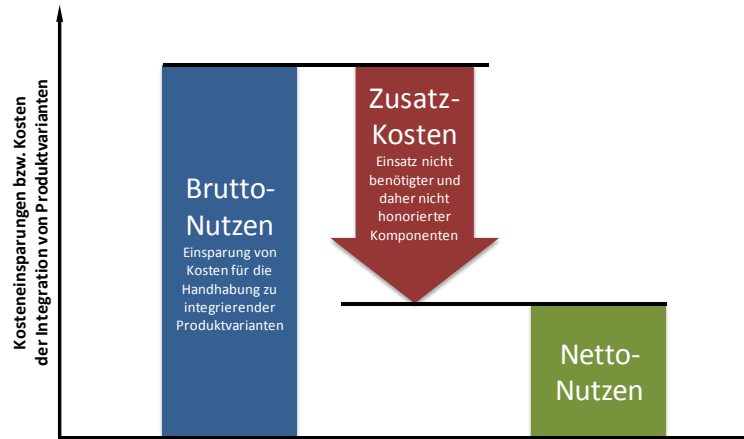


Abbildung 3-46 Brutto- und Nettonutzen der Integration von Produktvarianten

Die Herausforderung besteht in der monetären Bewertung des Bruttonutzens, also in der Beantwortung der Frage, wie groß die Kosteneinsparungen voraussichtlich sein werden. Klar ist, dass die Kosten, die es einzusparen gilt variantenproportional sind und dass die Kosteneinsparungen daher einen linearen Verlauf aufweisen (Abschnitt 2.5.2). Kosteneinsparungen, die aus der Reduktion von Produkt- bzw. Komponentenvarianten resultieren sind letztlich immer unternehmensspezifisch und müssen daher im Einzelfall abgeschätzt werden. Viele Unternehmen verfügen bereits über entsprechende Abschätzungen oder sogar empirische Studien. Liegen keine derartigen Informationen vor und sollen dennoch Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Integration von Produktvarianten getroffen werden, müssen Richtwerte verwendet werden. In der Praxis werden oft Richtwerte in der Größenordnung von 500 € pro eingesparter Produktvariante und Jahr verwendet. In der Literatur finden sich nur wenige, belastbare Werte, die jedoch in derselben Größenordnung liegen. Dem beispielhaften Kostenverlauf aus dem vorangegangenen Abschnitt wurden daher Kosteneinsparungen in genau dieser Höhe gegenübergestellt (Abbildung 3-47).

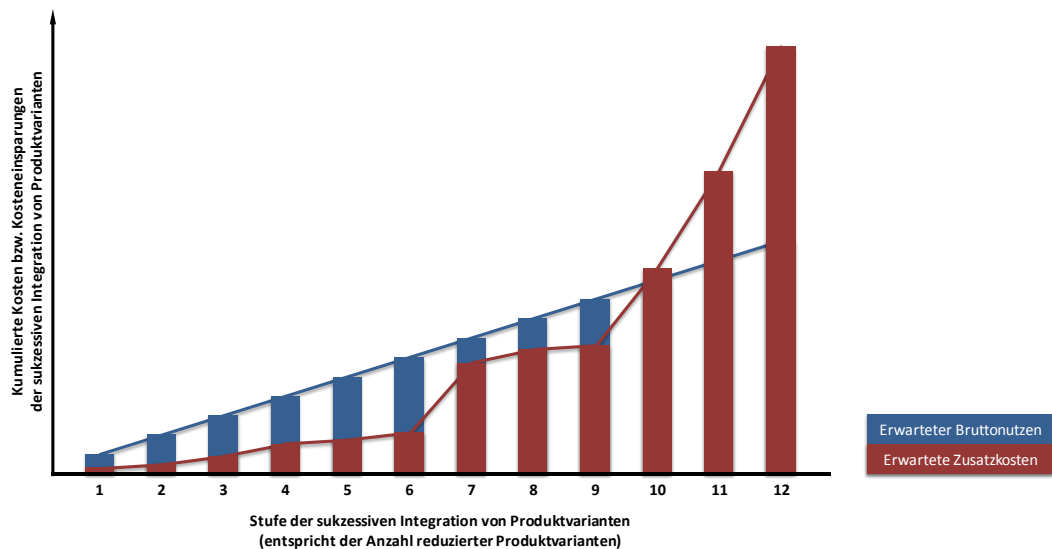


Abbildung 3-47 Gegenüberstellung der erwarteten Kosten und Kosteneinsparungen bei sukzessiver Integration von Produktvarianten

Die Gegenüberstellung der erwarteten Kosten und Kosteneinsparungen der sukzessiven Integration von Produktvarianten (in einem entsprechenden Diagramm) erlaubt die Beantwortung dreier, für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit maßgeblicher Fragen:

- **Kann die Integration von Produktvarianten des betrachteten Spektrums überhaupt wirtschaftlich sein?** Nur wenn die erwarteten Kosteneinsparungen die erwarteten Kosten zunächst übersteigen, kann die Integration von Produktvarianten überhaupt wirtschaftlich sein. Betrachtet man die Verläufe der kumulierten Integrationskosten im Diagramm, muss die Trendlinie des erwarteten Bruttonutzens also zunächst über der Trendlinie der erwarteten Zusatzkosten liegen. Im vorliegenden Beispiel ist dies der Fall.
- **Welches Höchstmaß der sukzessiven Integration von Produktvarianten ist sinnvoll?** Sobald die erwarteten Kosten die erwarteten Kosteneinsparungen übersteigen, ist die sukzessive Integration von Produktvarianten nicht mehr wirtschaftlich. Der eventuelle Schnittpunkt der beiden Trendlinien markiert das sinnvolle Höchstmaß im Diagramm. Der Schnittpunkt der beiden Trendlinien des beispielhaften Diagramms liegt zwischen der neunten und zehnten Stufe, sodass die neunte Stufe das sinnvolle Höchstmaß der Integration darstellt.
- **Welches genaue Maß der sukzessiven Integration von Produktvarianten ist sinnvoll?** Die Kenntnis des sinnvollen Höchstmaßes der sukzessiven Integration von Produktvarianten ist in den meisten Fällen von untergeordneter Bedeutung. Viel wichtiger ist die Kenntnis des Maßes, bei dem der Nettonutzen sein Maximum erreicht. Wie zuvor erläutert, ergibt sich der Nettonutzen der Integration von Produktvarianten aus der Differenz der erwarteten Kosteneinsparungen und der erwarteten

Kosten. Vor diesem Hintergrund rücken die bereits angesprochenen Sprünge im Kostenverlauf in den Mittelpunkt des Interesses. Da die Kosteneinsparungen im Gegensatz zu den Kosten einen linearen Verlauf aufweisen, kann die Kostendifferenz auf jeder Stufe der Integration (unterhalb des sinnvollen Höchstmaßes) ihr Maximum erreichen. Im vorliegenden Beispiel ist dies auf der sechsten Stufe der Fall.

Ohne fundierte Abschätzung der zu erwartenden Kosteneinsparungen, sind die Berechnung des Nettonutzens und die Bestimmung des sinnvollen Maßes der sukzessiven Integration von Produktvarianten nicht möglich. Die Berechnung der Integrationskosten und die darauf basierende Bestimmung der Integrationsreihenfolge können dennoch lohnenswert sein. Allein aus dem spezifischen Kostenverlauf der sukzessiven Integration von Produktvarianten lassen sich wertvolle Erkenntnisse ziehen, denn er kann zur Beantwortung folgender Frage dienen:

- **Welcher Nettonutzen müsste generiert werden, damit die Integration von Produktvarianten überhaupt wirtschaftlich sein kann?** Der spezifische Kostenverlauf gibt Aufschluss darüber, wie hoch die Einsparungen (auf einer bestimmten Stufe) mindestens sein müssten, um die entstehenden Zusatzkosten zu kompensieren. Wird die Höhe der zu erreichenden Einsparungen als realistisch eingeschätzt, kann die Wirtschaftlichkeit der Integration als gegeben angesehen werden. Wird die Höhe hingegen als unrealistisch eingeschätzt, ist die Integration als nicht rentabel zu bewerten.

Grundsätzliches Ziel der Integration von Produktvarianten ist die Generierung des größtmöglichen Nettonutzens. Daher reicht es normalerweise die Stufe, auf der die Differenz zwischen Kosteneinsparungen und Kosten maximal ist zu bestimmen (dritte Frage). Manchmal ist es jedoch notwendig und sogar wichtiger die Stufe, auf der die Kostendifferenz gerade noch positiv ist zu bestimmen (zweite Frage). Dies ist z. B. immer dann der Fall, wenn Schwellen zu berücksichtigen sind (vgl. Abschnitt 2.6.2) – wenn also durch die Reduktion einer Mindestanzahl von Produktvarianten zusätzliche Nutzenwirkungen generiert werden können und sollen.

Ergebnis der Phase „Wirtschaftlichkeit der Integration von Produktvarianten bewerten“ ist das gesamtwirtschaftlich sinnvolle Maß der Integration von Produktvarianten.

3.4 Software-Werkzeug zur Unterstützung der praktischen Anwendung

Die in den vorangegangenen Abschnitten erläuterten Schritte zur Abbildung und Analyse von Variantenspektren mittels Matrizen sind so komplex, vor allem aber so aufwendig, dass eine angemessene Software-Unterstützung sinnvoll und, realistische Betrachtungsumfänge vorausgesetzt, sogar unumgänglich ist. Aus diesem Grund wurde ein bestehendes Software-Werkzeug zur Handhabung von Matrizen an die spezifischen Anforderungen des vorgestellten Ansatzes angepasst. Das so entstandene Werkzeug dient der Verifikation des Ansatzes und bildet zudem die Grundlage für die zukünftige Entwicklung weiterer anwendungsspezifischer Funktionen.

3.4.1 Anforderungen an das Software-Werkzeug

Die Anforderungen an ein Software-Werkzeug, das die Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen sowie die Integration von Produkt- und Komponentenvarianten unterstützt ergeben sich direkt aus den zuvor erläuterten Vorgehensmodellen, so dass sie nicht mehr im Einzelnen beschrieben werden müssen. Stattdessen sei an dieser Stelle noch einmal auf die zentrale übergeordnete Anforderung hingewiesen: Die in der Praxis zu betrachtenden Produktvariantenspektren umfassen oft mehrere Hunderttausend Produktvarianten. Um in der Praxis einsetzbar zu sein, muss das Software-Werkzeug folglich entsprechend große Datenumfänge verarbeiten können. Diese Forderung wirkte sich auch und insbesondere auf die Definition des Formats und Prozesses zur Datenportierung aus, die in den nachfolgenden Abschnitten ausführlich beschrieben ist.

3.4.2 Auswahl des anzupassenden Software-Werkzeugs

Die Abbildung von Variantenspektren mittels Matrizen kann grundsätzlich in Tabellenkalkulationsprogrammen erfolgen. Auch die notwendigen Berechnungen können mithilfe der in den gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen enthaltenen Funktionen durchgeführt werden. Allerdings ist ein großer „manueller“ Aufwand dazu notwendig, sodass die Durchführung fehleranfällig und ausschließlich Experten vorbehalten ist. Spätestens bei der Analyse von DSM stoßen Tabellenkalkulationsprogramme zudem an ihre Grenzen, da sie (im Hinblick auf den hier vorliegenden Anwendungsfall) nur eine eingeschränkte Funktionalität bieten. So gestaltet sich allein das synchrone, manuelle Umsortieren der Zeilen und Spalten einer DSM sehr aufwendig und unübersichtlich; Funktionen zum automatischen Umsortieren (zur Cluster-Identifikation) fehlen gänzlich. Unabhängig von diesen Einschränkungen werden Tabellenkalkulationsprogramme in den meisten Fällen eingesetzt, um die notwendigen Ausgangsdaten aufzunehmen, zusammenzuführen und aufzubereiten.

Darüber hinaus gibt es Software-Werkzeuge, die von vorneherein auf die Handhabung von (umfangreichen) Matrizen spezialisiert sind, und zumindest die zur Abbildung und Analyse von Variantenspektren benötigte Grundfunktionalität bieten. Da die Anpassung eines bestehenden Werkzeugs (die entsprechende Erlaubnis vorausgesetzt) in der Regel deutlich weniger Aufwand erfordert als die Erstellung eines neuen Werkzeugs, wurde dieser Weg verfolgt.

Leider fokussieren die wenigen verfügbaren Werkzeuge zum Großteil auf sehr spezielle Anwendungsfälle und weisen daher eine ebenso spezielle Funktionalität auf. So bietet die LATTIX, INC. (2011) z. B. eine gleichnamige Software an, die ausschließlich auf die Strukturanalyse von Quelltexten anderer Software abzielt. Einen vollständigen Überblick über die verfügbaren Werkzeuge bietet das Internet-Portal DSMweb.org (LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN 2011). Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Vorgehensmodell basiert zudem auf dem von MAURER (2007) eingeführten Multiple-Domain-Ansatz (vgl. Abschnitt 3.1.7). Daher fiel die Wahl auf das Software-Werkzeug LOOME0, das als einziges über eine generische Umsetzung des Multiple-Domain-Ansatz verfügte (siehe Abschnitt 2.9.8). Die Konzeption des Software-Werkzeugs, einschließlich der benötigten Funktionen und Algorithmen, erfolgte dabei am Lehrstuhl für Produktentwicklung

der Technischen Universität München. Die Implementierung erfolgte hingegen bei der TESEON GmbH (2011), die LOOMEO entwickelt und vertreibt.

3.4.3 Importformat

Die Umsetzung des Datenimports stellte eine Kernaufgabe bei der Anpassung des Software-Werkzeugs dar. Grundlage bildete die Definition des Importformats, also die Festlegung des Dateiformats und des Layouts, in dem die benötigten Daten vorliegen müssen, um importiert werden zu können. Die Überführung von Daten in das Importformat sollte dabei einen möglichst geringen Aufbereitungsaufwand erfordern und gleichzeitig allen Unternehmen möglich sein. Die größte Herausforderung in diesem Zusammenhang bestand in der Tatsache, dass die Ausgangsdaten in unterschiedlichen Unternehmen bzw. Unternehmensbereichen in unterschiedlicher Form vorliegen (Abbildung 3-48).

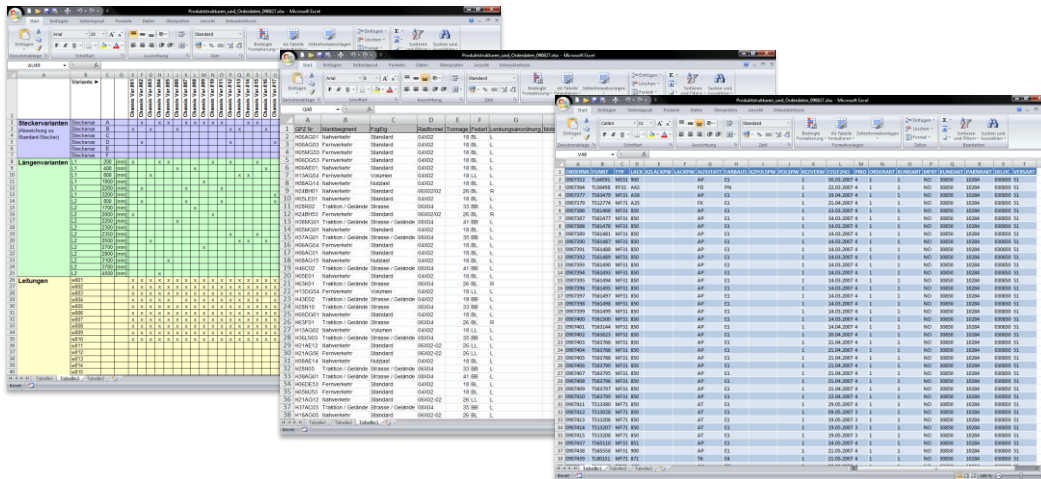


Abbildung 3-48 Unternehmensspezifische Aufbereitung von Ausgangsdaten identischer Art

Um die Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zu identifizieren, wurden Daten, die von verschiedenen Unternehmen zur Verfügung gestellt wurden verglichen. Die Daten unterschieden sich hinsichtlich folgender Aspekte:

- **Umfang:** Der Umfang der zu importierenden Daten schwankt je nach Aufgabenstellung und Verfügbarkeit. Dies betrifft insbesondere die Anzahl der zu berücksichtigenden Produktvarianten, die ohne weiteres im mittleren sechsstelligen Bereich liegen kann. Die Anzahl von Eigenschaften bzw. Komponenten, aus denen diese Produktvarianten kombiniert werden können, ist naturgemäß deutlich geringer. Trotzdem schwankt auch sie zum Teil erheblich.
- **Detaillierungsgrad:** Die meisten Unternehmen verfügen über sehr detaillierte Daten, die zur Beantwortung von Fragestellungen im Kontext des Variantenmanagements herangezogen werden könnten. Allerdings variiert der Detaillierungsgrad der tatsächlich verfügbaren Daten aufgrund verschiedener Randbedingungen, wie etwa

Geheimhaltungsgründen oder Limitierungen der zum Austausch verwendeten Dateiformate.

- **Qualität:** Verfügbare Daten umfassen einerseits solche Umfänge, die in identischer Form im alltäglichen Betrieb verwendet und daher gepflegt werden, andererseits solche, die erst für die anstehenden Betrachtungen zusammengestellt werden. Ihre Qualität hängt in beiden Fällen stark von der Anzahl der Quellen bzw. Systeme ab, aus denen sie stammen. Vielmehr aber noch von der Frage, ob sie manuell oder automatisch gepflegt bzw. zusammengestellt werden.
- **Begrifflichkeiten:** In den Ausgangsdaten unterschiedlicher Unternehmen werden immer wieder unterschiedliche Begriffe für dieselben Objekte verwendet. Wo dies möglich war wurden die Begrifflichkeiten vereinheitlicht; wo dies nicht möglich war wurde das Importformat flexibel gestaltet.
- **Datenformat:** Die verwendeten Datenformate sind in erste Linie von den verwendeten Software-Systemen abhängig. Dabei werden oft auch unterschiedliche Systeme innerhalb eines Unternehmens verwendet – gerade in großen Unternehmen.
- **Art der Aufbereitung:** Daten, auch solche gleicher Art, werden von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich aufbereitet, z. B. in Form von Listen, Tabellen oder Matrizen. Für die Definition eines einheitlichen Importformats ist die Art der Datenaufbereitung der wichtigste Aspekt. Die Art der Aufbereitung bestimmt den Aufwand, der zur Überführung der Daten nötig ist und damit auch die Komplexität des im Software-Werkzeug umzusetzenden Importprozesses.

Nachdem die Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Ausgangsdaten identifiziert wurden, konnten zunächst die benötigten Datenumfänge von den nicht benötigten abgegrenzt werden. Wie den Ausführungen in den vorangegangenen Abschnitten zu entnehmen ist, lassen sich die zu betrachtenden Elemente in drei Domänen einteilen: Produktvarianten, Eigenschaften (der Produktvarianten) und Komponenten (der Produktvarianten). Die Elemente jeder dieser drei Domänen können Attribute aufweisen, die sie näher beschreiben. Im vorliegenden Fall sind zwei Arten von Attributen von Interesse: die Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten und die Kosten von Komponenten. In den zur Verfügung stehenden Daten fanden sich zahlreiche weitere Arten von Attributen, die jedoch keinen nennenswerten Zusatznutzen bringen. Um das Importformat (und den Importprozess) so schlank wie möglich zu halten, wurden sie nicht berücksichtigt.

Alle Ausgangsdaten müssen in Form von Textdateien (*.txt) vorliegen, die Tabstoppgetrennte Werte enthalten. Diese Festlegung liegt in der Tatsache begründet, dass die meisten Datenbanken den Export von Daten im Textformat unterstützen. Zudem können Textdateien mit allen gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen editiert werden.

Sämtliche Textdateien enthalten Listen ähnlichen Aufbaus. Der Aufbau von Listen, die die Zuordnung von Eigenschaften oder Komponenten zu Produktvarianten enthalten gestaltet sich wie folgt (Abbildung 3-49): Jede Zeile entspricht genau einer Produktvariante. Die erste Spalte enthält die eindeutigen Bezeichnungen der Produktvarianten (in der Regel die Artikelnummern). Jede weitere Spalte entspricht genau einem Merkmale oder einer Komponente. Die

Einträge in einer Spalte entsprechen den Merkmalsausprägungen bzw. Komponentenvarianten, die die verschiedenen Produktvarianten kennzeichnen.

Produktvariante	Merkmal/Komponente A	Merkmal/Komponente B	Merkmal/Komponente ...
Produktvariante A	Ausprägung/Variante C	Ausprägung/Variante A	
Produktvariante B	Ausprägung/Variante C	Ausprägung/Variante C	
Produktvariante C	Ausprägung/Variante A		
Produktvariante D	Ausprägung/Variante B	Ausprägung/Variante B	
Produktvariante E	Ausprägung/Variante A	Ausprägung/Variante B	
Produktvariante F	Ausprägung/Variante C		
Produktvariante ...			

Abbildung 3-49 Aufbau von Listen mit der Zuordnung von Eigenschaften bzw. Komponenten zu Produktvarianten

Listen, die die Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten enthalten können einen alternativen Aufbau aufweisen (Abbildung 3-50). Die Besonderheit derartiger Listen liegt darin, dass sie nur eine einzige Merkmalspalte enthalten. Jeder Produktvariante können dabei mehrere Ausprägungen des einzigen Merkmals zugeordnet sein (eine Produktvariante kann also mehreren Zeilen entsprechen). Hintergrund ist eine weniger differenzierte Art der Dokumentation von Eigenschaften, die im Falle von PKW-Ausstattungen durchaus üblich ist. Anstatt z. B. „Anhängerkupplung“ als Merkmal und „ja“ bzw. „nein“ als zugehörige Ausprägungen zu definieren, werden „Ausstattung“ als übergeordnetes Merkmal und „Anhängerkupplung: ja“ bzw. „Anhängerkupplung: nein“, neben vielen anderen, als Ausprägungen definiert.

Produktvariante	Merkmal
Produktvariante A	Ausprägung A/C
Produktvariante A	Ausprägung B/A
Produktvariante B	Ausprägung A/C
Produktvariante B	Ausprägung B/C
Produktvariante C	Ausprägung A/A
Produktvariante D	Ausprägung A/B
Produktvariante D	Ausprägung B/B
Produktvariante E	Ausprägung A/A
Produktvariante E	Ausprägung B/B
Produktvariante F	Ausprägung A/C
Produktvariante ...	

Abbildung 3-50 Alternativer Aufbau von Listen mit der Zuordnung von Eigenschaften zu Produktvarianten

Da die Eigenschaften von Produktvarianten in der Praxis häufig auf mehrere Listen und darüber hinaus auf Listen beider Formen verteilt sind, können beide Formen der Liste importiert werden. Dabei können beliebig viele Listen in beliebiger Reihenfolge importiert und zu einem einzigen Datensatz zusammengefasst werden.

Der Aufbau von Listen, die dem Import der Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten oder der Preise von Komponenten dienen ähnelt dem der zuvor beschriebenen. Die erste Spalte

enthält die eindeutigen Bezeichnungen der Produktvarianten bzw. Komponenten. Die zweite Spalte enthält die zugehörigen Verkaufshäufigkeiten bzw. Kosten.

Sämtliche in den Importdateien enthaltenen Listen dienen ausschließlich als Ausgangsinformationen und werden zu keinem Zeitpunkt im Software-Werkzeug dargestellt.

3.4.4 Importprozess

Bei der Konzeption des LOOMEO V („V“ wie Variantenmanagement) genannten Software-Werkzeugs stand die Benutzerfreundlichkeit an oberster Stelle. Aus diesem Grund wurde die Durchführung sämtlicher Formatierungs- und Berechnungsschritte in den Importprozess integriert (Abbildung 3-51). Der Anwender muss lediglich die für die jeweilige Aufgabenstellung notwendigen Dateien auswählen und, in beliebiger Reihenfolge, importieren. LOOMEO V erkennt selbstständig den Aufbau der darin enthaltenen Listen, prüft deren Konsistenz und führt alle zum aktuellen Zeitpunkt möglichen Formatierungen und Berechnungen durch. (Die Laufzeit des Importprozesses korreliert dabei natürlich direkt mit dem Umfang der zu importierenden Daten.)

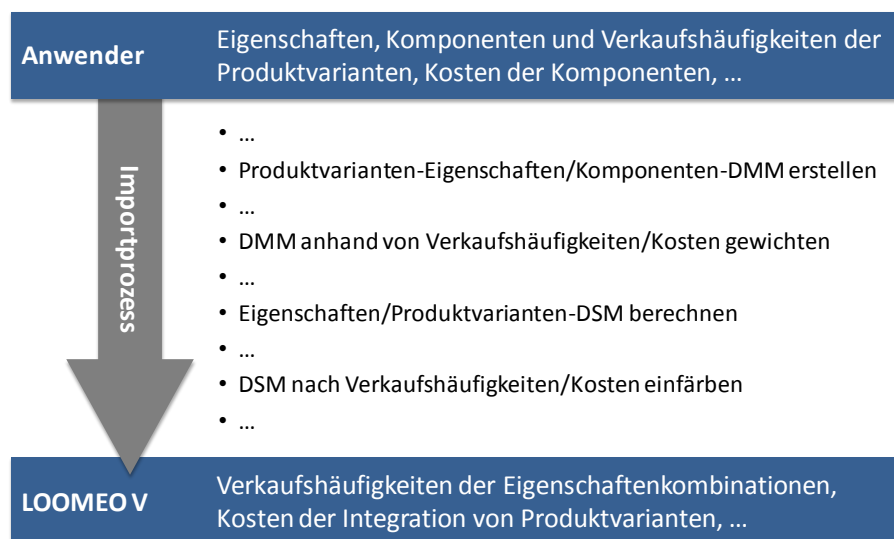


Abbildung 3-51 Integrierter Importprozess von LOOMEO V

Der Importprozess selbst läuft vollständig im Hintergrund ab, d. h. er erfordert keinerlei Benutzereingaben. Nur die Art der in den zu importierenden Listen enthaltenen Informationen (Eigenschaften/Komponenten von Produktvarianten, Verkaufshäufigkeiten von Produktvarianten oder Kosten von Komponenten) muss im Vorfeld angegeben werden (Abbildung 3-52).

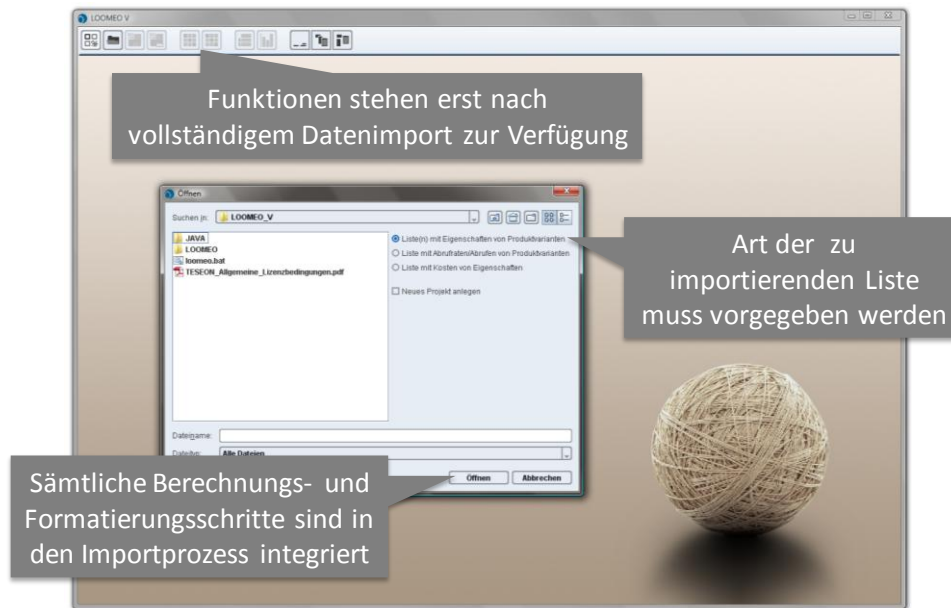


Abbildung 3-52 Importdialog von LOOME V

Auch das zugrunde liegende Datenmodell (die Multiple-Domain-Matrix) bleibt dem Anwender weitestgehend verborgen, um die Handhabung des Software-Werkzeugs so intuitiv wie möglich zu gestalten. Er sieht ausschließlich die anwendungsspezifischen Aufbereitungen der importierten Daten.

3.4.5 Aufbau des Software-Werkzeugs LOOME V

Die neu entwickelten Funktionen wurden aufgrund ihres spezifischen Anwendungsfeldes nicht in den Funktionsumfang von LOOME integriert. Stattdessen wurden sie in einer separaten Software-Variante namens LOOME V implementiert.

Um die Bedienung von LOOME V zu erleichtern, wurden alle nicht benötigten Funktionen von der Benutzeroberfläche entfernt. Um den Anwender zu führen, werden die einzelnen Funktionen zudem erst dann aktiviert, wenn die zur Ausführung benötigten Daten erfolgreich importiert wurden (siehe Abbildung 3-52).

Abhängig von den importierten Daten stehen dem Anwender Funktionen zur Verfügung, die die Einschränkung zulässiger Eigenschaftskombinationen oder die Integration von Produktvarianten unterstützen. Die nachfolgenden Abschnitte geben einen Überblick über die Umsetzung dieser Funktionen.

Einschränkung zulässiger Eigenschaftskombinationen

Die Einschränkung zulässiger Eigenschaftskombinationen basiert auf der Identifikation signifikanter Kombinationen in der Eigenschaften-DSM (vgl. Abschnitt 3.2.7). Sobald die ent-

sprechenden Daten importiert wurden, kann der Anwender die Eigenschaften-DSM anzeigen lassen. Die Zellen der Eigenschaften-DSM enthalten die relativen Verkaufshäufigkeiten der einzelnen Zweierkombination von Eigenschaften (vgl. Abschnitt 3.2.6). Um die Identifikation signifikanter Kombinationen zu unterstützen, werden die Zellen in Abhängigkeit der darin enthaltenen Werte eingefärbt. Je höher der Wert in einer Zelle ist, desto dunkler wird sie eingefärbt. Gleiches gilt für die Integrationsmatrix, die im Kontext der Integration von Produktvarianten von Interesse ist. Um die beiden Matrizen auf den ersten Blick unterscheiden zu können, werden die Zellen der Eigenschaften-DSM rot, die der Integrationsmatrix grün eingefärbt. Für die Färbung der Zellen kann ein Grenzwert festgelegt werden, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen. Zellen, die Werte unterhalb des Grenzwerts enthalten werden nicht eingefärbt und treten somit in den Hintergrund.

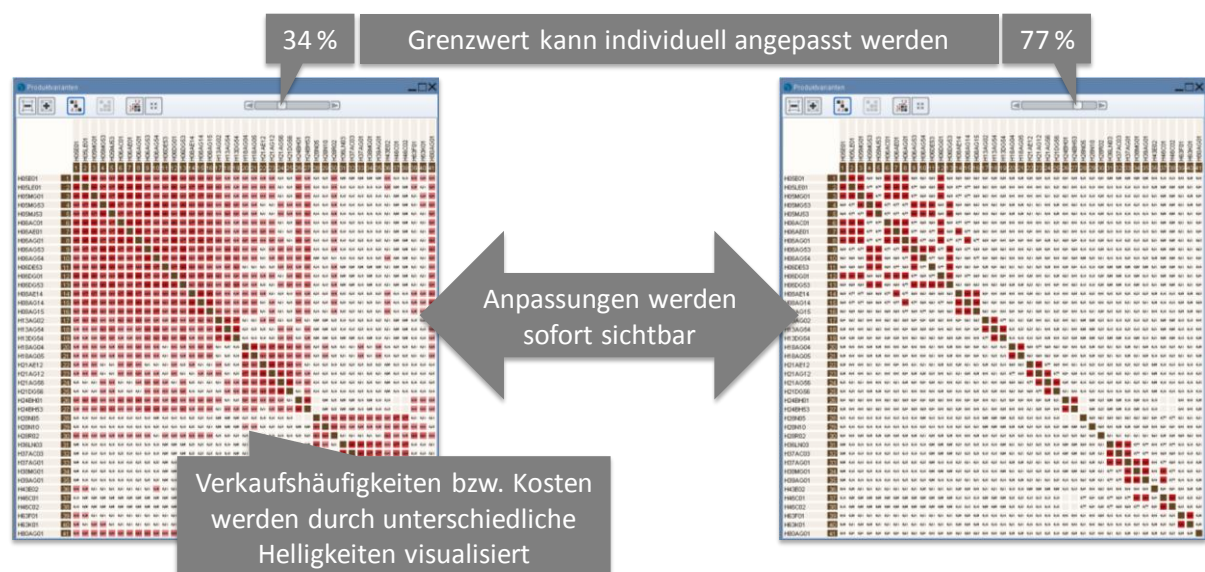


Abbildung 3-53 Visualisierung von Verkaufshäufigkeiten bzw. Kosten in der Eigenschaften-DSM (bzw. Integrationsmatrix)

Der für die Färbung von Verkaufshäufigkeiten festgelegte Grenzwert dient auch als Eingangsparameter für den entwickelten Cluster-Algorithmus (Abbildung 3-54). Alle nicht eingefärbten Zellen werden auch nicht bei der Cluster-Bildung berücksichtigt. Damit steht dem Anwender ein intuitives Mittel zur Variation der Analysen und folglich zur Betrachtung unterschiedlicher Szenarios zur Verfügung. Auf die Möglichkeit zur Variation weiterer Eingangsparameter wurde schlussendlich verzichtet, da sie weitreichendere Fachkenntnisse erfordert und die Analyseergebnisse nur in geringem Maße verbessern konnte.

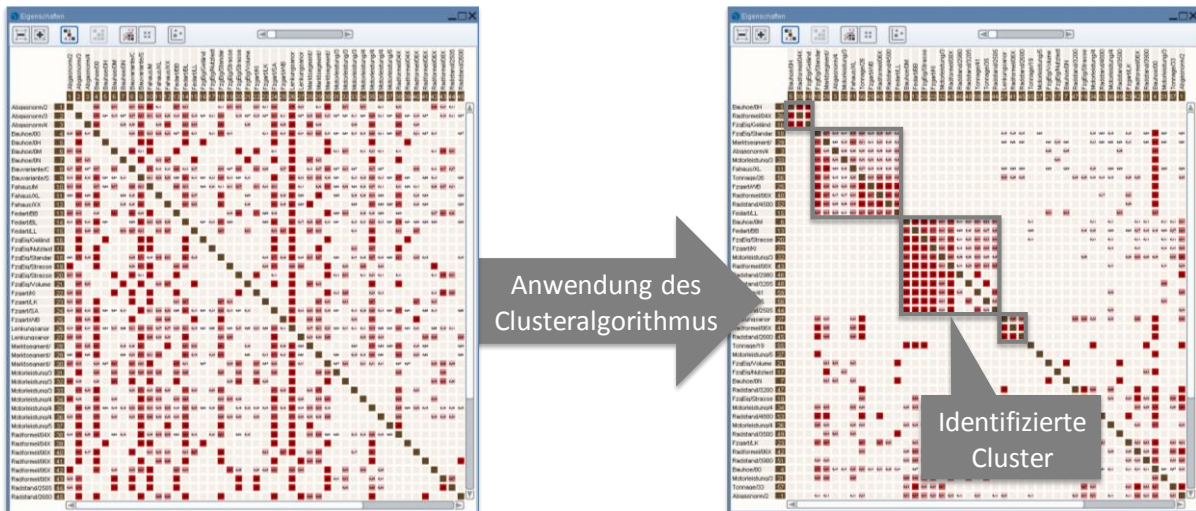


Abbildung 3-54 Identifikation von Clustern in der Eigenschaften-DSM

Die Ableitung von Kombinationszwängen und -verböten kann, allein aufgrund der vielfältigen Zielsetzungen und Randbedingungen, nicht automatisiert werden. Auch die Dokumentation von Kombinationsregeln und der ihnen zugrunde liegenden Annahmen wird nicht von LOOME V unterstützt, da es zahlreiche andere Software-Werkzeuge gibt, die bestens für diese Aufgabe geeignet sind.

Integration von Produktvarianten

Die Integration von Produktvarianten kann nur dann sinnvoll sein, wenn sie wirtschaftlich ist. Daher gilt es, die kostenoptimale Reihenfolge der Integration von Produktvarianten festzulegen. Die kostenoptimale Reihenfolge wird bereits während des Imports der entsprechenden Daten ermittelt und kann jederzeit in Form einer Liste ausgegeben werden (Abbildung 3-55). Die Liste gibt Aufschluss über die in den einzelnen Schritten zu integrierenden Produktvarianten sowie über die dadurch entstehenden Einzel- und Gesamtkosten.

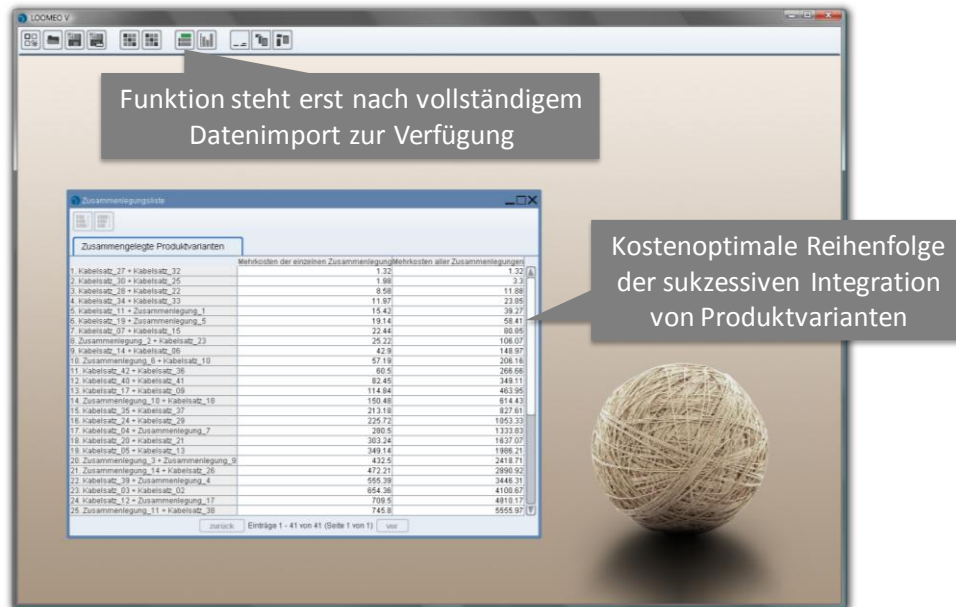


Abbildung 3-55 Kostenoptimale Reihenfolge der sukzessiven Integration von Produktvarianten in der Listenansicht („Integrationsliste“)

Der Kostenverlauf der sukzessiven Integration von Produktvarianten kann zudem in einem Säulendiagramm dargestellt werden (Abbildung 3-56). Die grafische Darstellung unterstützt insbesondere die Identifikation eventueller Sprünge im Kostenverlauf, die immer auch mit Sprüngen im Nettonutzenverlauf einhergehen und vor dem Hintergrund von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen daher große Bedeutung haben (vgl. Abschnitt 3.3.9).

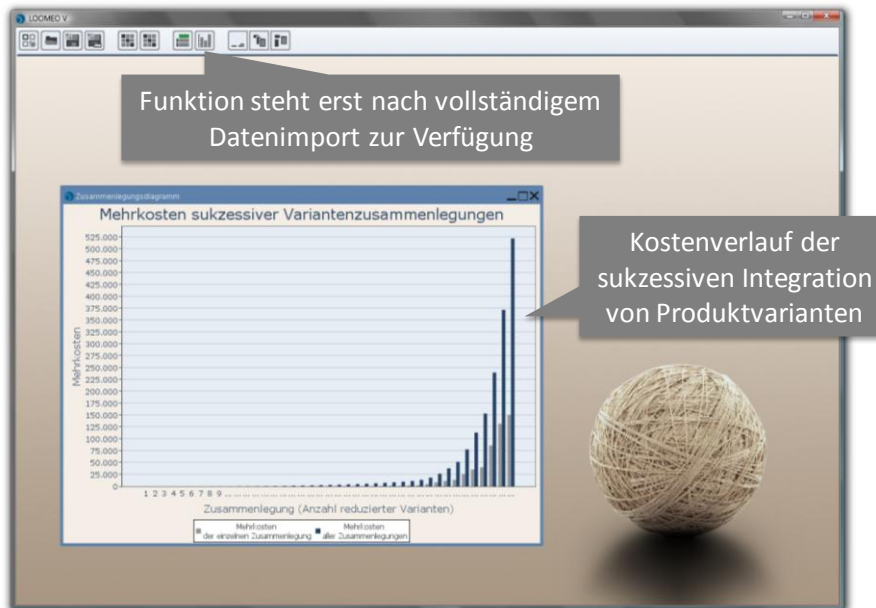


Abbildung 3-56 Kostenverlauf der sukzessiven Integration von Produktvarianten in der Diagrammansicht („Integrationsdiagramm“)

Die abschließende Wirtschaftlichkeitsbewertung erfordert, neben der Ermittlung der zu erwartenden Kosten, die Ermittlung der zu erwartenden Kosteneinsparungen (vgl. Abschnitt 3.3.9). Die direkte Gegenüberstellung der Kosten und Kosteneinsparungen in den von LOOME V zur Verfügung gestellten Listen und Diagrammen ist bislang nicht möglich. Sämtliche Listen und Diagramme können jedoch exportiert und mithilfe anderer Software-Werkzeuge weiterverwendet werden.

4. Praxisbeispiele zur Evaluation

Die in Kapitel 3 erläuterten Konzepte wurden in zwei Industrieprojekten mit unterschiedlicher Zielsetzung angewendet. Ziel des ersten Projekts war die Erarbeitung von Vorschlägen zur Reduktion von Kraftfahrzeugvarianten durch Definition von Sonderausstattungs Paketen, die sich strikt an der Kundennachfrage orientieren. Dazu wurde das Vorgehen zur Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen adaptiert. Ziel des zweiten Projekts war die Erarbeitung von Vorschlägen zur Reduktion der Varianz von Nutzfahrzeug-Kabelsätzen durch Zusammenlegung von Teilkabelsatzvarianten. Um die daraus resultierenden Kosten aufzuzeigen und zu minimieren, wurde der Ansatz zur Integration von Produktvarianten und Komponenten verfolgt. Die nachfolgenden Ausführungen sollen einen Eindruck von der praktischen Anwendung der Konzepte und den dadurch erzielten Ergebnissen vermitteln.

4.1 Paketdefinition bei Kraftfahrzeug-Sonderausstattungen

Der in Abschnitt 3.2 vorgestellte methodische Ansatz zur Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen wurden bei einem Hersteller von Kraftfahrzeugen des Premiumsegments eingesetzt, um Sonderausstattungs Pakete zu definieren, die die Verkaufs- und Markenstrategie unterstützen. Das Projekt wurde im Rahmen eines unternehmensweiten Variantenmanagement-Programms initiiert. Die erzielten Ergebnisse wurden dem Produktmanagement zur Verfügung gestellt und dienten als Entscheidungsgrundlage für die Anpassung des Angebots.

4.1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Bei der Ausstattung moderner Kraftfahrzeuge steht dem Kunden eine Vielzahl von Optionen zur Verfügung, die er nahezu nach Belieben kombinieren kann. Die daraus resultierende Anzahl möglicher Ausstattungskombinationen und damit Fahrzeugvarianten ist immens. Problematisch daran ist, dass jede zulässige Fahrzeugvariante bereits vor Markteintritt Kosten generiert. Dies beginnt bei den Kosten zur Pflege von Artikelnummern und endet bei denen für zusätzliche Erprobungen bestimmter Ausstattungskombinationen. Die Einschränkung zulässiger Ausstattungskombinationen ist folglich ein wirksames Mittel zur Kostenreduzierung. Gleichzeitig bedeutet sie immer auch eine Einschränkung des Angebots. Das tatsächliche Angebot weicht jedoch in aller Regel von dem vom Kunden wahrgenommenen, vor allem aber von dem vom Kunden genutzten, ab. Daher bietet sich oft die Möglichkeit der „verlustfreien“ Einschränkung zulässiger Ausstattungskombinationen. Der Schlüssel dazu besteht in der Identifikation von Mustern im bisherigen Bestellverhalten der Kunden und der darauf basierenden Antizipation der zukünftigen Nachfrage.

Nahezu alle Hersteller versuchen die Vielfalt von Kraftfahrzeugvarianten seit geraumer Zeit durch die Bildung von Ausstattungspaketen einzudämmen. Dabei werden Ausstattungen, die ohnehin oft oder sogar immer miteinander kombiniert werden zu einem Paket geschnürt. Die

Variantenreduktion resultiert daraus, dass man einige dieser Ausstattungen nicht mehr einzeln, sondern ausschließlich als Teil des Pakets anbietet – das Paket entspricht folglich einem Kombinationszwang. Besteht das Ziel hingegen darin, bislang selten nachgefragte Ausstattungen in den Markt zu bringen, indem man sie mit anderen, häufig nachgefragten Ausstattungen kombiniert, so können Pakete – mit einem entsprechenden Preisvorteil – auch neben den einzelnen Ausstattungen angeboten werden. In dem hier vorgestellten Projekt ging es jedoch ausschließlich um die Zwangskopplung von Ausstattungen zur Reduktion von Kraftfahrzeugvarianten.

Obwohl die Bildung von Ausstattungspaketen gängige Praxis ist, gestaltet sich die Identifikation häufig nachgefragter Ausstattungskombinationen schwierig und erfolgt zumeist heuristisch. Die Verkaufshäufigkeiten der unterschiedlichen Fahrzeugvarianten lassen sich ebenso leicht aus den Bestelldaten ermitteln, wie die der einzelnen darin enthaltenen Ausstattungen. Auch die Verkaufshäufigkeiten *vorgegebener* Ausstattungskombinationen können mit moderatem Aufwand ermittelt werden. Allerdings ist die Anzahl möglicher Ausstattungskombinationen so hoch, dass nur ein geringer Anteil betrachtet werden kann. Die systematische Identifikation häufig nachgefragter, aber *nicht* vorgegebener Ausstattungskombinationen stellt hingegen eine Herausforderung dar, derer man sich mit Hilfe der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methodik erstmals stellen konnte.

Betrachtungsgegenstand des Projekts war das umsatzstarke Mittelklassemodell des Herstellers. Dabei wurden die Sonderausstattungen aller ca. 400.000 Fahrzeuge des vorangegangenen Modelljahres berücksichtigt. Die Analysen beschränkten sich auf eine vorgegebene Auswahl von insgesamt 123 Sonderausstattungen, denen der größte technische und somit Kosteneinfluss zugesprochen wurde.

Im Verlauf des Projekts wurde eine Fülle verschiedener Analysen durchgeführt. Dazu wurde der Betrachtungsumfang immer wieder vor dem Hintergrund verschiedener Fragestellungen variiert, d. h. es wurde eine Differenzierung der Daten nach Kriterien wie dem Absatzmarkt vorgenommen. Folgende Fragestellungen standen dabei im Vordergrund:

- Gibt es Sonderausstattungs-Kombinationen, die häufig verkauft, bislang jedoch nicht als Paket angeboten werden?
- Gibt es Sonderausstattungen, die dazu geeignet wären, bestehende Pakete zu ergänzen?
- Entsprechen die bestehenden Pakete bzw. Paketvorschläge der Kundennachfrage?

Auf die Beantwortung der einzelnen Fragestellungen wird nachfolgend anhand ausgewählter Beispiele eingegangen. Aus Gründen der Geheimhaltung sind die Inhalte aller Ausführungen und Abbildungen anonymisiert.

4.1.2 Anwendung des Vorgehensmodells zur Einschränkung zulässiger Eigenschaftskombinationen

Alle benötigten Ausgangsdaten waren im ERP-System des Kraftfahrzeugherstellers enthalten. Die zur Verfügung gestellten Datenauszüge wurden nach intensiver Durchsicht von Inkonsis-

tenzen befreit. Anschließend wurden die unterschiedlichen problemspezifischen Teilumfänge (Differenzierungen) der Daten in das vorgegebene Format überführt und in LOOME V importiert, um sie in Form der normierten Eigenschaften-DSM aufzubereiten.

Die normierte Eigenschaften-DSM enthält die relativen Verkaufshäufigkeiten sämtlicher Zweierkombinationen von Sonderausstattungen. Die in diesem Fall vorgenommene Normierung weicht von der in Abschnitt 3.2.6 beschriebenen ab. Die absoluten Verkaufshäufigkeiten der Sonderausstattungs-Kombinationen wurden nicht durch die der einzelnen Sonderausstattungen dividiert, sondern durch die Gesamtzahl der verkauften Fahrzeuge. Dieser Ansatz wurde gewählt, weil die potenziellen Pakete nicht nur häufig miteinander verkaufte, sondern auch insgesamt häufig verkaufte Sonderausstattungen enthalten sollten. Ergebnis der Normierung ist eine symmetrische Eigenschaften-DSM, deren Einträge Aufschluss darüber geben, in wie viel Prozent der Fahrzeuge zwei Sonderausstattungen miteinander kombiniert wurden (Abbildung 4-1). Aus dieser Art der Eigenschaften-DSM lassen sich keine Wenn-dann-Regeln ableiten, was für die angestrebte Cluster-Identifikation jedoch irrelevant war.

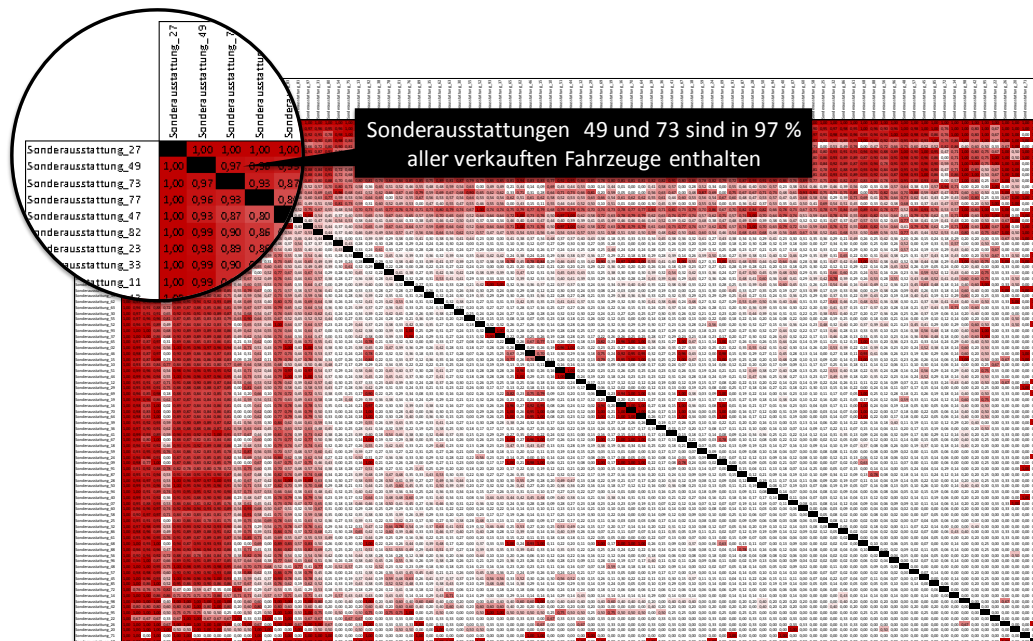


Abbildung 4-1 Kombinationshäufigkeiten der Sonderausstattungen aller Fahrzeuge in der Eigenschaften-DSM

Identifikation neuer Pakete

Die in Form der Eigenschaften-DSM aufbereiteten Kombinationshäufigkeiten der Sonderausstattungen wurden geclustert. Ein Cluster in der Eigenschaften-DSM repräsentiert eine Kombination von Sonderausstattungen, die häufig verkauft wurde und folglich ein geeignetes Paket bilden würde. Genauer gesagt würde sie ein Paket bilden, das der Kundennachfrage entspricht – als geeignet kann man ein derartiges Paket ausschließlich vor dem Hintergrund der jeweiligen Zielsetzung bezeichnen. Dabei ist es möglich, dass genau diese Kombination von Sonderausstattungen bereits als Paket angeboten wird (und sich daher der Cluster bildet).

Die Tatsache, dass sich bestehende Pakete in Form von Clustern in der Eigenschaften-DSM niederschlagen ist weniger problematisch als die, dass sämtliche Sonderausstattungen, die (auch) Teil eines bestehenden Pakets sind nicht zur Identifikation neuer Pakete herangezogen werden können – denn es ist vollkommen unklar, ob diese Sonderausstattungen tatsächlich gewünscht oder nur aufgrund bestehender Kombinationszwänge (als Teil eines Pakets) ausgewählt wurden.

Abbildung 4-2 zeigt die geclusterte Eigenschaften-DSM aller Fahrzeuge. Sie lässt vier Cluster erkennen. Die Durchsicht der darin enthaltenen Sonderausstattungen zeigte jedoch, dass alle vier Cluster in bestehenden Paketen begründet lagen.

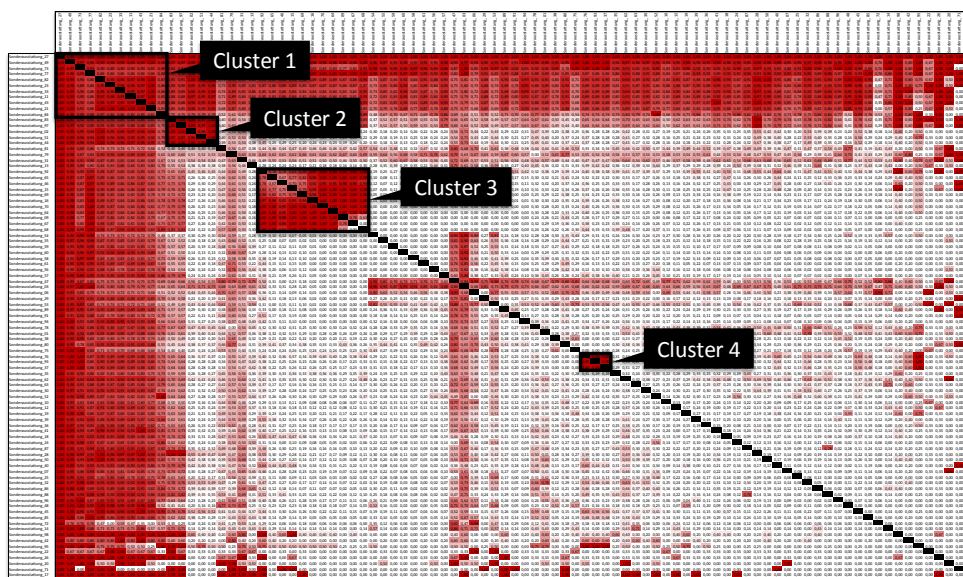


Abbildung 4-2 Geclusterte Kombinationshäufigkeiten der Sonderausstattungen aller Fahrzeuge in der Eigenschaften-DSM

Um dennoch Aussagen zum Vorhandensein geeigneter, neuer Pakete treffen zu können, wurden sämtliche Fahrzeuge, die mindestens ein Paket enthalten ausgeblendet. Die resultierende Eigenschaften-DSM wurde erneut geclustert. Nun zeigte sich ein Cluster, der sieben Sonderausstattungen (aus dem Bereich der Infotainment- und Komfortfunktionen) enthielt (Abbildung 4-3). Alle Pakete, die sich aus diesen sieben Sonderausstattungen schnüren ließen, würden der bisherigen Kundennachfrage entsprechen und sind daher als geeignet anzusehen.

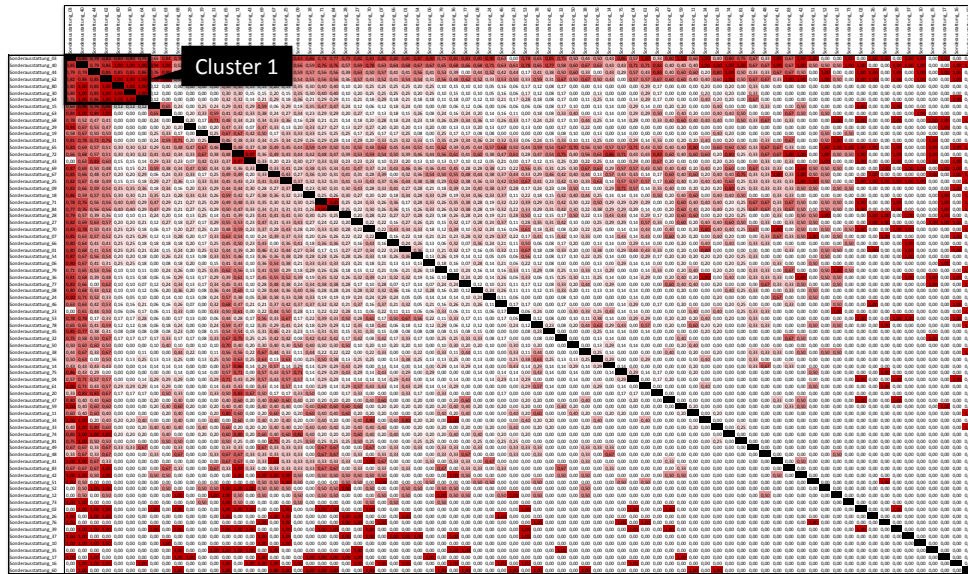


Abbildung 4-3 Geclusterte Kombinationshäufigkeiten der Sonderausstattungen aller Fahrzeuge, die keine Pakete enthalten in der Eigenschaften-DSM

Die bislang dargestellten Cluster-Analysen basierten auf der Betrachtung sämtlicher Fahrzeuge bzw. sämtlicher Fahrzeuge, die keine Pakete enthalten. Der Betrachtungsumfang kann aber auch weiter reduziert werden, um zusätzliche, z. B. marktspezifische, Pakete zu identifizieren. Im Lauf des Projekts wurden Differenzierungen nach dem Markt, dem Derivat und der Motorisierung vorgenommen. Es konnten jedoch nur einzelne Zusatzpakete identifiziert werden.

Identifikation von Paketerweiterungen

Unabhängig davon, ob geeignete neue Pakete identifiziert werden können oder nicht, stellt sich die Frage nach geeigneten Paketerweiterungen. Geeignete Paketerweiterungen sind Sonderausstattungen, die häufig mit bestehenden Paketen kombiniert werden. In der Eigenschaften-DSM würde sich in einem solchen Fall ein Cluster abzeichnen, das sämtliche Sonderausstattungen eines bestehenden Pakets, aber auch zusätzliche Sonderausstattungen enthält.

Die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten, geclusterten Eigenschaften-DSM zeigen, dass sich bei Betrachtung sämtlicher Fahrzeuge keine geeigneten Paketerweiterungen identifizieren lassen konnten – weder für bestehende (Abbildung 4-2) noch für neue Pakete (Abbildung 4-3). Gleiches galt für die nicht dargestellte Betrachtung der Fahrzeuge einzelner Märkte.

Anders verhielt es sich bei der Frage nach geeigneten Erweiterungen von Paketvorschlägen. Als Teil der Bewertung bestehender Pakete und Paketvorschläge sind sie im nachfolgenden Abschnitt aufgeführt.

Bewertung bestehender Pakete und Paketvorschläge

Eine weitere Frage, die sich im Kontext der Definition von Ausstattungspaketen stellt, ist die, ob bereits vorhandene Pakete bzw. Paketvorschläge der Kundennachfrage entsprechen und somit geeignet sind.

Die Eignung bestehender Pakete lässt sich nicht ohne weiteres mittels Cluster-Analysen bewerten. Der Grund dafür liegt wiederum in der Tatsache begründet, dass jedes bestehende Paket einen Cluster in der Eigenschaftens-DSM bildet, gleichzeitig aber nicht bekannt ist, ob die darin enthaltenen Sonderausstattungen – in genau dieser Kombination – auch freiwillig gekauft worden wären. Handelt es sich jedoch um marktspezifische Pakete, lassen sich durch den Vergleich marktspezifischer Cluster-Analysen mitunter Aussagen hinsichtlich ihrer Eignung treffen. Voraussetzung dafür ist, dass ein Paket auf einem Markt angeboten wird, auf einem anderen – ähnlichen – jedoch nicht. In der Eigenschaftens-DSM des Marktes, auf dem das Paket angeboten wird, zeigt sich ein entsprechender Cluster. Zeigt sich dieser Cluster auch in der Eigenschaftens-DSM des Marktes, auf dem das Paket nicht angeboten wird, kann es als geeignet angesehen werden. Zeigt sich der Cluster nicht, muss die Eignung des Pakets hingegen angezweifelt werden.

Marktvergleiche dieser Art basieren auf der Annahme, dass Käufer mit ähnlichem kulturellen Hintergrund, ähnliches Kaufverhalten zeigen – auch wenn sie unterschiedlichen Märkten zugeordnet sind. Auf bestimmten Märkten herrschen zudem ähnliche gesetzliche, klimatische oder andere Randbedingungen, die das Kaufverhalten auf ähnliche Art und Weise beeinflussen. Typische Gruppen von Märkten dieser Art sind Deutschland/Österreich/Schweiz, Frankreich/Italien/Spanien, Amerika/Kanada, China/Japan etc. Die beiden erstgenannten Gruppen wurden im Rahmen des Projekts für vergleichende Analysen herangezogen.

Eines der betrachteten Pakete wurde ausschließlich in Deutschland angeboten. Abbildung 4-4 zeigt den zugehörigen Cluster und die fünf darin enthaltenen Sonderausstattungen in der Eigenschaftens-DSM für den deutschen Markt.

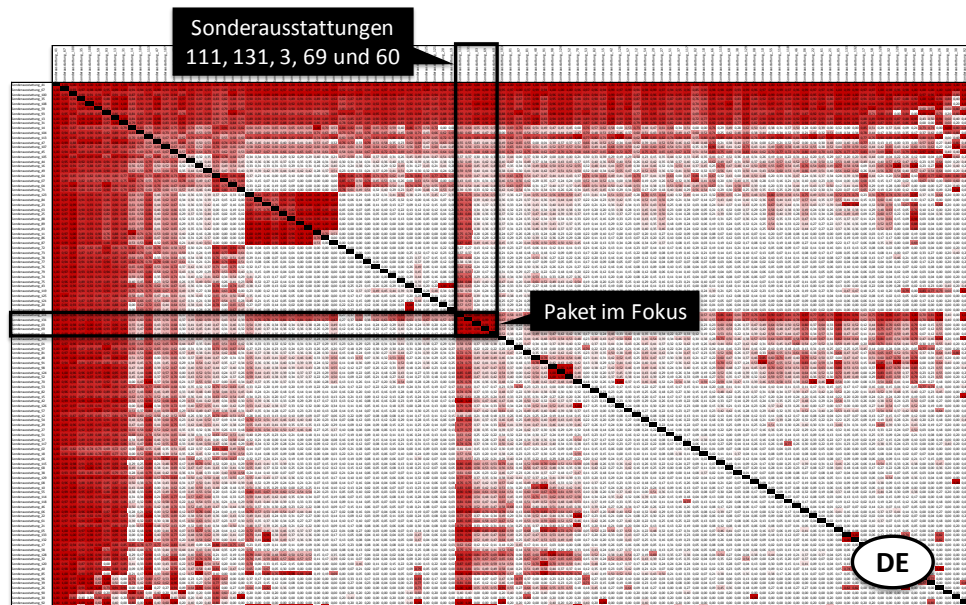


Abbildung 4-4 Kombinationshäufigkeiten der Sonderausstattungen aller auf dem deutschen Markt abgesetzten Fahrzeuge

Zum Vergleich wurde der österreichische Markt herangezogen. Abbildung 4-5 zeigt die zugehörige Eigenschaftens-DSM. Betrachtet man die Sonderausstattungen des Pakets, stellt man fest, dass die vier überhaupt verkauften Sonderausstattungen in diesem Fall keinen Cluster bilden und daher kein geeignetes Paket darstellen. Die Eignung des auf dem deutschen Markt angebotenen Pakets ist somit äußerst fraglich. Sofern es keinem anderen Zweck dient (z. B. der Steuerung der Kundennachfrage), sollte das Angebot des Pakets überdacht werden.

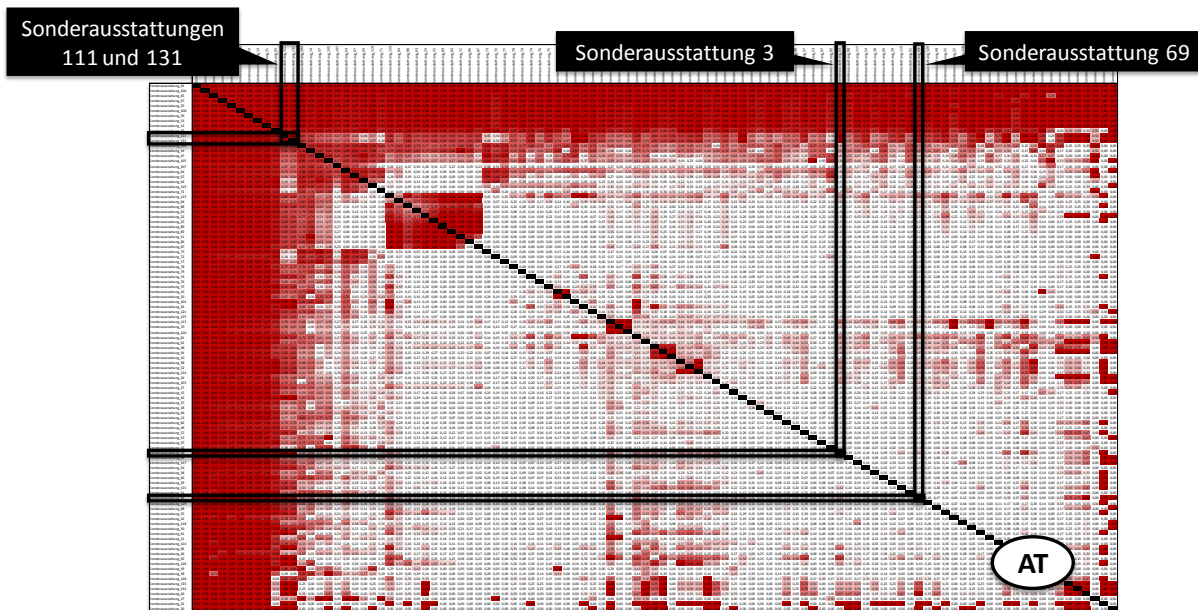


Abbildung 4-5 Kombinationshäufigkeiten der Sonderausstattungen aller auf dem österreichischen Markt abgesetzten Fahrzeuge

Im Gegensatz zu bestehenden Paketen lassen sich Vorschläge für neue Pakete direkt auf ihre Eignung prüfen. Dazu werden die zu einem Paketvorschlag gehörenden Sonderausstattungen in der Eigenschaften-DSM so angeordnet, dass sie direkt unter- bzw. nebeneinander liegen. Bilden die Kombinationshäufigkeiten nun einen Cluster, ist das Paket für den durch die Eigenschaften-DSM repräsentierten Markt geeignet. In Zuge dieser Analyse lassen sich natürlich auch Sonderausstattungen identifizieren, die nicht in das Paket passen oder das Paket ergänzen könnten.

Im vorliegenden Fall wurde ein nach Meinung des Kraftfahrzeugherstellers vielversprechender Vorschlag für ein aus sechs Sonderausstattungen bestehendes Paket auf seine Eignung überprüft. Dazu wurden die Kombinationshäufigkeiten der sechs unterschiedlichen Märkte analysiert, für die das Paket vorgesehen war. Es konnte gezeigt werden, dass das vorgeschlagene Paket für den deutschen, italienischen und chinesischen Markt geeignet, für den großbritannischen, japanischen und US-amerikanischen Markt jedoch nicht geeignet wäre. Abbildung 4-6 zeigt beispielhaft die relevanten Ausschnitte aus der Eigenschaften-DSM des deutschen und des großbritannischen Markts.

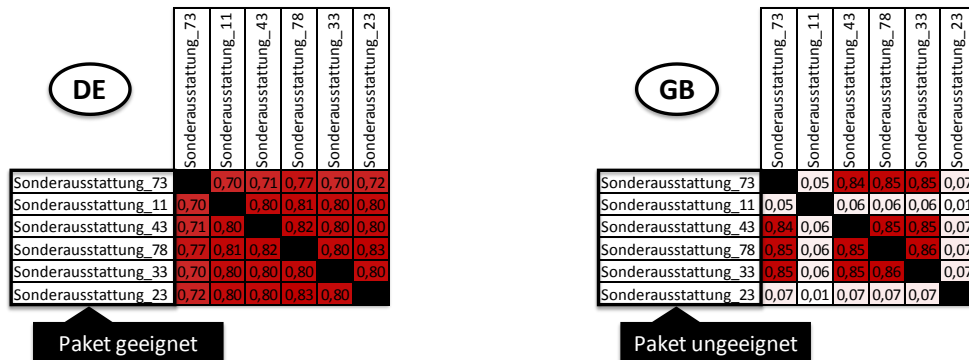


Abbildung 4-6 Kombinationshäufigkeiten der Sonderausstattungen eines Paketvorschlags auf unterschiedlichen Märkten

Die Kombinationshäufigkeiten der in dem vorgeschlagenen Paket enthaltenen Sonderausstattungen schwanken auf dem deutschen Markt zwischen 70 und 83 Prozent, weshalb das Paket als geeignet angesehen wurde. Die Frage, wie hoch die Kombinationshäufigkeiten mindestens sein müssen ist im Einzelfall zu beantworten. Sollen die Sonderausstattungen wie in diesem Fall nicht mehr (alle) einzeln angeboten werden, bedeutet die Definition eines Pakets einen Kombinationszwang und damit eine Einschränkung des Angebots. Je höher die in einem Cluster enthaltenen Kombinationshäufigkeiten sind, desto weniger Kunden sind von der Angebotseinschränkung betroffen. Die Höhe der Schmerzgrenze ist dabei naturgemäß unternehmens- und situationsspezifisch. Auf dem großbritannischen Markt lag der Großteil der Kombinationshäufigkeiten deutlich unter 10 Prozent. Daher war es naheliegend, das vorgeschlagene Paket als ungeeignet anzusehen.

Die Cluster-Analyse gibt nicht nur Aufschluss darüber, ob eine vorgeschlagene Auswahl von Sonderausstattungen ein geeignetes Paket bilden würde. Sie gibt auch Aufschluss darüber, ob eine weiter eingeschränkte Auswahl von Sonderausstattungen ein geeignetes Paket bilden würde. Betrachtet man den Cluster aus der Eigenschaften-DSM des großbritannischen Marktes, erkennt man sofort, dass die Sonderausstattungen 73, 43, 78 und 33 ein durchaus geeignetes Paket bilden würden. Umgekehrt ausgedrückt erkennt man, dass die Sonderausstattungen 11 und 23 nicht in das vorgeschlagene Paket passen. Für den japanischen und US-amerikanischen Markt konnten ähnliche Einschränkungen ermittelt werden.

In der Gesamtmatrix können mittels entsprechender Sortierung zudem all jene Sonderausstattungen sichtbar gemacht werden, die eine geeignete Ergänzung des vorgeschlagenen Pakets darstellen würden. So konnten auf dem deutschen und italienischen Markt geeignete Ergänzungen für die vorgeschlagene Auswahl von Sonderausstattungen, auf dem großbritannischen Markt für die eingeschränkte Auswahl von Sonderausstattungen identifiziert werden.

4.1.3 Schlussfolgerungen

Die Praxistauglichkeit des Vorgehens zur Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen konnte, ebenso wie die des Software-Werkzeugs LOOME V, anhand der Anwendung im Rahmen der Paketdefinition von Kraftfahrzeug-Sonderausstattungen demonstriert werden. Insbesondere die von vornherein geforderte Eignung für umfangreiche Variantenspektren konnte durch die Berücksichtigung von 123 Sonderausstattungen und über 400.000 Fahrzeugvarianten bestätigt werden.

Sämtliche zu Beginn des Projekts formulierten Fragestellungen konnten auf Grundlage der matrixbasierten Identifikation von Mustern im Bestellverhalten der bisherigen Kunden beantwortet werden:

- Auf Ebene des Gesamtspektrums konnte ein geeignetes, neues Paket identifiziert werden. Auf Ebene der Teilspektren konnten zusätzliche markt-, derivat- und motorisierungsspezifische Pakete identifiziert werden.
- Weder auf Ebene des Gesamtspektrums noch auf Ebene der Teilspektren konnten geeignete Paketerweiterungen identifiziert werden. Lediglich für den vorgelegten Paketvorschlag konnten marktspezifische Erweiterungen identifiziert werden.
- Die Eignung der bestehenden, marktspezifischen Pakete konnte in einigen Fällen verifiziert, in anderen falsifiziert werden.
- Die Eignung des vorgelegten Paketvorschlags konnte für die Hälfte der vorgesehenen Märkte verifiziert, für die andere Hälfte falsifiziert werden.

Die Ergebnisse des Projekts konnten maßgeblich zur Objektivierung der Paketdefinition beitragen und bildeten eine wertvolle Entscheidungsgrundlage für das Produktmanagement.

Das Praxisbeispiel verdeutlicht einen der wichtigsten Grundsätze der Methodenanwendung: Jede Methodenbeschreibung beinhaltet mehr oder weniger detaillierte Vorgaben. Diese Vorgaben sind als Empfehlungen zu verstehen, die es nicht stur zu befolgen gilt. Vielmehr muss jede Methode vor dem Hintergrund der jeweiligen Aufgabenstellung adaptiert werden. Den wichtigsten Erfolgsfaktor für die aufgabenspezifische Adaption stellt dabei die Erfahrung der Anwender dar. So wurde im vorliegenden Fall eine von den Vorgaben in Abschnitt 3.2.5 abweichende Form der Normierung gewählt, um die projektspezifischen Anforderungen berücksichtigen zu können. Darüber hinaus mussten die Clusteranalysen in Form des bis dahin nicht vorgesehenen Markvergleichs erweitert werden. Nur so konnten die benötigten Aussagen letzten Endes abgeleitet werden.

4.2 Variantenreduktion bei Nutzfahrzeug-Kabelsätzen

Der in Abschnitt 3.3 vorgestellte methodische Ansatz zur Integration von Produktvarianten und Komponenten wurde bei einem Konfektionär von Bordnetzsystemen eingesetzt, um die Variantenvielfalt eines in Nutzfahrzeugen verbauten Teilkabelsatzes zu reduzieren. Das Projekt wurde von einer Gruppe der Entwicklungsabteilung initiiert, die sich ausschließlich mit Themen aus dem Bereich des Variantenmanagements auseinandersetzt.

4.2.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

In den meisten modernen Kraftfahrzeugen werden heute kundenindividuelle Kabelsätze verbaut. Derartige Kabelsätze enthalten ausschließlich benötigte Komponenten, orientieren sich also strikt an der kundenindividuellen Ausstattung der Einzelfahrzeuge. Die Bevorzugung dieses Konzepts liegt vor allem in einer von den Kraftfahrzeugherstellern auf die Spitze getriebenen Kosten- und Gewichtsreduzierung begründet. (Die Nachrüstung von Komponenten zum Anschluss besonders beliebter Ausstattungsoptionen stellt im Übrigen ein äußerst lukratives Nachverkaufsgeschäft dar.) Die meisten Komponenten eines Kabelsatzes bleiben dem Endkunden jedoch verborgen. Daher wäre es ohne weiteres möglich, auch nicht benötigte Komponenten zu verbauen, was bis in die 90er-Jahre hinein durchaus üblich war. In jüngerer Zeit werden seitens der Kabelsatzhersteller immer wieder Stimmen laut, die in diesem Konzept eine vielversprechende Möglichkeit sehen, der kontinuierlich steigenden Variantenvielfalt zu begegnen. Das nachfolgend beschriebene Projekt wurde durchgeführt, um die Potenziale anhand eines konkreten Anwendungsfalls zu evaluieren.

Betrachtungsgegenstand des Projekts waren Teilumfänge eines kundenindividuellen Kabelsatzes aus dem Nutzfahrzeugbereich. Der Kabelsatz war vollständig modularisiert, d. h. sämtliche Komponenten waren zu Modulen zusammengefasst, die sich an den zur Verfügung stehenden Ausstattungskombinationen orientierten. Die Module selbst standen nicht zur Disposition, sondern wurden als geeignet erachtet (Informationen zu den in den Modulen enthaltenen Komponenten lagen ohnehin nicht vor).

Die 13 zu betrachtenden Module konnten, Kombinationszwänge und -verbote aufseiten der Ausstattungen außer Acht gelassen, zu 576 Kabelsatzvarianten kombiniert werden, von denen in der Vergangenheit jedoch nur 42 nachgefragt wurden. Auf Wunsch des Herstellers beschränkten sich die Betrachtungen auf die 42 nachgefragten Kabelsatzvarianten.

Übergeordnetes Ziel des Projekts war die Integration von Kabelsatzvarianten. Die in der Folge verbauten, aber nicht benötigten Komponenten können dem direkten Kunden, anders als dem Endkunden, natürlich nicht verborgen bleiben. Da sie mit potenziellen Nachteilen (wie Klappern, Feuchtigkeitseintritt etc.) verbunden sind, deren Vermeidung Zusatzaufwände verursacht, können sie ihm nur durch die Weitergabe entsprechender Preisvorteile schmackhaft gemacht werden. Die Spielräume bei der Preisgestaltung hängen dabei direkt von den durch die Variantenintegration realisierbaren Kostenvorteilen ab. Primäres Ziel des Projekts war daher die Bewertung und die darauf basierende Maximierung der Kosteneinsparungen.

Die nachfolgend dargestellten Analysen wurden im Rahmen einer Pilotstudie durchgeführt, weshalb die Bezeichnungen der Kabelsatzvarianten und Module von vornherein vom Hersteller anonymisiert wurden. Bis auf die Tatsache, dass es sich bei dem Betrachtungsgegenstand um Teile eines Nutzfahrzeug-Kabelsatzes handelt, wurden zudem keine Informationen zum Kunden sowie zur Anwendung preisgegeben. Für die Integrationsanalyse selbst waren diese Informationen nicht von Belang.

4.2.2 Anwendung des Vorgehensmodells zur Integration von Kabelsatzvarianten

Grundlage der Integrationsanalyse bildete die Information, welche Kabelsatzvarianten welche Module enthalten. Diese dem PDM- bzw. ERP-System zu entnehmende Information wurde vom Kabelsatzhersteller in Form einer Matrix zur Verfügung gestellt. Die Matrix bestand aus 41 Zeilen, die den Kabelsatzvarianten entsprachen, und 13 Spalten, die den Modulen entsprachen. Jeder Eintrag in der Matrix bedeutete, dass die Kabelsatzvariante der entsprechenden Zeile das Modul der entsprechenden Spalte enthielt. Die zur Verfügung gestellte Matrix entsprach damit exakt dem in Abschnitt 3.3.3 beschriebenen Aufbau der Produktvarianten-Komponenten-DMM. Ergänzt wurde sie um die durchschnittlichen, jährlichen Verkaufshäufigkeiten der Kabelsatzvarianten und die aktuellen Kosten der darin enthaltenen Module.

Bei den enthaltenen Modulen konnte es sich um gänzlich unterschiedliche Module oder aber um unterschiedliche Varianten desselben Moduls handeln, was sich ohne Hintergrundinformationen nicht eindeutig aus der Matrix herauslesen ließ. Da selbst die Integration von Kabelsatzvarianten, die unterschiedliche Varianten desselben Moduls enthalten denkbar wäre und ausdrücklich berücksichtigt werden sollte, war diese Art der Differenzierung jedoch nicht notwendig.

Die in der Matrix enthaltenen Ausgangsinformationen wurden zunächst so formatiert, dass sie in LOOME V importiert werden konnten. Anschließend wurde die in Abbildung 4-7 dargestellte Integrationsmatrix berechnet, die die Basis aller Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen darstellte.

Abbildung 4-7 Zusatzkosten der Integration aller Zweierkombinationen von Kabelsatzvarianten in der Integrationsmatrix

Die Zeilen und Spalten der Matrix sind symmetrisch aufeinander abgestimmt. Die Zeileinträge geben Aufschluss über die jährlichen Zusatzkosten, die durch die Integration zweier Kabelsatzvarianten entstehen würden. Diese Zusatzkosten ent-

stehen, wie in Abschnitt 3.3 ausführlich erläutert, durch den Einsatz nicht benötigter und daher nicht bezahlter Komponenten (sog. Give-away-Content). Um diejenigen Kabelsatzvarianten identifizieren zu können, deren Integration die niedrigsten Zusatzkosten verursachen würden, wurden die Zellen der Integrationsmatrix in Abhängigkeit der darin enthaltenen Werte grün eingefärbt (je dunkler eine Zelle eingefärbt ist, desto niedriger ist der darin enthaltene Wert).

Steht die Integration zweier Kabelsatzvarianten aus irgendeinem Grund zur Debatte, kann mithilfe der Integrationsmatrix sofort eine Aussage zu den dadurch entstehenden Zusatzkosten gemacht werden. Die Integrationsmatrix stellt also eine in der alltäglichen Praxis nutzbare Entscheidungsgrundlage und damit das erste geforderte Ergebnis des Projekts dar.

Die abgebildete Integrationsmatrix enthält die Zusatzkosten der Integration *sämtlicher* Zweierkombinationen von Kabelsatzvarianten. Sollte die Integration zweier Kabelsatzvarianten aus technischen oder anderen Gründen nicht sinnvoll erscheinen, können die Einträge in den entsprechenden Zellen gelöscht werden, um nicht weiter berücksichtigt zu werden. Im Interesse größtmöglicher Ergebnisoffenheit wurden im vorliegenden Fall jedoch keine derartigen Einschränkungen gemacht. Stattdessen wurden sämtliche Einträge für die Ermittlung der kostenminimalen Integrationsreihenfolge herangezogen.

Die sukzessive Integration von Produktvarianten führt zu Zusatzkosten, deren Verlauf von der Integrationsreihenfolge abhängt. Da möglichst viele Produktvarianten integriert und somit reduziert werden sollen, ist ein möglichst langsam ansteigender Kostenverlauf optimal. Die Ermittlung der kostenoptimalen Integrationsreihenfolge basiert auf der iterativen Identifikation der kostengünstigsten Integration und der anschließenden Neuberechnung der Integrationsmatrix (vgl. Abschnitt 3.3.8). Die Ergebnisse dieses Vorgehens werden in der Integrationsliste zusammengefasst.

Abbildung 4-8 zeigt die Integrationsliste der betrachteten Kabelsatzvarianten. Sie gibt Aufschluss über die kostenoptimale Reihenfolge und enthält detaillierte Informationen zu jeder einzelnen Stufe der Integration. Neben den zu integrierenden Kabelsatzvarianten sind dies die (kumulierten) Integrationskosten, der kumulierte Bruttonutzen sowie deren Differenz, der alles entscheidende, kumulierte Bruttonutzen.

Integrationsstufe (Anzahl reduzierter Kabelsatzvarianten)	Zu integrierende Kabelsatzvarianten		Integrationskosten	Kumulierte Integrationskosten	Kumulierter Bruttonutzen	Kumulierter Nettonutzen
1	Kabelsatzvariante_27	Kabelsatzvariante_32	1,32 €	1,32 €	500,00 €	498,68 €
2	Kabelsatzvariante_25	Kabelsatzvariante_30	1,98 €	3,30 €	1.000,00 €	996,70 €
3	Kabelsatzvariante_22	Kabelsatzvariante_28	8,58 €	11,88 €	1.500,00 €	1.488,12 €
4	Kabelsatzvariante_33	Kabelsatzvariante_34	11,97 €	23,85 €	2.000,00 €	1.976,15 €
5	Kabelsatzvariante_11	Stufe_1	15,42 €	39,27 €	2.500,00 €	2.460,73 €
6	Kabelsatzvariante_7	Kabelsatzvariante_15	22,44 €	61,71 €	3.000,00 €	2.938,29 €
7	Kabelsatzvariante_23	Stufe_2	25,22 €	86,93 €	3.500,00 €	3.413,07 €
8	Kabelsatzvariante_6	Kabelsatzvariante_14	42,90 €	129,83 €	4.000,00 €	3.870,17 €
9	Kabelsatzvariante_13	Kabelsatzvariante_19	54,23 €	184,06 €	4.500,00 €	4.315,94 €
10	Kabelsatzvariante_36	Kabelsatzvariante_42	60,50 €	244,56 €	5.000,00 €	4.755,44 €
11	Kabelsatzvariante_40	Kabelsatzvariante_41	82,45 €	327,01 €	5.500,00 €	5.172,99 €
12	Stufe_3	Stufe_7	86,45 €	413,46 €	6.000,00 €	5.586,54 €
13	Kabelsatzvariante_10	Stufe_5	110,08 €	523,54 €	6.500,00 €	5.976,46 €
14	Kabelsatzvariante_9	Kabelsatzvariante_17	114,84 €	638,38 €	7.000,00 €	6.361,62 €
15	Kabelsatzvariante_39	Stufe_10	127,10 €	765,48 €	7.500,00 €	6.734,52 €
16	Kabelsatzvariante_26	Stufe_13	169,58 €	935,06 €	8.000,00 €	7.064,94 €
17	Kabelsatzvariante_35	Kabelsatzvariante_37	213,18 €	1.148,24 €	8.500,00 €	7.351,76 €
18	Kabelsatzvariante_24	Kabelsatzvariante_29	225,72 €	1.373,96 €	9.000,00 €	7.626,04 €
19	Kabelsatzvariante_4	Stufe_6	280,50 €	1.654,46 €	9.500,00 €	7.845,54 €
20	Kabelsatzvariante_20	Kabelsatzvariante_21	303,24 €	1.957,70 €	10.000,00 €	8.042,30 €
21	Kabelsatzvariante_5	Stufe_16	314,09 €	2.271,79 €	10.500,00 €	8.228,21 €
22	Stufe_11	Stufe_17	642,68 €	2.914,47 €	11.000,00 €	8.085,53 €
23	Kabelsatzvariante_2	Kabelsatzvariante_3	654,36 €	3.568,83 €	11.500,00 €	7.931,17 €
24	Kabelsatzvariante_12	Stufe_19	709,50 €	4.278,33 €	12.000,00 €	7.721,67 €
25	Kabelsatzvariante_18	Stufe_9	729,60 €	5.007,93 €	12.500,00 €	7.492,07 €
26	Stufe_8	Stufe_12	840,30 €	5.848,23 €	13.000,00 €	7.151,77 €
27	Kabelsatzvariante_8	Kabelsatzvariante_16	844,80 €	6.693,03 €	13.500,00 €	6.806,97 €
28	Stufe_4	Stufe_15	1.171,06 €	7.864,09 €	14.000,00 €	6.135,91 €
29	Stufe_14	Stufe_26	1.212,20 €	9.076,29 €	14.500,00 €	5.423,71 €
30	Kabelsatzvariante_38	Stufe_22	1.273,91 €	10.350,20 €	15.000,00 €	4.649,80 €
31	Stufe_20	Stufe_23	1.456,99 €	11.807,19 €	15.500,00 €	3.692,81 €
32	Stufe_21	Stufe_25	1.485,54 €	13.292,73 €	16.000,00 €	2.707,27 €
33	Kabelsatzvariante_1	Stufe_31	2.845,69 €	16.138,42 €	16.500,00 €	361,58 €
34	Stufe_18	Stufe_29	3.180,00 €	19.318,42 €	17.000,00 €	-2.318,42 €
35	Kabelsatzvariante_31	Stufe_32	3.823,20 €	23.141,62 €	17.500,00 €	-5.641,62 €
36	Stufe_24	Stufe_34	6.734,17 €	29.875,79 €	18.000,00 €	-11.875,79 €
37	Stufe_28	Stufe_30	9.286,05 €	39.161,84 €	18.500,00 €	-20.661,84 €
38	Stufe_27	Stufe_36	16.858,80 €	56.020,64 €	19.000,00 €	-37.020,64 €
39	Stufe_33	Stufe_35	38.715,31 €	94.735,95 €	19.500,00 €	-75.235,95 €
40	Stufe_37	Stufe_39	102.273,94 €	197.009,89 €	20.000,00 €	-177.009,89 €
41	Stufe_38	Stufe_40	275.066,91 €	472.076,80 €	20.500,00 €	-451.576,80 €

Abbildung 4-8 Integrationskosten sowie Brutto- und Nettonutzen der sukzessiven Integration von Kabelsatzvarianten in der Integrationsliste

Die Integrationsliste enthält letztlich alle Informationen, die zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit notwendig sind. Um diese Informationen anschaulicher zu machen, wurden sie jedoch in Form der nachfolgend erläuterten Diagrammen aufbereitet.

Abbildung 4-9 zeigt den Verlauf der entstehenden Zusatzkosten (Integrationskosten) im Vergleich zu dem der erwarteten Kosteneinsparungen (Bruttonutzen).

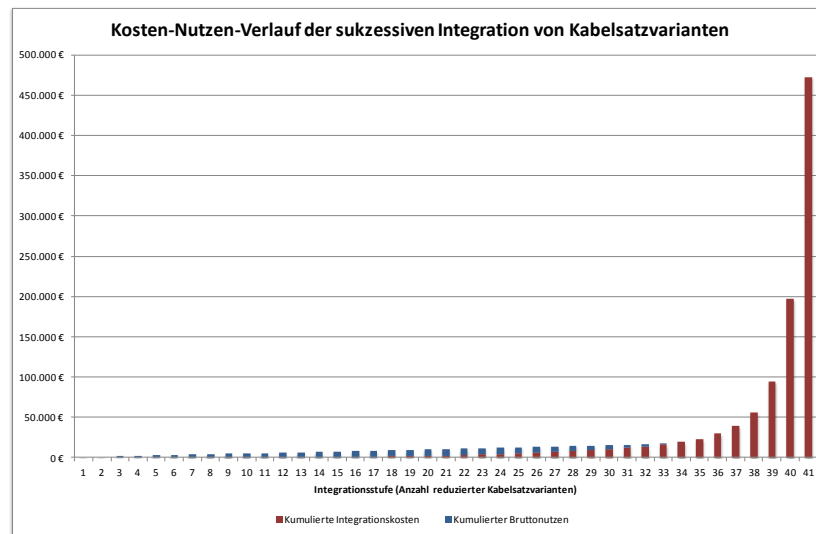


Abbildung 4-9 Kosten-Nutzen-Verlauf der sukzessiven Integration von Kabelsatzvarianten

Die Integrationskosten zeigten den erwarteten exponentiellen Verlauf. Da der Bruttonutzen als variantenproportional angenommen wurde, zeigte er hingegen einen linearen Verlauf.

Die Höhe der durch die Reduzierung einer einzelnen Kabelsatzvariante eingesparten Kosten wurde nach ausführlicher Diskussion auf 500 € pro Jahr festgesetzt. Erste Einschätzungen lagen im hohen dreistelligen bis niedrigen vierstelligen Bereich. Da keine empirischen Daten vorlagen und die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse nicht unnötig riskiert werden sollte, konnten sich letztlich konservativere Einschätzungen durchsetzen.

Das Diagramm zeigt sehr anschaulich, dass die Integrationskosten den Bruttonutzen erst ab der 34. Stufe, also bei einer Reduzierung von mehr als 33 Kabelsatzvarianten, übersteigen würden. Die realistische Einschätzung der Kosteneinsparungen vorausgesetzt, wäre also eine verlustfreie Reduktion der Kabelsatzvarianten um bis zu 80 Prozent möglich. Würde man dieses Potenzial ausschöpfen, wäre der Nettonutzen jedoch minimal, d. h. es entstünden keine nennenswerten Kostenvorteile, die an den Kunden weitgegeben werden könnten. Um die Integrationsstufe zu ermitteln, auf der sich der größte Nettonutzen realisieren ließe, wurde der wirtschaftliche Bereich der Variantenintegration daher genauer betrachtet (Abbildung 4-10).

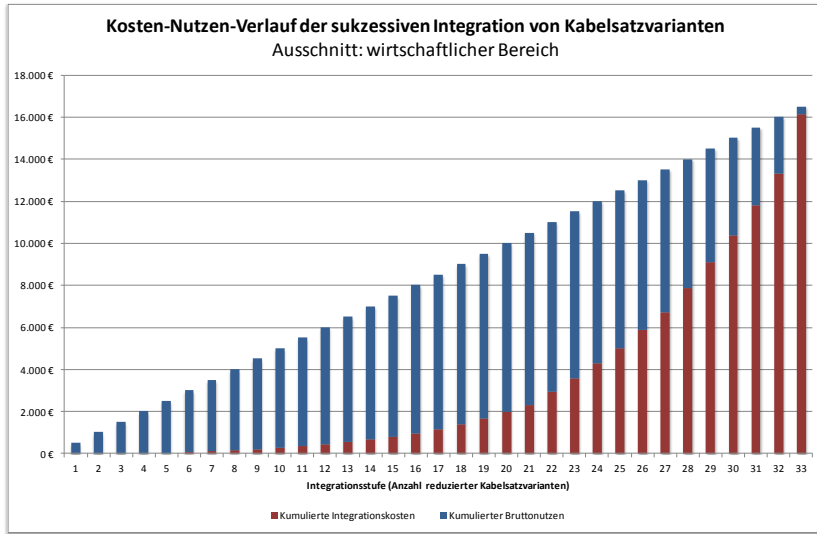


Abbildung 4-10 Kosten-Nutzen-Verlauf im wirtschaftlichen Bereich der sukzessiven Integration von Kabelsatzvarianten

Aufgrund des progressiven Verlaufs der Zusatzkosten und des linearen Verlaufs des Bruttonutzens war der Nettonutzen wie zu erwarten im mittleren, wirtschaftlichen Bereich am größten. Die genaue Höhe des maximalen Nettonutzens konnte, ebenso wie die genauen Unterschiede zwischen den einzelnen Integrationsstufen, am anschaulichsten in einem separaten Diagramm aufbereitet werden, das in Abbildung 4-11 enthalten ist.

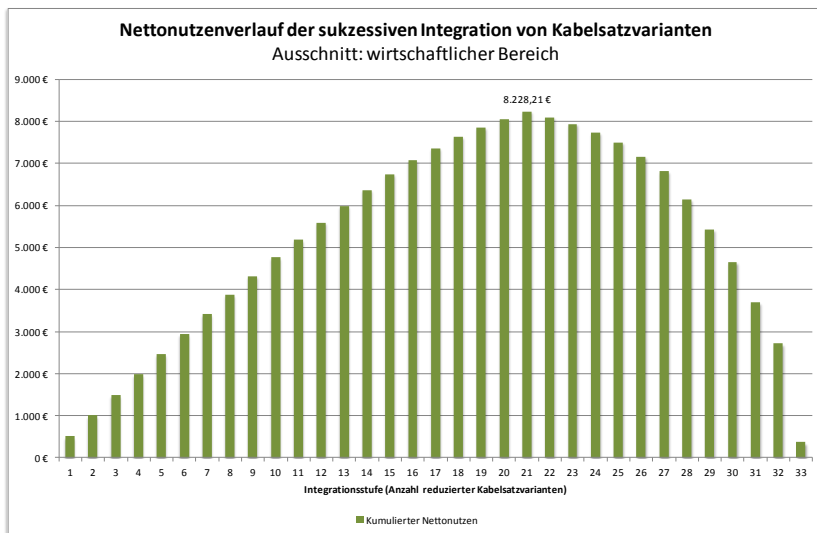


Abbildung 4-11 Nettonutzenverlauf im wirtschaftlichen Bereich der sukzessiven Integration von Kabelsatzvarianten

Das Diagramm lässt sofort erkennen, dass der Nettonutzen auf der 21. Integrationsstufe, und damit bei einer Reduktion von 21 Kabelsatzvarianten, mit 8.228,21 € pro Jahr sein Maximum erreichen würde. Legt man den durchschnittlichen Jahresabsatz von ca. 12.000 Kabelsätzen und deren aktuelle Herstellkosten zugrunde, entspräche das einem Kostenvorteil von ca. 2 Prozent.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Genauigkeit des ermittelten Nettonutzens direkt von der Genauigkeit des angenommenen Bruttonutzens abhängt. Dabei ermöglicht folgende Extremal Betrachtung eine Sensitivitätsanalyse für jede konkrete Stufe: Sollte die angenommene Einsparung von 500 € pro reduzierter Kabelsatzvariante und Jahr zu hoch sein – wie hoch müsste die tatsächliche Einsparung mindestens sein, damit die Integration zumindest wirtschaftlich ist? Im vorliegenden Fall läge der Wert auf der 21. Stufe bei ca. 100 €. Die mindestens zu erreichende Kosteneinsparung müsste also nur ca. ein Fünftel des angenommenen und durchaus realistischen Wertes betragen. Der Spielraum für Fehleinschätzungen wäre demnach groß.

4.2.3 Schlussfolgerungen

Die Methodik zur Integration von Produktvarianten und Komponenten sowie das Software-Werkzeug LOOME V wurden im Rahmen der Variantenreduktion von Nutzfahrzeug-Kabelsätzen erfolgreich in der industriellen Praxis eingesetzt. Als Ergebnis des Projekts konnte das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Integration von Kabelsatzvarianten erstmals monetär bewertet werden, was die dringend notwendige Objektivierung der darüber geführten Diskussion zur Folge hatte.

Im Verlauf des Projekts zeigte sich, dass bereits die theoretische Auseinandersetzung mit der Integration von Produktvarianten Grundsatzdiskussionen provoziert. So wurden bei der unternehmensinternen Präsentation von Zwischenergebnissen Stimmen laut, die die Integration von Kabelsatzvarianten gänzlich ausschlossen. Begründet wurde diese Ablehnungshaltung damit, dass jede nicht benötigte Komponente die Gefahr des Klapperns und des Feuchtigkeitseintritts birgt – und dass dies keinem Kunden zu vermitteln sei.

Es ist unbestritten, dass der Einsatz nicht benötigter Komponenten zu technischen Herausforderungen führt, die vom Kunden gescheut werden. Das liegt jedoch in erster Linie in den Kosten zur Bewältigung dieser Herausforderungen begründet, sodass man davon ausgehen kann, dass die Integration von Produktvarianten grundsätzlich akzeptabel ist – wenn der Preis stimmt. Außerdem war der Einsatz nicht benötigter Kabelsatzkomponenten (sowie auch der anderer Kraftfahrzeugkomponenten) bis in die jüngere Vergangenheit gängige Praxis bei den meisten Herstellern und ist dies bei einigen Herstellern noch heute. Dabei erleben derartige Konzepte gerade im stark wachsenden Low-Cost-Segment naturgemäß eine Renaissance. Die strikte Ablehnung dieser Konzepte ist Ausdruck einer nach wie vor in vielen deutschen Unternehmen vorherrschenden Orientierung am Premiumsegment, die oft unnötig, falsch verstandenen und aus wirtschaftlicher Sicht durchaus nicht unproblematische ist.

Die Eignung des vorgestellten Ansatzes kann letztlich unabhängig von der Frage, wie realistisch oder unrealistisch die Integration von Produktvarianten ist, bewertet werden. Immerhin ist es das ausdrückliche Ziel des Ansatzes, objektive Voraussetzungen zur Beantwortung eben

dieser Frage zu schaffen. So machte es die im Rahmen des hier vorgestellten Projekts geschaffene Kostentransparenz überhaupt erst möglich, über die Sinnhaftigkeit der Integration von Kabelsatzvarianten zu diskutieren. Darüber hinaus bildete sie die bis dahin einzige objektive Basis, um mit dem direkten Kunden über die Konditionen der Variantenintegration zu verhandeln.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die nachfolgenden Ausführungen fassen die Inhalte der vier vorangegangenen Kapitel zusammen. Dabei wird noch einmal auf ausgewählte Aspekte der Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung sowie die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit eingegangen. Abschließend wird der zukünftige Forschungsbedarf dargestellt.

5.1 Zusammenfassung

Die Variantenvielfalt von Konsum- und Investitionsgütern aller Art ist in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen und wird es nach einhelliger Meinung der meisten Beobachter weiter tun. Auch wenn immer wieder darauf verwiesen wird, dass die zunehmende Erfüllung kundenindividueller Anforderungen lediglich die unvermeidbare Reaktion auf die sich ändernden Wettbewerbsbedingungen sei, wird diese Entwicklung in vielen Bereichen aktiv vorangetrieben. So vergeht kein Jahr in dem nicht mindestens einer der deutschen Automobilhersteller die nächste Modelloffensive ankündigt.

Den positiven Auswirkungen, die man sich von der fortwährenden Differenzierung des Produktprogramms erhofft stehen jedoch zahlreiche negative Auswirkungen entgegen. Vor allem die Tatsache, dass die negativen Auswirkungen die Beherrschbarkeitsgrenze in vielen Unternehmen zu überschreiten drohten hat in den letzten Jahren zu einer Sensibilisierung der Entscheider geführt. Daher wird ein wirksames Variantenmanagement heute nicht nur als sinnvoll, sondern vielmehr als notwendig erachtet.

Zur aktuellen Situation gehört aber nicht nur die Notwendigkeit des Variantenmanagements in vielen Bereichen, sondern auch die oft vollkommen unkritische und undifferenzierte Akzeptanz dieser Einschätzung, die letztlich dazu führt, dass Aktivitäten gestartet werden, die schlichtweg unnötig sind oder aufgrund der spezifischen Randbedingungen gar nicht wirksam sein können.

In der jüngeren Vergangenheit konnten sich eine Reihe unterschiedlicher Ansätze zur Vermeidung, Reduzierung und Handhabung großer Variantenvielfalt etablieren. Dabei lässt sich feststellen, dass ein Großteil der Konzepte auf die effiziente konstruktive Umsetzung der Varianz oder aber auf die effiziente Produktion variantenreicher Produkte abzielt und somit erst in vergleichsweise späten Phasen des Produktentstehungsprozesses wirksam werden kann.

Viele, die Variantenvielfalt maßgeblich beeinflussende Entscheidungen werden in der Praxis nach wie vor auf Grundlage subjektiver Einschätzungen getroffen. Dieser Zustand ist nicht nur deshalb bedauernd, weil er immer wieder zu suboptimalen Ergebnissen führt, sondern weil er vielfach nicht gerechtfertigt ist. Immerhin verfügen die meisten Unternehmen über Daten, die als objektive Entscheidungsgrundlage dienen könnten. Doch auch wenn entsprechende Daten vorliegen, können diese oft nicht genutzt werden, da sie zu umfangreich bzw. nicht problemadäquat aufbereitet sind. So werden Möglichkeiten verschenkt, die den potenziellen Nutznießern meist nicht einmal bekannt sind.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Konzepte entwickelt, die sich vorliegender, mitunter äußerst umfangreicher Daten bedienen, um sie zur Beantwortung von Fragestellungen heranzuziehen, die nicht im Fokus bisheriger Ansätze des Variantenmanagements standen. Grundlage und zentralen Entwicklungsbestandteil dieser Konzepte bildet die aufgabenspezifische, matrixbasierte Aufbereitung der Daten. Um die zuverlässige und aufwandsarme Handhabung großer Datenumfänge in der Praxis zu ermöglichen, wurde das Software-Werkzeug LOOME0 adaptiert. Auf Basis der matrixbasierten Notation wurden zwei Vorgehensmodelle entwickelt, die auf die Vermeidung bzw. Reduzierung von Variantenvielfalt, auch in den frühen Phasen der Produktentstehung, abzielen. Das erste Modell dient der Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen, um die Angebotsvielfalt an die Kundennachfrage anzupassen bzw. um die Kundennachfrage zu steuern. Das zweite Modell ermöglicht Kosten-Nutzen-Bewertungen bei der Integration von Produktvarianten und Komponenten. Übergeordnetes Ziel beider Vorgehensmodelle ist die Objektivierung der Entscheidungsfindung im Variantenmanagement.

Die Eignung der entwickelten Vorgehensmodelle und des Software-Werkzeug LOOME0 V konnte durch den Einsatz im Rahmen zweier Beratungsprojekte in der Automobil- und Automobilzuliefererindustrie verifiziert werden. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Konzepte flexibel genug sind, um an projektspezifische Ziele und Randbedingungen angepasst werden zu können.

5.2 Ausblick

Zentrales Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist die, auf der konsequenten gedanklichen Trennung der Eigenschaften und Komponenten von Produktvarianten basierende, matrixbasierte Notation zur Abbildung auch umfangreicher Variantenspektren. Auf Basis dieses Konzepts wurden zwei Vorgehensmodelle entwickelt und anhand verschiedener Praxisbeispiele evaluiert. Daraus ergeben sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Stoßrichtungen für die Zukunft. Basierend auf der matrixbasierten Notation von Variantenspektren können weitere Vorgehensmodelle entwickelt werden, die zur Beantwortung gänzlich anderer als der im Kontext dieser Arbeit aufgeworfenen Fragestellungen dienen. Wie der Austausch mit Angehörigen verschiedenster Unternehmen immer wieder zeigt, ist der strukturierte Umgang mit Eigenschaften- und Komponentenkombinationen ein wichtiger, aber oft vernachlässigter Erfolgsfaktor für die Beantwortung einer ganzen Reihe bislang unbeantworteter Fragestellungen des Variantenmanagements. Andererseits können die vorhandenen Vorgehensmodelle adaptiert werden, um auf andere Anwendungsfälle übertragen zu werden. So wäre das Vorgehen zur Einschränkung zulässiger Eigenschaften- und Komponentenkombinationen, gewisse Modifikationen vorausgesetzt, durchaus geeignet, um sog. Einkaufswagenanalysen durchzuführen, also Muster im Bestellverhalten der Kunden von Internet-Shops zu identifizieren.

Angesichts der zentralen Forderung, Variantenspektren realen Umfangs betrachten zu können, war die Notwendigkeit angemessener Software-Unterstützung von Beginn an absehbar. Auch wenn das entwickelte Software-Werkzeug über den Prototypenstatus hinausgeht und bereits erfolgreich unter Praxisbedingungen eingesetzt wurde, wäre eine Vielzahl von Detailverbesserungen denkbar und mitunter notwendig. Bei der Konzeption des Software-

Werkzeugs wurde die Bedienbarkeit von Beginn an in den Vordergrund gestellt und darauf geachtet, den Funktionsumfang auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Trotzdem stellt LOOME V bislang ein Experten-Tool dar. Um es einem breiteren Anwenderkreis zugänglich zu machen, müsste das Bedienkonzept in weiten Teilen überarbeitet werden.

Unabhängig von den konkreten im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konzepten besteht nach wie vor dringender Forschungsbedarf im Bereich des Variantenmanagements. Problematisch ist vor allem, dass man sich in der Praxis hauptsächlich von subjektiven Einschätzungen leiten lässt. Dabei zeigt die Erfahrung aus verschiedenen Projekten, dass selbst designierte Experten, wenn es z. B. um die Abschätzung der Verkaufshäufigkeiten von Ausstattungen geht, ohne weiteres um den Faktor zehn danebenliegen. Jeder Ansatz, der das Bewusstsein für die potenziellen Folgen derartiger Fehleinschätzungen schärft oder sogar zur Objektivierung der Entscheidungsfindung beiträgt, fördert den strukturierten Umgang mit Eigenschaften- und Komponentenkombinationen und stellt somit einen wertvollen Beitrag zur systematischen Gestaltung von Produktvariantenspektren dar.

6. Literaturverzeichnis

ADAM, D.:

Produktionsmanagement. 9. Aufl.
Wiesbaden: Gabler 1998.

AKAO, Y.:

QFD – Quality Function Deployment.
Landsberg: Moderne Industrie 1992.

ALDERS, K.:

Komplexitäts- und Variantenmanagement bei der AUDI AG. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion.
Berlin: Springer 2006, S. 221-237.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (HRSG.):

Potential Failure Mode and Effects Analysis – FMEA. 4. Aufl.
Southfield, MI: AIAG 2008.

AVAK, B.:

Variant Management of Modular Product Families in the Market Phase.
Zürich: ETH, Diss. 2007. (Nr. 16885)

A.T. KEARNEY, INC. (HRSG.):

http://www.atkearney.com/india/images/global/pdf/complexity_management_s.pdf.
[entnommen am 06.02.2011, URL:
http://www.atkearney.com/india/images/global/pdf/complexity_management_s.pdf].

BACKHAUS, K.:

Investitionsgütermarketing. 3. Aufl.
München: Vahlen 1992. (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften)

BAUMBERGER, G. C.:

Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten.
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 75)
Zugl. München: TU, Diss. 2007

BLEES, C.; KIPP, T.; BECKMANN, G.; KRAUSE, D.:

Development of Modular Product Families: Integration of Design for Variety and Modularization. In: Dagman, A.; Söderberg, R. (Hrsg.): Proceedings of the 8th International NordDesign Conference 2010, Gothenburg.
Gothenburg: Design Society 2010, S. 159-168.

BLÜMELHUBER, C.:

Marketing-Grundlagen. Markt und Marktverhalten.

München: TU, Lehrstuhl für Absatz- und Distributionswirtschaft, Umdruck zur Vorlesung Marketing-Grundlagen 2005.

BOHNE, F.:

Entwicklungsbegleitendes Komplexitätsmanagement bei BMW – Konzepte und Methoden zur Gestaltung der Kosten der Vielfalt. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, Würzburg.

Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 15-37. (VDI-Berichte 1434)

BONGULIELMI, L.; HENSELER, P.; PULS, C.; MEIER, M.:

The K- & V-Matrix Method – an Approach in Analysis and Description of Variant Products. In: Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design (ICED01), Glasgow. Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 571-578.

BRAUN, T.; DEUBZER, F.:

New Variant Management Using Multiple-Domain Mapping. In: Lindemann, U.; Danilovic, M.; Deubzer, F.; Maurer, M.; Kreimeyer, M. (Hrsg.): Proceedings of the 9th International DSM Conference, München.

Aachen: Shaker 2007, S. 363-372.

BRINKOP, A.:

Marktführer Produktkonfiguration.

Oberschlettenbach: Brinkop Consulting (Hrsg.) 2009.

BROCKHOFF, K.:

Produktpolitik. 4. Aufl.

Stuttgart: Lucius & Lucius 1999.

BROWNING, T.:

Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions.

IEEE Transactions on Engineering Management 48 (2001) 3, S. 292-306.

CAESAR, C.:

Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte – Variant Mode and Effects Analysis (VMEA).

Düsseldorf: VDI-Verlag 1991. (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 218)

Zugl. Aachen: RWTH, Diss. 1991

CHILD, P.; DIEDERICHS, R.; SANDERS, F. H.; WISNIOWSKI, S.:

The Management of Complexity.

Sloan Management Review 33 (1991) 1, S. 72-80.

DANILOVIC, M.; BÖRJESSON, H.:

Participatory Dependence Structure Matrix Approach. In: Proceedings of the 3rd Dependence Structure Matrix (DSM) International Workshop, Cambridge.
Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology 2001.

DANILOVIC, M.; BROWNING, T.:

A Formal Approach for Domain Mapping Matrices (DMM) to Complement Design Structure Matrices (DSM). In: Proceedings of the 6th Design Structure Matrix (DSM) International Workshop, Cambridge.
Cambridge: University of Cambridge, Engineering Design Centre 2004

DANILOVIC, M.; BROWNING, T.:

Managing Complex Product Development Projects with Design Structure Matrices and Domain Mapping Matrices.
International Journal of Project Management 25 (2007) 3, S. 300-314.

DANILOVIC, M.; SIGEMYR, T.:

Multiplan – A New Multi-Dimensional DSM-Tool. In: Proceedings of the 5th Dependence Structure Matrix (DSM) International Workshop, Cambridge.
Cambridge: University of Cambridge 2003.

DEUBZER, F.; BRAUN, T.; MAURER, M.; LINDEMANN, U.:

Applying the Multiple Domain Mapping Approach to Variant Management. In: Marjanovic, D. (Hrsg.): Proceedings of the 10th International Design Conference 2008 (DESIGN 2008), Cavtat-Dubrovnik.
Cavtat-Dubrovnik: Design Society 2008, S. 335-342.

DIN 199-1:

Technische Produktdokumentation – CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten – Teil 1: Begriffe.
Berlin: Beuth 2002.

DIN 2330:

Begriffe und Benennungen; Allgemeine Grundsätze.
Berlin: Beuth 1993.

DUDEN, K. (BEGR.):

Das Fremdwörterbuch. 10. Aufl.
Mannheim: Dudenverlag 2010. (Der Duden in 12 Bänden, Band 5)

DUDEN, K. (BEGR.):

Die deutsche Rechtschreibung. 25. Aufl.
Mannheim: Dudenverlag 2009. (Der Duden in 12 Bänden, Band 1)

- EHINGER, G.; VON EISENHART-ROTHER, M.; HAUCK, C.; KLOSTERMANN, F.; KRUGMANN, R.; MURTIĆ, S.; PURI, W.; SPORS, K.; ZSCHEILE, M.:
Komplexitätsmanagement. In: Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle, U. (Hrsg.): Leitprojekt „integrierte Virtuelle Produktentstehung – iViP“, Abschlussbericht – Juni 2002.
Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2002, S. 106-114.
- EHRENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.:
Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. 6. Aufl.
Berlin: Springer 2007.
- EICHINGER, M.; MAURER, M.; PULM, U.; LINDEMANN, U.:
Extending Design Structure Matrices and Domain Mapping Matrices by Multiple Design Structure Matrices. In: Proceedings of the 8th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ASME-ESDA06), Torino.
Torino: ASME 2006.
- EMCIEN, INC.:
Emcien - Pattern Based Analytics.
[entnommen am: 20.02.2011, URL: <http://www.emcien.com/>].
- ENGELHARDT, W. H.; KLEINALTENKAMP, M.; RECKENFELDERBÄUMER, M.:
Leistungsbündel als Absatzobjekte.
Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 45 (1993) 5, S. 394-426.
- ERICSSON, A.; ERIXON, G.:
Controlling Design Variants. Modular Product Platforms.
Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers (Hrsg.) 1999.
- EWF INSTITUTE NOAE:
NoAE ® - Network of Automotive Excellence: Aktuelles.
[entnommen am 04.08.2010, URL: <http://www.noae.com/de/>].
- FIXSON, S. K.:
Modularity and Commonality Research: Past Developments and Future Opportunities.
Concurrent Engineering 15 (2007) 2, S. 85-111.
- FIRCHAU, N. L.; FRANKE, H.-J.:
Methoden zur Variantenbeherrschung in der Produktentwicklung. In: Franke, H.-J.; Hesselbach, J.; Huch, B.; Firchau, N. L. (Hrsg.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
München: Hanser 2002, S. 1-25.

FIRCHAU, N. L.; FRANKE, H.-J.; HUCH, B.; MENGE, M.:

Variantenmanagement: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen erfolgreich beherrschen.
In: Franke, H.-J.; Hesselbach, J.; Huch, B.; Firchau, N. L. (Hrsg.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
München: Hanser 2002, S. 1-25.

FLÜCKIGER, M.; RAUTERBERG, M.:

Komplexität und Messung von Komplexität.
Zürich: ETH, Institut für Arbeitspsychologie 1995. (Technical Report IfAP/ETH/CC-01/95)
[entnommen am 06.02.2011, URL:
<http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/publications/COMPLEXITY95paper.pdf>].

FORD, H.; CROWTHER, S.:

My Life and Work.
Garden City, NY: Doubleday, Page & Company 1922.

FRANKE, H.-J.; FIRCHAU, N. L.:

Zusammenfassender Zwischenbericht des Kalenderjahres 1998 für das BMBF-Projekt Methoden und Werkzeuge zur Konstruktion variantenreicher Produktspektren in der Einzel- und Kleinserienfertigung – „EVAPRO“.
Braunschweig: TU, Institut für Konstruktionslehre, Maschinen und Feinwerkelemente 1998.

FRANKE, H.-J.; HERRMANN, C.; HUCH, B.; LÖFFLER, S. (HRSG.):

Kooperationsorientiertes Innovationsmanagement – Ergebnisse des BMBF-Verbundprojektes GINA „Ganzheitliche Innovationsprozesse in modularen Unternehmensnetzwerken“.
Berlin: Logos 2005.

FRANKE, H.-J.; HESSELBACH, J.; HUCH, B.; FIRCHAU, N. L. (HRSG.):

Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
München: Hanser 2002.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG:

Ganzheitliches Variantenmanagement.
[entnommen am: 22.01.2011, URL: <http://www.ipa.fraunhofer.de/index.php?id=826>].

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND KONSTRUKTIONSANLAGEN:

Willkommen zu iViP Homepage.
[entnommen am: 23.01.2011, URL: <http://www.ivip.de/>].

GEMBRY, S.-N.:

Ein Modell zur Reduzierung der Variantenvielfalt in Produktionsunternehmen.
Berlin: IPK 1998. (Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin)
Zugl. Berlin: TU, Diss. 1998

GIENKE, H.; KÄMPF, R.:

Handbuch Produktion: Innovatives Produktionsmanagement: Organisation, Konzepte, Controlling.
München: Hanser 2007.

GÖKER, H. M.:

Einbinden von Erfahrungen in das konstruktionsmethodische Vorgehen.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1996. (VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 1, Nr. 268)
Zugl. Darmstadt: TU, Diss. 1996

GREEN, P. E.; SRINIVASAN, V.:

Conjoint Analysis in Consumer Research: Issues and Outlook.
Journal of Consumer Research 5 (1978) 2, S. 103-123.

GREEN, P. E.; CARROLL, J. D.; GOLDBERG, S. M.:

A general approach to product design optimization via conjoint analysis.
Journal of Marketing 45 (1981) 3, S. 17-37.

GROßE-HEITMEYER, V.; WIENDAHL, H.-P.:

Einführung. In: Wiendahl, H.-P; Gerst, D.; Keunecke, L. (Hrsg.): Variantenbeherrschung in der Montage. Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe.
Berlin: Springer 2004, S. 1-19.

HAUSER, J. R.; CLAUSING, D.:

The House of Quality.
Harvard Business Review 66 (1988) 3, S. 63-73.

HEINA, J.:

Variantenmanagement: Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt.
Wiesbaden: Gabler 1999.
Zugl. Cottbus: Brandenburgische TU, Diss. 1999

HICHERT, R.:

Probleme der Vielfalt, Teil 3: Was bestimmt die optimale Erzeugnisvielfalt?
wt – Zeitschrift für industrielle Fertigung 76 (1986) 11, S. 673-676.

HILL, W.; RIESER, I.:

Marketing-Management.
Bern: Haupt 1993.

ID-CONSULT GMBH:

ID-Consult GmbH : Ziele - Ihre Experten für komplexe Entwicklungsprojekte. Ideen. Konzeption. Umsetzung.
[entnommen am: 13.02.2011, URL: <http://www.id-consult.com/metus-software/ziele/>].

INSTITUT FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG (2011A):
EVAPRO.

[entnommen am: 23.01.2011, URL: http://www.ikmfbs.ing.tu-bs.de/forschung_projekte/bmbf_evapro/start_frame.html].

INSTITUT FÜR KONSTRUKTIONSTECHNIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG (2011B):
GINA-NET.DE.

[entnommen am: 23.01.2011, URL: <http://www.gina-net.de/index2.htm>].

JESCHKE, A.:

Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion.

Braunschweig: Institut für Konstruktionslehre (Hrsg.) 1997. (Bericht Nr. 52)

Zugl. Braunschweig: TU, Diss. 1997

KAISER, A.:

Integriertes Variantenmanagement mit Hilfe der Prozesskostenrechnung.

Hallstadt: Rosch-Buch 1995.

Zugl. St. Gallen: Universität, Diss. 1995 (Nr. 1742)

KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S.:

Attractive Quality and Must-be Quality.

Journal of the Japanese Society for Quality Control 14 (1984) 2, S. 39-48.

KERIN, R. A.; HARVEY, M. G.; ROTHE, J. T.:

Cannibalism and New Product Development.

Business Horizons 21 (1978) 5, S. 25-31.

KERSTEN, W.:

Wirksames Variantenmanagement durch Einbindung in den Controlling- und Führungsprozess im Unternehmen. In: Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen?, Stuttgart.

Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 155-175. (VDI-Berichte 1510)

KERSTEN, W.:

Vielfaltsmanagement. Integrative Lösungsansätze zur Optimierung und Beherrschung der Produkt- und Teilevielfalt.

München: TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management (Hrsg.) 2002. (TCW Reports 31)

KERSTEN, W.; ZINK, T.; KERN, E.-M.:

Wertschöpfungsnetzwerke zur Entwicklung und Produktion hybrider Produkte: Ansatzpunkte und Forschungsbedarf. In: Blecker, T.; Gemünden, H. G. (Hrsg.): Wertschöpfungsnetzwerke.

Berlin: Erich Schmidt 2006, S. 189-202.

KESPER, H.:

Modularization strategies using multiple product views.

München: TU, Lehrstuhl für Produktentwicklung, unveröffentlichte Diplomarbeit 2007. (Nr. 1091)

KIPP, T.; KRAUSE, D. (2008A):

Design for Variety – Efficient Support for Design Engineers. In: Marjanovic, D. (Hrsg.): Proceedings of the 10th International Design Conference 2008 (DESIGN 2008), Cavtat-Dubrovnik.

Cavtat-Dubrovnik: Design Society 2008, S. 425-432.

KIPP, T.; KRAUSE, D. (2008B):

Design for Variety – Ein Ansatz zur variantengerechten Produktstrukturierung. In: Brökel, K.; Feldhusen, J.; Grote, K. H.; Rieg, F.; Stelzer, R. (Hrsg.): 6. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2008, Aachen.

Aachen: Shaker 2008, S. 159-168. (Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik, Band 5)

KIPP, T.; KRAUSE, D. (2008C):

Methodischer Ansatz der variantengerechten Produktstrukturierung. In: Eigner, M.; Faißt, K.-G. (Hrsg.): Berliner Kreis – Jahrestagung 2008, München.

Kaiserslautern: TU, Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung 2008, S. 177-200. (Schriftenreihe VPE, Band 3)

KIPP, T.; BLEES, C.; KRAUSE, D.:

Anwendung einer integrierten Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien. In: Design for X – Beiträge zum 21. DfX-Symposium 2010.

Hamburg 2010, S. 157-168.

KIRSCH, W.:

Die Handhabung von Entscheidungsproblemen. Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse. 5. Aufl.

Herrsching: Kirsch 1998.

KLEINALTENKAMP, M.:

Begriffsabgrenzungen und Erscheinungsformen von Dienstleistungen. In: Bruhn, M.; Meffert, H. (Hrsg.): Handbuch Dienstleistungsmanagement: Von der strategischen Konzeption zur praktischen Umsetzung.

Wiesbaden: Gabler 1998, S. 29-52.

KLUGE, J.; STEIN, L.; KRUBASIK, E.; BEYER VON MORGENSTERN, I.; DÜSEDAU, D.; HUHN, W.:

Wachstum durch Verzicht. Schneller Wandel zur Weltklasse: Vorbild Elektronikindustrie.

Heidelberg: Redline Wirtschaft 2006. (McKinseyClassics 3).

KOHLHASE, N.:

Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen. Strategien, Methoden, Instrumente.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1997. (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 275)

KORELL, M.; GANZ, W.:

Design hybrider Produkte – Der Weg vom Produkthersteller zum Problemlöser. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Kreativität: Strategien, Konzepte und Werkzeuge zur Steigerung der Dienstleistungsperformance.
Wiesbaden: IOA 2000, S. 153-159.

KOTLER, P. ; KELLER, K. L.; BLIEMEL, F.:

Marketing-Management – Strategien für wertschaffendes Handeln. 12. Aufl.
München: Pearson Studium 2007.

KRAUSE, F.-L.; TANG, T.; AHLE, U. (HRSG.):

Leitprojekt „integrierte Virtuelle Produktentstehung – iViP“, Abschlussbericht – Juni 2002.
Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2002.

KUNZ, A.:

Planung variantenreicher Produkte.
Zürich: ETH, Diss. 2005. (Nr. 16175)

LANGER, S.; KREIMEYER, M.; MÜLLER, P.; LINDEMANN, U.; BLESSING, L.:

Entwicklungsprozesse hybrider Leistungsbündel – Evaluierung von Modellierungsmethoden unter Berücksichtigung zyklischer Einflussfaktoren. In: Thomas, O.; Nüttgens, M. (Hrsg.): Dienstleistungsmodellierung – Methoden, Werkzeuge und Branchenlösungen.
Berlin: Physica 2009, S. 71-87.

LATTIX, INC.:

Software Architecture, Software Quality, Impact Analysis, Dependency Management and DSM Tools.
[entnommen am: 02.10.2011, URL: <http://www.lattix.com/>].

LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN:

DSMweb.org: DSM Tools.
[entnommen am: 09.10.2011, URL: <http://129.187.108.94/dsmweb/en/dsm-tools.html>]

LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN (2012A):

amisa - Home.
[entnommen am: 12.04.2012, URL: <http://www.amisa.eu/>]

LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN (2012B):

tum.de.
[entnommen am: 12.04.2012, URL: http://www.pe.mw.tum.de/news/cicad-news_2011-02.pdf]

LILIEN, G. L.; P. KOTLER:

Marketing decision making: A model building approach.
New York, NY: Harper & Row 1983.

LINDEMANN, U.:

Methoden der Produktentwicklung.
München: TU, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Umdruck zur Vorlesung Methoden der Produktentwicklung 2001.

LINDEMANN, U.:

Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 2. Aufl.
Berlin: Springer 2007.

LINDEMANN, U.; BAUMBERGER, G. C.:

Individualisierte Produkte. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion.
Berlin: Springer 2006, S. 7-16.

LINDEMANN, U.; MAURER, M.:

Entwicklung und Strukturplanung individualisierter Produkte. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion.
Berlin: Springer 2006, S. 41-62.

LINDEMANN, U.; MAURER, M.; BRAUN, T.:

Structural Complexity Management. An Approach for the Field of Product Design.
Berlin: Springer 2009.

LINDEMANN, U.; REICHWALD, R.; ZÄH, M. F. (HRSG.):

Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion.
Berlin: Springer 2006.

LINGNAU, V.:

Variantenmanagement: Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie.
Berlin: Erich Schmidt 1994. (Betriebswirtschaftliche Studien 58)
Zugl. Berlin: TU, Diss. 1994

LINGNAU, V.:

Variante ist nicht gleich Variante.
wt – Produktion und Management 86 (1996) 632, S. 129-132.

LINK, J.; HILDEBRAND, H.:

Database Marketing und Computer Aided Selling.
München: Vahlen 1993.

MARTIN, M.; ISCHII, K.:

Design for Variety: A Methodology for Understanding the Costs of Product Proliferation. In: Proceedings of DETC1996: 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences, Irvine. Irvine, CA: ASME 1996.

MARTIN, M.; ISCHII, K.:

Design for Variety: Development of Complexity Indices and Design Charts. In: Proceedings of DETC1997: 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences, Sacramento. Sacramento, CA: ASME 1997.

MARTIN, M.; ISCHII, K.:

Design for Variety: A Methodology for Developing Product Platform Architectures. In: Proceedings of DETC2000: 2000 ASME Design Engineering Technical Conferences, Baltimore. Baltimore, MD: ASME 2000.

MATERN, C:

Systemwirtschaftliches Variantenmanagement – Operationalisierung und Quantifizierung des integrierten Variatntenmanagements.
Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 2000. (Innovative Unternehmensführung, Band 33)

MAURER, M.:

Structural Awareness in Complex Product Design.
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 74)
Zugl. München: TU, Diss. 2007

MAURER, M.; KESPER, H.; LINDEMANN, U.:

Optimization of a System's Overall Structural Criticality Using Evolutionary Algorithms. In: International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM 2007), Beijing.
Beijing: Tsinghua University Press 2007.

MAURER, M.; LINDEMANN, U.:

Facing Multi-Domain Complexity in Product Development.
Cidad Working Paper Series 3 (2007) 1, S. 1-12.

MEIER, H.; UHLMANN, E.; KORTMANN, D.:

Hybride Leistungsbündel – Nutzenorientiertes Produktverständnis durch interferierende Sach- und Dienstleistungen.
wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 7/8, S. 528-532.

MEIER, H.; KORTMANN, D.; KRUG, C.:

Von der Technologie zur Nutzenführerschaft – Die Zukunft der Werkzeugmaschine als hybrides Leistungsbündel.
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 101 (2006) 7-8, S. 431-434.

NIESCHLAG, R., DICHTL, E., HÖRSCHGEN, H.:

Marketing. 19. Aufl.

Berlin: Duncker & Humblot 2002.

PATZAK, G.:

Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken.

Berlin: Springer 1982.

PICOT, A.; REICHWALD, R.; WIGAND, R. T.:

Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management. 5. Aufl.

Wiesbaden: Gabler 2003.

PILLER, F. T.; MÜLLER, M.:

Mass Customization und Kundenintegration. Neue Wege zu konsequenter und effizienter Kundenorientierung.

IM – Information Management & Consulting 18 (2003) 10, S. 54-61.

PILLER, F. T.; WARINGER, D.:

Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien. Modular Sourcing, Plattformkonzept und Fertigungssegmentierung als Mittel des Komplexitätsmanagements.

Aachen: Shaker 1999.

PIMMLER, T. U.; EPPINGER, S. D.:

Integration Analysis of Product Decompositions. In: Proceedings of the 1994 ASME Design Theory and Methodology Conference, Minneapolis.

Minneapolis, MN: ASME 1994.

PONN, J.:

Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte.

München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 69)

Zugl. München: TU, Diss. 2007

PORTER, M. E.:

What Is Strategy?

Harvard Business Review 74 (1996) 6, S. 61-78.

PORTER, M. E.:

Competitive Strategy. Techniques for Analyzing Industries and Competitors.

New York, NY: Free Press 2004.

PULM, U.:

Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.

München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56)

Zugl. München: TU, Diss. 2004

PULS, C.:

Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zum Management von Konfigurationswissen in KMU.

Zürich: ETH, Diss. 2002. (Nr. 14912)

PULS, C; BONGULIELMI, L.; HENSELER, P.; MEIER, M:

Die K- und V-Matrix: Methodik und System zur Abbildung von Wissen bezüglich Variantenprodukten. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen – Erfahrungen, Methoden und Instrumente, Kassel.

Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 267-280. (VDI-Berichte 1645)

PULS, C; BONGULIELMI, L.; HENSELER, P.; MEIER, M:

Management of Different Types of Configuration Knowledge Applying the K- & V-Matrix and Wiki. In: Marjanovic, D. (Hrsg.): Proceedings of the 7th International Design Conference 2002 (DESIGN 2002), Cavtat-Dubrovnik.

Cavtat-Dubrovnik: Design Society 2002, S. 403-410.

PURVENTIS GMBH:

Nutzen - PURVENTIS.

[entnommen am: 13.02.2011, URL: <http://www.purventis.de/content/view/40/35/lang,german/>].

RATHNOW, P. J.:

Integriertes Variantenmanagement: Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt.

Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1993. (Innovative Unternehmensführung, Band 20)

REICHWALD, R.; MOSER, K.; SCHLICHTER, J.; LECKNER, T.; STEGMANN, R.:

Marketing- und Vertriebswerkzeuge für individualisierte Produkte. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion.

Berlin: Springer 2006, S.19-39.

RENNER, I.:

Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil.

München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 68)

Zugl. München: TU, Diss. 2007

ROGOLL, T.; PILLER, F. T.:

Konfigurationssysteme für Mass Customization und Variantenproduktion. Strategien, Erfolgsfaktoren und Technologie von Systemen zur Kundenintegration.

München: think consult Unternehmensberatung (Hrsg.) 2002.

ROSE, B. (2005A):

Mehr Gleichteile kappen die Fertigungskosten.

VDI nachrichten 59 (2005) 1, S.12.

ROSE, B. (2005B):

Teure Kostentreiber.
Automobil Industrie 50 (2005) 1-2, S. 16-18.

ROTHER, F. W.:

Kampf dem Wildwuchs.
[entnommen am: 18.01.2011, URL:
<http://www.automobilwoche.de/article/20050509/HEFTARCHIV/505090335/kampf-dem-wildwuchs>]
Automobilwoche, 09.05.2005.

SCHLOTT, S.:

Wahnsinn mit Methode.
Automobil-Produktion 19 (2005) 1, S. 38-42.

SCHMIDT, A.:

Kostenrechnung – Grundlagen der Vollkosten-, Deckungsbeitrags- und Plankostenrechnung sowie des Kostenmanagements. 6. Aufl.
Stuttgart: Kohlhammer 2011.

SCHUH, G.:

Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten – Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1989. (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 177)
Zugl. Aachen: RWTH, Diss. 1988

SCHUH, G. (2004A):

Produktionsmanagement I – Vorlesung 04 – Variantenmanagement.
Aachen, RWTH, Lehrstuhl für Produktionssystematik, Umdruck zur Vorlesung Produktionsmanagement I 2004.

SCHUH, G. (2004B):

Produktionsmanagement I – Übung 04 – Variantenmanagement.
Aachen, RWTH, Lehrstuhl für Produktionssystematik, Umdruck zur Übung Produktionsmanagement I 2004.

SCHUH, G.; GEORGI, L.:

Kundenorientierte Konfiguration von Leistungsbündeln. In: Keuper, F.; Hogenschurz B. (Hrsg.): Sales & Service: Management, Marketing, Promotion und Performance.
Wiesbaden: Gabler 2008, S. 61-91.

SCHUH, G.; HERF, H.-D.:

VMEA – Variantenmanagement in Entwicklung, Planung und Änderungsdienst.
ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 89 (1994) 11, S. 552-554.

SCHUH, G.; JONAS, I.:

Variantenreduzierung im Verbund – Praktikable Methode zum Variantenmanagement. Ein Leitfaden zur Beherrschung der Variantenvielfalt.

Düsseldorf: ViA Verbundinitiative Automobil Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) 1997.

SCHUH, G.; SCHWENK, U.:

Produktkomplexität managen: Strategien – Methoden – Tools.

München: Hanser 2001.

SCHUH, G.; TANNER, H. R.:

Mastering Variant Variety Using the Variant Mode and Effects Analysis. In: Proceedings of the 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences (DETC'98), Atlanta, GA.

Paper No. DETC98/DFM-5736.

SCHUH & CO. GMBH (2011A):

Schuh Group - Komplexitätsmanagement - Produktvariantenmanagement.

[entnommen am: 05.01.2011, URL:

<http://www.schuh-group.com/de/index.php/kompetenz/produktvarianten-management>].

SCHUH & CO. GMBH (2011B):

Schuh Group - Complexitymanager – Herausforderung.

[entnommen am: 13.02.2011, URL: <http://www.complexitymanager.de/>].

SCHULTE, C.:

Komplexitätsmanagement. In: Corsten, H.; Reiss, M. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensführung.

Wiesbaden: Gebler 1995, S. 757-765.

SCHMIDT, H.:

Globalisierung. Politische, ökonomische und kulturelle Herausforderungen. 2. Aufl.

München: Wilhelm Goldmann 2006.

SCHWARTZ, B.:

The Paradox of Choice – Why More Is Less. 2. Aufl.

New York, NY: HarperCollins 2005.

SPATH, D.; DEMUß, L.:

Entwicklung hybrider Produkte – Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In:

Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen.

Berlin: Springer 2003, S. 469-506.

STEWART, D.:

The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems.

IEEE Transactions on Engineering Management 28 (1981) 3, S. 79-83.

STOCKMAR, J.:

Variantenmanagement: Varianten vermeiden, beherrschen, reduzieren, finanzieren. Ergebnisse einer Umfrage 2004. In: 6. Internationales Automobil-Forum, Graz. Landsberg: Moderne Industrie 2004.

TESEON GMBH:

Teseon GmbH.
[entnommen am 13.02.2011, URL: <http://www.teseon.com/>].

VDI-GESELLSCHAFT ENTWICKLUNG, KONSTRUKTION, VERTRIEB (HRSG.):

Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, Würzburg. Düsseldorf: VDI-Verlag 1998. (VDI-Berichte 1434)

VDI-GESELLSCHAFT ENTWICKLUNG, KONSTRUKTION, VERTRIEB (HRSG.):

Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen – Erfahrungen, Methoden und Instrumente, Kassel. Düsseldorf: VDI-Verlag 2001. (VDI-Berichte 1645)

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (HRSG.):

Sicherung der Qualität in der Prozesslandschaft. 2. Aufl. Frankfurt: VDA 2009. (VDA Band 4)

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (HRSG.):

Begriffszusammenhänge, Begriffsdefinitionen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1976. (Elektronische Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung und -steuerung, Band 6)

VOLLRATH, K.:

Boxenstopp für Kleintransporter. Automobil Industrie 48 (2003) 5, S. 44-45.

WESTKÄMPER, E.; BARTUSCHAT, M.:

Methodik zur Reduzierung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung. Die Maschine – dima 46 (1992) 11/12, S. 51-55.

WESTKÄMPER, E.; BARTUSCHAT, M.:

Produktcontrolling – Kostenoptimale Variantenvielfalt. CIM Management 9 (1993) 4, S. 26-32.

WILDEMANN, H.:

Variantenmanagement. Leitfaden zur Komplexitätsreduzierung, -beherrschung und -vermeidung in Produkt und Prozess. 19. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management (Hrsg.) 2011.

YASSINE, A; WHITNEY, D. E.; LAVINE, J.; ZAMBITO, T.:

Do-It-Right-First-Time (DRFT) Approach to Design Structure Matrix (DSM) Restructuring. In: Proceedings of DETC 2000: ASME 2000 International Design Engineering Technical Conferences, Baltimore. Baltimore, MD: ASME 2000.

ZAGEL, M.:

Übergreifendes Konzept zur Strukturierung variantenreicher Produkte und Vorgehensweise zur iterativen Produktstruktur-Optimierung.

Kaiserslautern: Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (Hrsg.) 2006. (Schriftenreihe VPE, Band 1)

Zugl. Kaiserslautern: TU, Diss. 2006

7. Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15
85748 Garching

Dissertationen betreut von

- Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker,
- Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel und
- Prof. Dr. Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode.
München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.
München: TU, Diss. 1976.

- D9 SCHÄFER, J.:
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.
München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1978.
- D11 HEISIG, R.:
Längencodierer mit Hilfsbewegung.
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60).
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:
Kostenanalyse von Stirnzahnrädern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985.
Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:
Konstruieren als gedanklicher Prozess.
München: TU, Diss. 1985.

- D22 SAUERMAN, H. J.:
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.
München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gussgehäusen.
München: TU, Diss. 1987.
- D24 JOHN, T.:
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.
München: TU, Diss. 1987.
- D25 FIGEL, K.:
Optimieren beim Konstruieren.
München: Hanser 1988.
Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1).
Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.
- D27 PICKEL, H.:
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2).
Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITTSTEINER, H.-J.:
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3).
Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluss an ein CAD-System.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4).
Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5).
Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.
Datenbankgestützte Teilverwaltung und Wiederholteilsuche.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6).
Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7).
Zugl. München: TU, Diss. 1991.

- D33 SCHAAL, S.:
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8).
Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D34 BRAUNSPERGER, M.:
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie.
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9).
Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:
Systematischer Entwicklungsprozess am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10).
Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11).
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D37 WACH, J. J.:
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12).
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D38 LENK, E.:
Zur Problematik der technischen Bewertung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13).
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14).
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D40 SCHIEBELER, R.:
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15).
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D41 BRUCKNER, J.:
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härtereie.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16).
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17).
Zugl. München: TU, Diss. 1994.

- D43 SCHLÜTER, A.:
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18).
Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19).
Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D45 STOLZ, P.:
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20).
Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21).
Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22).
Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23).
Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D49 DANNER, S.:
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24).
Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25).
Zugl. München: TU, Diss. 1996 u. d. T.: Merat, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem
- D51 AMBROSY, S.:
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26).
Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D52 GIAPOULIS, A.:
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27).
Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D53 STEINMEIER, E.:
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28).
Zugl. München: TU, Diss. 1998.

- D54 KLEEDÖRFER, R.:
Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29).
Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D55 GÜNTHER, J.:
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30).
Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIERSACK, H.:
Methode für Kraftleinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.
München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31).
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-
Entwicklung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32).
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖSSER, R.:
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33).
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34).
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35).
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36).
Zugl. München: TU, Diss. 1999.

Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der
Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37).
Zugl. München: TU, Diss. 2000.

- D64 ASSMANN, G.:
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38).
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39).
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D66 DEMERS, M. T.
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40).
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D67 STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41).
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D68 VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42).
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D69 COLLIN, H.:
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43).
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44).
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45).
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46).
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47).
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48).
Zugl. München: TU, Diss. 2001.

- D75 SCHWANKL, L.:
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49).
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:
Elementarmethoden zur Lösungssuche.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50).
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51).
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D78 GERST, M.:
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 52).
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D79 AMFT, M.:
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung München, Band 53).
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D80 FÖRSTER, M.:
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.
München: TU, Diss. 2003.
- D81 GRAMANN, J.:
Problemmodelle und Bionik als Methode.
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 55).
Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D82 PULM, U.:
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56).
Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D83 HUTTERER, P.:
Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 57).
Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D84 FUCHS, D.:
Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung.
München: TU, Diss. 2005.
- D85 PACHE, M.:
Sketching for Conceptual Design.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 59).
Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D86 BRAUN, T.:
Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld.
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60). Zugl. München: TU, Diss. 2005.

- D87 JUNG, C.:
Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 61). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D88 HEßLING, T.:
Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 62). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D89 STRICKER, H.:
Bionik in der Produktentwicklung unter der Berücksichtigung menschlichen Verhaltens.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 63). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D90 NIßL, A.:
Modell zur Integration der Zielkostenverfolgung in den Produktentwicklungsprozess.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 64). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D91 MÜLLER, F.:
Intuitive digitale Geometriemodellierung in frühen Entwicklungsphasen.
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 65). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D92 ERDELL, E.:
Methodenanwendung in der Hochbauplanung – Ergebnisse einer Schwachstellenanalyse.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 66). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D93 GAHR, A.:
Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte.
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D94 RENNER, I.:
Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D95 PONN, J.:
Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D96 HERFELD, U.:
Matrix-basierte Verknüpfung von Komponenten und Funktionen zur Integration von Konstruktion und numerischer Simulation.
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 70). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D97 SCHNEIDER, S.:
Model for the evaluation of engineering design methods.
München: Dr. Hut 2008 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D98 FELGEN, L.:
Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.

- D99 GRIEB, J.:
Auswahl von Werkzeugen und Methoden für verteilte Produktentwicklungsprozesse.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D100 MAURER, M.:
Structural Awareness in Complex Product Design.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D101 BAUMBERGER, C.:
Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D102 KEIJZER, W.:
Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken – ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie.
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D103 LORENZ, M.:
Handling of Strategic Uncertainties in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2008.
- D104 KREIMEYER, M.:
Structural Measurement System for Engineering Design Processes.
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D105 DIEHL, H.:
Systemorientierte Visualisierung disziplinübergreifender Entwicklungsabhängigkeiten mechatronischer Automobilsysteme.
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D106 DICK, B.:
Untersuchung und Modell zur Beschreibung des Einsatzes bildlicher Produktmodelle durch Entwicklerteams in der Lösungssuche.
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D107 GAAG, A.:
Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D108 ZIRKLER, S.:
Transdisziplinäres Zielkostenmanagement komplexer mechatronischer Produkte.
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D109 LAUER, W.:
Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D110 MEIWALD, T.:
Konzepte zum Schutz vor Produktpiraterie und unerwünschtem Know-how-Abfluss.
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011
- D111 ROELOFSEN, J.:
Situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011

D112 PETERMANN, M.:

Schutz von Technologiewissen in der Investitionsgüterindustrie.

München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011

D113 GORBEA, C.:

Vehicle Architecture and Lifecycle Cost Analysis in a New Age of Architectural Competition.

München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011

D114 FILOUS, M.:

Lizenzierungsgerechte Produktentwicklung – Ein Leitfaden zur Integration lizenzierungsrelevanter Aktivitäten in Produktentstehungsprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus.

München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011

D115 ANTON, T.:

Entwicklungs- und Einführungsmethodik für das Projektierungswerkzeug Pneumatiksimulation.

München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011