

Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zur Darstellung konfigurationsrele- vanter Aspekte im Produktentstehungsprozess

Abhandlung zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

vorgelegt von
Luca Bongulielmi
Dipl. Betr.- u. Prod.-Ing. ETH
geboren am 1.7.1972
von Brusio (GR), Schweiz

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. Markus Meier, Referent
Prof. Dr. Hansgeorg Binz, Korreferent
Dr. Daniel Felix, Korreferent

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistent am Zentrum für Produkt-Entwicklung der ETH Zürich entstanden.

Prof. Dr. sc. tech. M. Meier gilt mein Dank für die uneingeschränkte Unterstützung und das stete Vertrauen. Seine offene und loyale Denkweise hat die Voraussetzung für eine fruchtbare und konstruktive Diskussion geschaffen.

Prof. Dr.-Ing. H. Binz danke ich für die Übernahme des Korreferats und die kritische Durchsicht der Arbeit. Bei Dr. sc. nat. D. Felix bedanke ich mich für die Übernahme des Korreferats, sowie für die Unterstützung bei der Verifizierung des User Interface im Usability Lab.

Dr. sc. tech. E. Zwicker danke ich für die vielen kompetenten Gespräche und die hilfreichen Anregungen im Umfeld dieser Arbeit.

Den Teamkollegen Dipl. Ing. ETH Ch. Puls und Dipl. Ing. ETH P. Henseler gilt mein besonderer Dank für das sehr angenehme und konstruktive Arbeitsklima.

Ferner gilt mein Dank Prof. Dr. habil. A. Breiing, Dr. sc. tech. M. Wohlgensinger, Dr. sc. tech. U. Leonhardt, Dr. sc. tech. A. Eisenhut, Dipl. Ing. ETH R. Sekolec, Dipl. Ing. ETH A. Kunz, Dipl. Ing. ETH E. Kuhn, Dipl. Ing. ETH M. Riesch und Dipl. Ing. S. Dierssen für die vielseitigen Diskussionen und die Unterstützung vor und während der Verfassung der vorliegenden Arbeit.

Der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) des Bundesamtes für Berufsbildung und Technologie (BBT), sowie den Projektpartnern Ch. Burckhardt AG, Basel; Eigner und Partner AG, Egerkingen; Elma Electronic AG, Wetzikon; Gressel AG, Aadorf; Huber Engineering, Neuhausen; Hug Maschinenfabrik, Utzenstorf; Inteliact AG, Zürich und Schindler Mobile, Ebikon, danke ich für die aktive Teilnahme bzw. die Unterstützung des KTI Projektes 4745.1 und des Eureka Projektes E2296.

Ein besonderer und ganz persönlicher Dank gilt meiner Freundin Jenny, die für meine Belangen immer da gewesen ist und meinen Eltern, die mich immer unterstützt haben.

Zürich, im November 2002

Luca Bongulielmi

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	III
	Inhaltsverzeichnis	V
	Abstract	XI
1	Einleitung	1
1.1	Kontextuelles Umfeld der Arbeit	1
1.2	Ziel der Arbeit	2
2	Einleitung und Anforderungsdefinition	3
2.1	Variantenvielfalt in Unternehmen	3
2.1.1	Variantenvielfalt in der Vergangenheit	4
2.1.2	Entwicklung in den letzten Jahren	4
2.1.2.1	Unternehmensexterne Faktoren	4
2.1.2.2	Unternehmensinterne Faktoren	6
2.1.3	Fazit	8
2.2	Digitales Produkt	9
2.2.1	Innovationsprozess im Digitalen Produkt	10
2.2.1.1	Klassischer Ansatz	10
2.2.1.2	Ansatz im Digitalen Produkt	10
2.3	Konzept des Digitalen Produktes	13
2.3.1	Produkte	13
2.3.2	Unternehmensprozesse	16
2.3.3	Tools	16
2.4	Problemstellung	17
2.5	Anforderungen an eine Beschreibungssprache für Variantenprodukte	18
2.6	Aufbau der Arbeit	20
3	Variantenvielfalt im Entwicklungsprozess: Methoden und Lösungsansätze	23
3.1	Lösungsansätze	24
3.1.1	Quantitative Methoden in der Sekundärentwicklung	24
3.1.2	Optimierung der Gestaltung von neuen Variantenprodukten	24
3.1.2.1	Baureihen	25
3.1.2.2	Baukasten und Modulbauweise	25
3.1.2.3	Plattformen	27
3.2	Ansätze zur Erstellung modularer Produktfamilien	28
3.3	Quality Function Deployment (QFD)	29
3.3.1	Erstes „House of Quality“	30
3.3.2	Diskussion	31
3.4	Variant Method and Effects Analysis (VMEA)	32
3.4.1	Vorgehensweise	33

3.4.2	Diskussion	34
3.5	Modular Function Deployment (MFD)	35
3.5.1	Diskussion	37
3.6	Design for Variety (DfV)	38
3.6.1	Schwerpunkte der Methode	38
3.6.2	Diskussion	40
3.7	Modular Product Architecture	41
3.7.1	Diskussion	43
3.8	Zusammenfassung	44
4	Design for Configuration	45
4.1	Produktkonfiguration	46
4.1.1	Zwei Konfigurationsphasen in der Auftragsabwicklung	47
4.2	Konfiguration versus Konstruktion	48
4.2.1	Wissensvolumen und Wissenskomplexität	49
4.2.2	Detaillierungsebene des Variantenraums	50
4.2.3	Eigenschaften konfigurierbarer Produkte	51
4.2.4	Massnahmen zur Entwicklung konfigurationsgerechter Produkte	52
4.2.5	Methoden zur Erzeugung modularer Produktarchitekturen versus DfC	54
5	Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix (K- & V-Matrix)	57
5.1	Graphische Notation	57
5.1.1	Bestehende Notationsformen	58
5.1.2	Matrix als Darstellungsform	61
5.2	Aufbau der K- & V-Matrix	61
5.2.1	Sichten	62
5.2.1.1	Kundensicht	62
5.2.1.2	Technische Sicht	63
5.2.2	Informationsabbildung in der K- & V-Matrix	64
5.2.2.1	Sachmerkmal-Leisten und Merkmale	64
5.2.2.2	Hierarchie-Ebenen	65
5.2.2.3	Abkürzungskonventionen	66
5.2.2.4	Zulässiger Wertebereich	66
5.2.3	K-Matrix	66
5.2.3.1	Diskussion	68
5.2.4	V-Matrix	70
5.2.4.1	Diskussion	72
5.3	Modellierung der K- & V-Matrix	74
5.3.1	Anzahl Sichten in der K- & V-Matrix	74
5.3.2	Selektion versus Konfiguration	76
5.3.3	Erzeugung von Produktprofilen	77
5.3.4	Unterscheidung von Mapping- und Verträglichkeitswissen	79
5.3.5	Grenzen der K- & V-Matrix	81
5.4	Erstellung der K- & V-Matrix	83
5.4.1	Erstellung der K- & V-Matrix im sekundären Entwicklungsprozess	83
5.4.1.1	Erstellung der K-Matrix	86

5.4.1.2	Erstellung der V-Matrizen	86
5.4.2	Produktstrukturierung im Digitalen Produkt	87
5.4.3	Einführungsphase eines Konfigurators	88
5.4.4	Erstellung der K- & V-Matrix im primären Entwicklungsprozess	89
5.4.4.1	Varianten-Darstellungsarten in der Produktentwicklung	89
5.4.4.2	Varianten-Darstellungsarten in der K- & V-Matrix	91
5.4.5	Nutzen der K- & V-Matrix im primären Entwicklungsprozess	94
5.5	Abgrenzung der K- & V-Matrix	97
5.5.1	Unterschiede und Ähnlichkeiten mit der K- & V-Matrix	97
5.5.2	Prozessablauf	98
5.5.3	Inhaltliche Unterschiede der matrixbasierten Methoden	100
5.5.3.1	Korrelationstypen	101
5.5.3.2	Modellierungsmöglichkeiten in den Matrixfeldern	102
5.5.3.3	Analytische Vorgehensweise	103
5.5.4	Fazit	105
6	K- & V-Matrix-System	107
6.1	Software-Anwendung	108
6.1.1	Lösung	108
6.2	Eingabetool	111
6.3	Abfragetool	112
6.3.1	Auswahl von Merkmalen und Bausteinen	113
6.3.2	Zusammenhang Matrizen-Tool	114
7	Interfacegestaltung: eine Einführung	117
7.1	Einleitung	117
7.1.1	Handlungsweise des Benutzers	118
7.1.2	Interaktion im Internet	119
7.1.2.1	Modelle technischer Anwendungen	119
7.2	Richtlinien zur Gestaltung interaktiver Systeme	120
7.2.1	Strukturelle Aspekte	121
7.2.2	Formale Aspekte	125
7.2.3	Visuelle Aspekte	128
8	Interface-Gestaltung des K- & V-Matrix-Systems	131
8.1	Konzept des Interfaces	132
8.1.1	Formale Entscheidungen	132
8.1.2	Strukturelle Eigenschaften des Interface	135
8.2	Interface des Eingabetools	137
8.2.1	Einstiegsseite	137
8.2.2	Eingabe der Matrixdaten	138
8.3	Interface des Abfragetools	142
8.3.1	Abbildung der K- & V-Matrix	143

9	Verifizierung des Interface	147
9.1	Verifizierung der Anwendung	147
9.1.1	Verifizierungskriterien	148
9.2	Vorgehensweise	150
9.2.1	Versuchstests im Usability Lab	150
9.2.2	Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung	151
9.3	Resultate	151
10	K- & V-Matrix und die Konfiguration	157
10.1	Konfiguration im Spannungsfeld der Produkt- und Vertriebskomplexität ..	157
10.1.1	Produktkomplexität	158
10.1.2	Vertriebskomplexität	158
10.1.3	Typisierungen der Gestaltung der Auftragsabwicklung	159
10.1.4	Make-to-Stock (MTS)	159
10.1.5	Assemble-to-Order (ATO)	160
10.1.6	Make-to-Order (MTO)	160
10.1.7	Engineer-to-Order (ETO)	160
10.2	Beispiele aus der Praxis	161
10.2.1	Make-to-Stock und die K- & V-Matrix	162
10.2.2	Assemble-to-Order und die K- & V-Matrix	162
10.2.3	Make-to-Order und die K- & V-Matrix	164
10.2.4	Engineer-to-Order und die K- & V-Matrix	167
10.3	Schlussfolgerungen	168
11	Diskussion und Ausblick	169
A	Abkürzungsverzeichnis	175
B	Methodenbeispiel	177
B.1	Abgebildetes Beispiel	178
B.2	VMEA	178
B.3	MFD	181
B.4	DfV	183
B.5	Modular Product Architecture	185
B.6	K- & V-Matrix	187
C	Unterlagen für die GUI-Verifizierung	189
C.1	Usability-Test vom Abfragetool	190
C.2	Vor-Test Fragebogen	191
C.3	Fall ELMA	192
C.3.1	Ausgangslage	192
C.3.2	Aufgabe 1	192
C.3.3	Aufgabe 2	193
C.3.4	Aufgabe 3	193

C.4	Fall Hug	194
C.4.1	Ausgangslage	194
C.4.2	Aufgabe 1	194
C.4.3	Aufgabe 2	195
C.4.4	Aufgabe 3	195
C.4.5	Aufgabe 4	195
C.4.6	Aufgabe 5	196
C.5	Fall Virtuelle Maschine	196
C.5.1	Ausgangslage	196
C.5.2	Aufgabe 1	196
C.5.3	Aufgabe 2	197
C.5.4	Aufgabe 3	197
C.5.5	Aufgabe 4	198
C.6	Nach-Test Fragebogen	198
	Literaturverzeichnis	203

Abstract

In the last decade, many factors have changed in the enterprise-environment due to the diversification of the market demand. Global competition, increasing functionality of products, shorter innovation cycles and environmental standards are only some of these factors. Enterprises react to the changing situation by offering an increasing number of variants of existing products. The augmented internal product complexity frequently causes an increasing number of dependencies between single modules. These dependencies or rules make the product-configuration process more complicated for vendors and customers and is more difficult to support with IT-software.

A proven valuable attempt is not to deal with short-term measures like designing very customized modules, but to consider the eventual customer requirements already in the first stages of the engineering design process. A modular product architecture provides a generic structure to capture and utilize commonality, and at the same time it provides some degree of freedom for the specific product customisation.

In this work some methods supporting the modularisation process in the engineering design process are presented. Although these approaches fulfill important pre-requirements to support the configuration process, they do not represent configuration knowledge in a structured way. So the K- & V-Matrix-method is introduced and discussed as a simple and easy-to-learn approach for structuring and representing configuration knowledge. The method is based on two kinds of matrices: the K-Matrix (configuration matrix, "Konfigurationsmatrix") and the V-Matrix (compatibility matrix, "Verträglichkeitsmatrix") and allows:

- the description of different product views,
- a consistent mapping between the views,
- the description of correlations between single parts or modules.

The K- & V-Matrix method is discussed in the context of the engineering design process and its ability to combine with the approaches supporting the modularisation of product architectures is presented.

In addition to the method a software-tool has been developed. The aim of the software is to:

- support the analysis of configuration knowledge,
- permit a fast verification of configuration knowledge,
- simplify the management of configuration knowledge.

In this part of the work, aspects of the interface in the software tool are focussed.

An interface-approach for an editing-tool as well as for a query-tool are discussed. Moreover, the query-tool has a generic interface-structure which enables a fast verification of the knowledge in the matrix, independent of the product characteristics. The usability of the interface has been tested scientifically and the results confirmed the validity of the approach presented.

In the last part of the work the method and the related software tool have been verified in the context of the sales process with different products. The results show, that the presented method and the related software-tool can represent the configuration knowledge of assembly to order products. Some limitations in more customisable products show, that the method focusses on aspects of the variety and represents only a part of the configuring knowledge described by compatibilities, formulas, rules or constraints. Nevertheless, the matrix-based methodology and the related IT-tool provide a useful support for analysing and structuring product variety, independent of the product characteristics and complexity throughout the whole product life-cycle.

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Kontextuelles Umfeld der Arbeit

Diese Arbeit ist im Zusammenhang mit dem Eureka-Projekt E2296 *COMA* (COⁿfiguration MAnagement for the machine industry) entstanden. Am Projekt haben drei Hochschulen und 16 Industriepartner aus der Schweiz sowie aus Deutschland - zwischen Januar 2000 und Juni 2002 - geforscht.

Die primäre Zielsetzung des Projektes lag in der Entwicklung einerseits einer Methodik für die Beschreibung des Konfigurationswissens von Variantenprodukten und andererseits eines einfachen Konfigurationswerkzeuges für die Verifizierung der Methodendaten. Die Projektschwerpunkte am Zentrum für Produktentwicklung wurden in einem Team von drei wissenschaftlichen Mitarbeitern bearbeitet. Obwohl innerhalb des Projektes klar definierte Arbeitspakete und Kompetenzen bestimmt wurden, ist der Kern der Methode und der Software-Anwendung das Resultat der Beiträge aller Mitglieder des Teams. Diese Besonderheit spiegelt sich auch in der vorliegenden Arbeit: Im Kapitel 5.2 wird der Aufbau der Methode und im Kapitel 6.1 die Anwendung beschrieben, die in ähnlicher Art und Weise auch im Beitrag von Ch. Puls (Puls 2003) und in demnächst im Beitrag von P. Henseler vorzufinden sind.

1.2 Ziel der Arbeit

In den letzten Jahren wurden im Kontext der Produktentwicklung vermehrt Methoden zur Entwicklung von markt- und kundengerechten Variantenprodukten (z.B. QFD, FMEA u.v.a.) angewendet und IT-Tools wie PDM-Systeme zur Datenverwaltung eingesetzt. Die steigende unternehmensweite Vernetzung der Systeme, das Supply Chain Management und die flexible Fertigung stellen hilfreiche Ansätze für die Erfüllung der unternehmensweiten Ziele dar: kundenindividuelle und qualitativ hochstehende Produkte sowie kurze Lieferzeiten.

Trotz diesen Anstrengungen ist die Kommunikation in der Zusammenarbeit zwischen Entwicklung und Verkauf im Allgemeinen nicht optimal. Dies hängt vielfach von folgenden Faktoren ab:

- Lückenhaftes technisches Produktverständnis der Verkäufer.
- Fehlende Sensibilität der Entwickler für die echten Marktbedürfnisse und die Tendenz zum Over-Engineering.
- Mangelnde Kommunikation zwischen Verkauf und Entwicklung, gegeben auch durch die unterschiedliche Sichtweise auf das Produkt.
- Verbleiben des Konfigurationswissens in den technischen Abteilungen. Dieses Wissen ist in der Erzeugnisgliederung (Produktstruktur) teilweise vorhanden und kann nur in aufwendiger Art und Weise in Konfiguratoren festgehalten werden. Dies erfolgt meist mittels fremder Hilfe, da Konfigurationssysteme oft nur von fachlich ausgebildeten Informatikern gepflegt werden können.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Ansatz diskutiert, wie die wichtigsten Elemente des Konfigurationswissens strukturiert und einfach dargestellt werden können. Das Ziel ist dabei, ein Werkzeug zu schaffen, welches dem Produktentwickler und dem Verkäufer die Möglichkeit gibt, Wissen über die Variantenprodukte über eine gemeinsame Wissensplattform zu pflegen bzw. abzufragen.

Hiermit soll zugleich auch eine Diskussionsplattform im Entwicklungsprozess geschaffen werden, welche als Entscheidungsgrundlage bei der Gestaltung neuer sowie bei der Pflege bestehender Produktfamilien herangezogen werden kann. Darüber hinaus soll dieses Wissen im Konfigurationsprozess verwendet werden und als einfache Wissensbasis für kommerzielle Konfiguratoren dienen.

Kapitel 2

Einleitung und Anforderungsdefinition

Im ersten Teil des Kapitels wird der aktuelle Stand bezüglich der Problematik der Variantenvielfalt dargelegt. Die Auswirkungen der Variantenvielfalt sowohl im Unternehmensumfeld wie auch im Unternehmen werden diskutiert. Hiermit wird ein erster Überblick über die Komplexität des Problems gegeben.

Im zweiten Teil dieses Kapitels wird das Digitale Produkt, sowie dessen Konzept mit den Schwerpunkten Produkte, Unternehmensprozesse und Tools als möglicher, gesamtheitlicher Ansatz zur Beherrschung der Variantenvielfalt vorgestellt.

Im dritten und letzten Teil des Kapitels werden die Anforderungen gemäss der im ersten Kapitel beschriebenen Zielsetzung definiert und der Aufbau der Arbeit vorgestellt.

2.1 Variantenvielfalt in Unternehmen

In den letzten Jahren wurden Unternehmen mit variantenreichen Produkten vor nicht einfach zu lösende Herausforderungen gestellt, da Anzahl Varianten stark zugenommen hat. Variantenreiche Produkte sind nicht ausschliesslich ein Phänomen der letzten Jahre, sie haben aber für viele Unternehmen sehr an Bedeutung gewonnen und sind heute ein fester Bestandteil der Unternehmensstrategie.

2.1.1 Variantenvielfalt in der Vergangenheit

Die Investitionsgüterindustrie machte sich schon in den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts die Idee der Baukasten im Bereich des Werkzeugmaschinenbaus zunutze. Fräsmaschinen wurden in Baugruppen unterteilt und auftragsneutral auf Lager gefertigt. Erst beim Eintreffen des Kundenauftrages wurden die Baugruppen zu einer Maschine zusammengestellt. Dies ermöglichte eine rationellere Fertigung (Borowski 1961).

Die Idee einer möglichst rationellen Produktion zielte zum einen auf eine Standardisierung der Einzelteile und Baugruppen und zum anderen auf eine Standardisierung der Fertigungsabläufe. Dazu mussten die Teilefamilien nach geometrischen, funktionalen oder fertigungsbezogenen Merkmalen klassifiziert werden (Bartuschat 1995).

Nach (Piller 1998) hat die Modularisierung in den sechziger Jahren die rasanten Entwicklungen der Computerindustrie erst ermöglicht. Dabei wurden die Computer in Subsysteme (Komponenten) aufgespaltet, welche Entwicklern, Herstellern und Benutzern zu grosser Flexibilität verhalfen.

2.1.2 Entwicklung in den letzten Jahren

In den letzten 10 bis 15 Jahren sind die Erwartungen der Kunden an das Produkt - unabhängig ob im Investitionsgüterbereich oder im Gebrauchsgüterbereich - stark gestiegen. In den Unternehmen hat sich die wachsende Vielfalt der Varianten auf die Verringerung der Losgrößen und der Stückzahl pro Variante (Ehrlenspiel 1995), (Franke 1998) ausgewirkt. Dabei wird eine Variante wie folgt definiert:

Varianten sind Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit in der Regel hohem Anteil identischer Gruppen oder Teile (DIN199/2 1977).

Vielfach wird dieser Umstand durch die fehlende Synchronisation der Produktplanung bezüglich dem Variantenmanagement verschlechtert, da die Kluft zwischen erwarteter und erfolgter Variantenvielfalt grösser wird. Dadurch wird das Unternehmen vermehrt dazu gezwungen zu reagieren, anstatt zu agieren.

2.1.2.1 Unternehmensexterne Faktoren

Die Ursachen dieser Entwicklung sind unterschiedlicher Herkunft und werden in den folgenden Absätzen vorgestellt (vgl. (Brexel 1997), (Ehrlenspiel 1995), (Rathnow 1993), (Wildemann 1999), (Franke 1998), (Franke und Firchau 2000) und (Soininen 1998)):

• Befriedigung individueller Nachfrage

Dank dem Einsatz von Informationstechnologien und einer Palette an Produkten, die sich gezielt an die Kundenanforderungen anpassen lässt, konnte die starke Individualisierung der Nachfrage in der Praxis umgesetzt werden. Solche Beispiele sind insbesondere im Zusammenhang mit den Endverbrauchern vorzufinden. Lifestyle Objekte wie Möbel, Kleiderstücke, Schuhe und Uhren (vgl. (Ackermann 2001), (Piller 2000) und (Berger 2001)) können den Kundenwünschen entsprechend massgeschneidert gestaltet, konfiguriert und gefertigt werden, zu Kosten, die ungefähr denen einer massenhaften Fertigung vergleichbarer Standardgüter entsprechen (Piller 1998) (vgl. Bild 1). Dieses Phänomen wird mit dem Begriff *Mass Customization* (kundenindividuelle Massenfertigung) bezeichnet (Piller 2000).

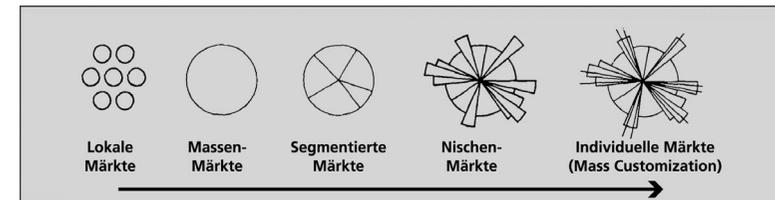


Bild 1: Die Entwicklung der Märkte in den letzten Jahrzehnten (Schierholt und Schönsleben 2001) Seite 32 und (Piller 1998).

• Zunehmendes Anspruchsniveau der Kunden

Durch die zunehmende Sättigung der Märkte können die Abnehmer diejenigen Anbieter suchen, die am nächsten im Gesamtangebot Produkt-Dienstleistung liegen. Aus der Sicht des Anbieters offenbart sich dieses Verhalten mit einem erhöhten Anspruchsniveau an das Produkt und gewissen Mindestanforderungen an den Preis.

• Globalisierung der Märkte

Immer mehr Firmen sind international vertreten und bieten ihre Produkte auf verschiedenen, geographisch verteilten Märkten an. Die meisten dieser Anbieter müssen den lokalen Gegebenheiten, wie beispielsweise Gesetzen, Normen und Richtlinien Rechnung tragen (Brexel 1997). Ausserdem muss die Verschärfung bestimmter Gesetzgebungen, wie zum Beispiel der Umweltverträglichkeit und des Recyclings, ebenfalls berücksichtigt werden (vgl. Euro-Normen bezüg-

lich der Abgase Euro 3 ab 2000, Euro 4 ab 2005, Euro 5 ab 2008).

Weitere nicht zu unterschätzende Faktoren sind sozialer und kultureller Herkunft. Jeder Markt hat gewisse unumgängliche Eigenheiten, die zu einer Steigerung der Varianten führen.

- **Zunahme der Funktionsvielfalt und Interdisziplinarität der Produkte**

Die Verfolgung einer Differenzierungsstrategie kann durch die technische und funktionelle Funktionsvielfalt erreicht werden. Im Maschinenbau spielen vielfach historisch gewachsene Produktstrukturen eine einflussreiche Rolle. Dies führt zu einem grossen Zuwachs an Varianten bei gleichzeitiger Erhöhung der Komplexität des Beziehungswissens zwischen den Komponenten.

Die steigende Interdisziplinarität offenbart sich bei Neuentwicklungen schon dadurch, dass die Produkte einen wachsenden Anteil an mechatronischen Komponenten (Kallmeyer 1998) aufweisen. Dies führt zu komplexeren Produktstrukturen, welche aus Mechanik-, Elektrotechnik- und Software-Komponenten bestehen.

- **Verkürzung der Innovations- und Produktlebenszyklen**

Neben der Verbreitung des Produktspektrums hat auch die Innovationsfrequenz zugenommen, welche zu kürzeren Produktlebenszyklen geführt hat (vgl. Bild 2).



Bild 2: Der Lebenszyklus des VW-Golfs hat sich trotz konstantem Erfolg von 8 auf 6 Jahre verkürzt (Bildvorlage aus: (VW 2002)).

- **Eintritt neuer Technologien auf dem Markt**

Neue Technologien können den Zuwachs der Variantenvielfalt beeinflussen, insbesondere wenn mehrere Technologien gleichzeitig angeboten werden. Die Gründe sind vielfältig: eine neue Technologie ersetzt nicht immer eine Bestehende oder aber in einer ablösenden Übergangsphase werden gleichzeitig Produkte mit neuer und alter Technologie angeboten.

2.1.2.2 Unternehmensinterne Faktoren

Die oben erwähnten Umstände setzen die gesamte Organisation im Unternehmen

unter zusätzlichen Druck. Die Vermehrung der Variantenvielfalt auf Produkt- und Teileebene wirkt sich unmittelbar auf die Komplexität sämtlicher Abläufe im Unternehmen aus (vgl. auch (Bartuschat 1995), (Ehrlenspiel, Kiewert et al. 2000), (Franke 1998), (Rathnow 1993) (Brexel 1997) und (Schuh 1989)).

- **Unternehmensleitung**

Vielfach wird mit einem sprunghaften, aktionistischen Verhalten der Unternehmensleitungen versucht, externen Interessenkreisen (z.B. Shareholder) gerecht zu werden. Solche Aktionen werden intern mit neuen unabgestimmten Entscheidungen zu Strategien, Produkten und Prozessen wahrgenommen, die jedoch zu einer Steigerung der Teilevielfalt führen.

- **Leistungserstellungsprozesse**

Der Aufwand im konstruktionstechnischen Bereich erhöht sich mit der steigenden Vielfalt und beeinflusst alle Tätigkeiten: vom Entwurf und der Ausarbeitung neuer Erzeugnisse bis zur Verwaltung, Pflege und Modifikation von bestehenden Varianten.

Die äussere Produktvielfalt ruft oft eine ähnlich variantenreiche Prozessvielfalt hervor. Tendenziell vollzieht sich eine immer variantenreichere Fertigung und führt damit zu einer Steigerung der Aufwendungen für alle vor- und nachgelagerten Aktivitäten in den entsprechenden Abteilungen, wie z.B. im Einkauf, in der Arbeitsvorbereitung (AVOR), der Logistik, der Montage usw..

Ausserdem erschwert eine wachsende Variantenvielfalt die Nutzung von Kostenvorteilen, beispielsweise bei der Materialbeschaffung und erhöht die verwaltungstechnischen Aufwände in der Lagerung.

Die steigende Variantenvielfalt erschwert auch die Aufgabe der Vertriebsmitarbeiter und kann schliesslich zur einer steigenden Fehlerhäufigkeit bei der Auftragsabwicklung und zu einer sinkenden Produktqualität führen.

- **Rechnungswesen**

Die steigende Komplexität in den Leistungserstellungsprozessen führt zu einer Verschiebung der Kostenstruktur in Richtung des Gemeinkostenbereiches. Dadurch wird der Kostenspielraum im Verkauf vermindert und der Kostendruck im Unternehmen erhöht.

Das Problem liegt nicht nur in den wertschöpfenden Bereichen der Unternehmung, sondern auch in den Grenzen der klassischen Kalkulationsmethoden bei der Erfassung von variantenbedingten, ungeplanten Mehrkosten. Diese Kalku-

lationsmethoden verteilen die anfallenden Mehrkosten von ausserordentlichen Varianten auf alle Produkte. Dies führt zur Quersubventionierung von ungeplanten, exotischen Varianten durch Standardprodukte und verschlechtert die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens, vor allem wenn die Nachfrage von kundenspezifischen Varianten (Exoten) zunimmt (vgl. Bild 3).

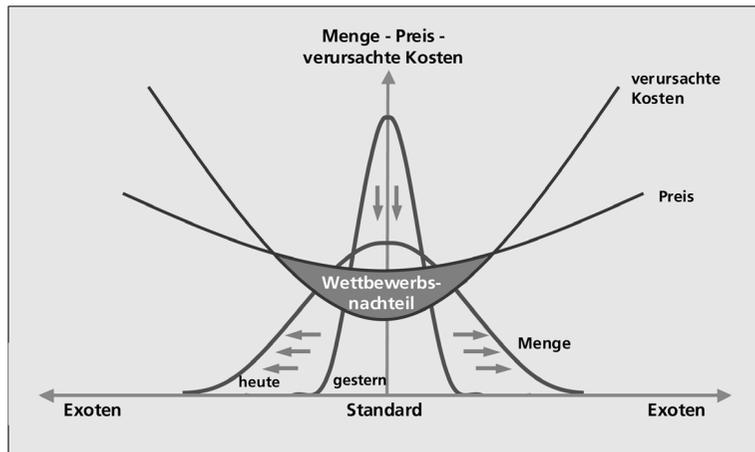


Bild 3: Die Kostenverteilung von Standardprodukten und Exoten (in Anlehnung an (Schuh 1994))

2.1.3 Fazit

Die IT-Technologien eröffnen neue Wege im Beziehungsnetzwerk zwischen Kunde und Lieferant. Der Vertrieb über das Internet erhält, trotz der Ernüchterung nach der raschen Expansion in den letzten Jahren des 20. Jahrhunderts, immer grössere Bedeutung. Allein in Europa wird prognostiziert, dass das Volumen in B2B-Marktplätzen bis 2005 auf 2.5 Milliarden US-D ansteigen wird (Wüpping 2001a). Ausserdem steckt weiteres Verbesserungspotential der Unternehmen in der Optimierung der Prozesskosten, der Verkürzung der Lieferzeiten sowie in einer weiteren Erhöhung der Produktqualität (Gausemeier, Flath et al. 1998), (Soininen 1998).

Unter solchen Voraussetzungen genügen inkrementelle Verbesserungen historisch gewachsener Strukturen den heutigen Ansprüchen der Märkte meist nicht mehr. Die Unternehmen sind mit neuen Herausforderungen in den Bereichen der Produktplanung und -entwicklung konfrontiert.

Die variantengerechte Planung des ganzen Produktspektrums, mit Einbezug der wichtigsten Einflussfaktoren aus heutiger und zukünftiger Sicht, stellt für viele Firmen den einzig möglichen Weg dar, um einer gesamtheitlichen Auslegung der Produkt- und Prozessvielfalt im sich dynamisch ändernden Beziehungsnetzwerk mit den Kunden und den Lieferanten gerecht zu werden. Einige Erfahrungsberichte, welche die Realisierung von variantenreichen Produktspektren beschreiben, sind in (VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb 2001) festgehalten und bestätigen diese Lösung.

Die Umsetzung dieses Ansatzes beginnt mit der Planung und Auslegung von neuen Produkten in den frühen Phasen der Produktentwicklung und muss über den gesamten Produktlebenszyklus weiterverfolgt werden. Der Einsatz von leistungsfähigen, modernen IT-Tools im Entwicklungsprozess ist unumgänglich und soll eine nachhaltige Informationsquelle für spätere Prozesse darstellen, welche zur Effizienz- und Qualitätssteigerung führen.

Ein solcher Ansatz kann über das Digitale Produkt verfolgt werden.

2.2 Digitales Produkt

Das Digitale Produkt setzt eine klar definierte und konsistente Daten- und Informationsstruktur voraus und wird wie folgt definiert:

Das Digitale Produkt ist die Gesamtheit der Produktdaten, welche während des Innovationsprozesses (Primärentwicklung) erzeugt, konsistent verwaltet und über den Lebenszyklus laufend ergänzt (Sekundärentwicklung) werden und das reale Produkt hinreichend genau repräsentieren (angelehnt an (Leonhardt 2001)), um in den Unternehmensprozessen genutzt zu werden.

Dabei werden die Unternehmensprozesse als wertschöpfende Handlungen des Unternehmens definiert, welche das Digitale Produkt unter Verwendung von spezifischen IT-Anwendungen erweitern, modifizieren und nutzen (Meier, Montau et al. 2002).

Die Produktdaten sind in verteilten, jedoch untereinander verknüpften Datenbanken mit festgelegter Datenhoheit abgelegt. Die Datenerzeugung und -pflege erfolgt in der Primärentwicklung in Hinsicht auf eine optimale Nutzung der Produktdaten in den nachgelagerten Unternehmensprozessen, wie: Herstellung, Vertrieb, Wartung, Entsorgung usw. (siehe Bild 4). Ausserdem fliessen Bedürfnisse, Schwachstellen und Erfahrungen kontinuierlich zurück, werden durch die Sekundärentwicklung in das Digitale Produkt integriert und dienen gleichzeitig auch als Basis für zukünftige

Entwicklungen (Meier, Montau et al. 2002).

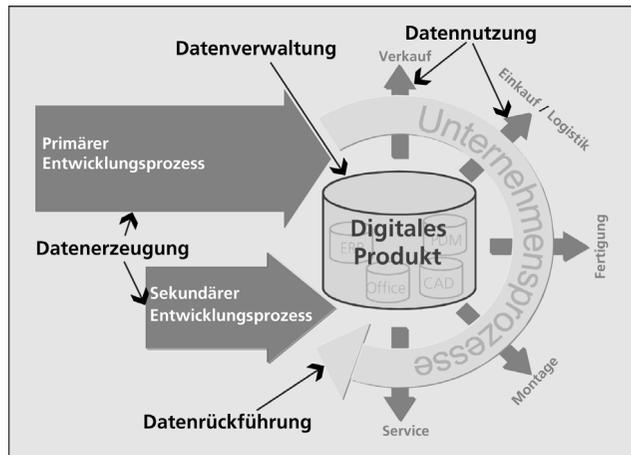


Bild 4: Die Grundkonzepte des Digitalen Produktes

2.2.1 Innovationsprozess im Digitalen Produkt

Wie der Innovationsprozess und der sekundäre Entwicklungsprozess im Kontext des Digitalen Produktes definiert und gegliedert sind, wird anhand eines Vergleichs mit dem klassischen Konstruktionsprozess beschrieben.

2.2.1.1 Klassischer Ansatz

Beim klassischen Ansatz handelt es sich um den Konstruktionsprozess, wie es in der Konstruktionslehre mehrfach beschrieben ist (Breiing und Flemming 1993), (Koller 1994), (Pahl und Beitz 1997), (Roth 1994), (Rodenacker 1991), (VDI2222 1997). In (Roth 1994) und (Zwicker 1998) werden die verbreitetsten Ansätze zur Beschreibung des Konstruktionsprozesses in die VDI-Richtlinie 2222 eingeordnet. Dabei sind im Allgemeinen vier wesentliche Phasen erkannt worden: Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten.

2.2.1.2 Ansatz im Digitalen Produkt

Wie in Bild 5 dargestellt, enthält der Innovationsprozess im Digitalen Produkt im wesentlichen die vier Phasen des klassischen Konstruktionsprozesses. Dieser wird dahingehend erweitert, dass die Grenzen des Konstruktionsprozesses mit weiteren

Aktivitäten in den frühen Phasen der Produktentstehung, z.B. während der Ideengenerierung, sowie in den späten Phasen, beispielsweise bei der Markteinführung, vervollständig werden.

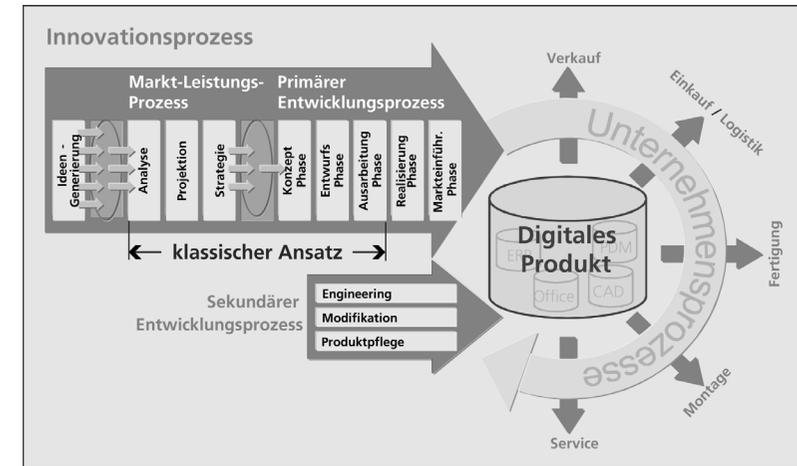


Bild 5: Das Digitale Produkt im Kontext des Innovationsprozesses

Der Innovationsprozess im Digitalen Produkt beginnt ähnlich wie im Modell des Entwicklungstrichters nach (Wheelwright und Clark 1992) mit einer Ideengenerierung. Danach sorgt eine erste Filterung für eine grobe Auswertung der generierten Ideen. In einem zweiten Schritt wird aus einer Analyse und einer Projektion das gesamtheitliche Potential der Ideen ausgelegt und die Produktstrategie bestimmt. Die Gesamtheit der Aktivitäten im zweiten Schritt wird als Markt-Leistungsprozess bezeichnet und umfasst die Analyse, Projektion und Strategie (siehe Bild 5).

Nach dem Markt-Leistungsprozess wird die zu entwickelnde Produktidee in die operative Phase überführt. Ähnlich wie bei der VDI-Richtlinie 2222 soll zu Beginn der Konzeption ein Auftrag vorliegen, der die Randbedingungen des zu entwickelnden Produktes festschreibt. Somit ist die in der VDI-Richtlinie 2222 beschriebene Planungsphase im Markt-Leistungsprozess enthalten.

Die Konzipierung, der Entwurf und die Ausarbeitung als Aktivitäten weichen nicht von der Beschreibung im vorigen Unterkapitel ab. Allerdings in der Zielsetzung der zu erstellenden Daten umfasst der Innovationsprozess im Digitalen Produkt die Gesamtheit der erzeugten Produktdaten. Im Gegensatz dazu zielt der klassische Ansatz nur

auf die Erstellung der Fertigungsdokumentation.

Der Innovationsprozess im Digitalen Produkt umfasst auch die dem klassischen Konstruktionsprozess nachgelagerten Phasen der Produktentstehung, wie die Realisierungs- und Markteinführungsphase. Hier werden Prototypen erstellt und erste Erfahrungen mit dem neuen Produkt gesammelt. Diese Daten sollen letzte Änderungen und allfällige Verbesserungen einleiten. Abschliessend soll die Markteinführung Auskunft über die Produktakzeptanz, über mögliche Anpassungen und über den Erfolg der Produktstrategie geben.

Die Aktivitäten von der Konzeption bis zur Markteinführungsphase werden im Digitalen Produkt als *Primärentwicklung* oder *primärer Entwicklungsprozess* bezeichnet. Der primäre Entwicklungsprozess lässt sich somit wie folgt definieren:

Der primäre Entwicklungsprozess umfasst alle Aktivitäten der Definition, Entwurf, Ausarbeitung, Dokumentation, Realisierung und Markteinführung einer Neukonstruktion im Sinne von (Pahl und Beitz 1997), die von der Konzept- bis zur Markteinführungsphase anfallen.

Komplementär zur Primärentwicklung wird ein Sekundärentwicklungsprozess definiert, in welchem alle produktändernden Aktivitäten während des Produktlebenszyklus vorgenommen werden. Darunter fallen kundenspezifische Anpassungen, die von der Engineering-Abteilung wahrgenommen werden, allgemeine Modifikationen sowie Produktpflege-Aktivitäten, welche die Markt-Attraktivität des Erzeugnisses hoch halten sollen. Der sekundäre Entwicklungsprozess ist wie folgt definiert:

Der sekundäre Entwicklungsprozess umfasst alle produktändernden Aktivitäten im Sinne von Varianten- und Anpassungskonstruktionen (Pahl und Beitz 1997), welche durch veränderte Rahmenbedingungen auf dem Markt oder im Zuge der Auftragsabwicklung konkreter Kundenaufträge anfallen.

Zudem werden unter den Begriff des sekundären Entwicklungsprozesses alle Aktivitäten (z.B. Bedürfnisse, Schwachstellen, Erfahrungen usw.) verstanden, welche durch die Rückführung der Daten hervorgerufen werden, die in den Unternehmensprozessen (siehe Bild 4) genutzt worden sind.

Im Digitalen Produkt erfolgt eine klare und eindeutige Unterscheidung zwischen der Erzeugung von neuen Produkten und allen produktändernden Aktivitäten, die während des Produktlebenszyklus stattfinden.

2.3 Konzept des Digitalen Produktes

Das Konzept beschreibt die Umsetzung des Gedankens des Digitalen Produktes in der unternehmerischen Praxis. Dabei wird das Digitale Produkt durch folgende Elemente definiert bzw. massgeblich beeinflusst (vgl. Bild 6):

- ein klar strukturierte Produkte (P - Produkte),
- unternehmensinterne Prozesse (U - Unternehmensprozesse) und
- leistungsfähige IT-Tools (T -Tools) (Meier, Montau et al. 2002).

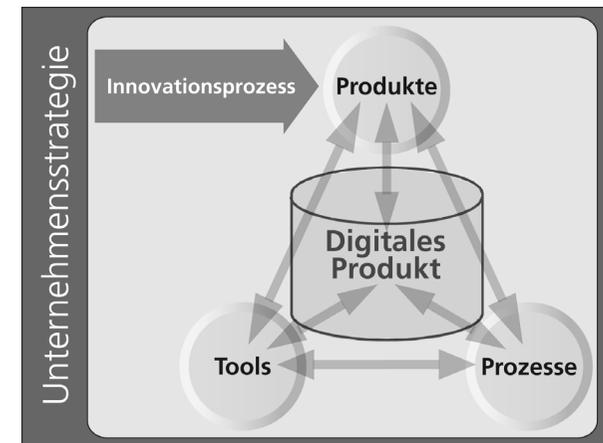


Bild 6: Das Digitale Produkt im Spannungsfeld von Produkten, Prozessen und Tools

Eine langfristige Unternehmensstrategie mit einem Horizont von 5 bis 10 Jahren, welche im Spannungsfeld dieser drei Faktoren liegt, trägt im Unternehmen zur Zielerreichung bei. Das Gleichgewicht der oben genannten Faktoren ermöglicht die erwünschte nachhaltige Effizienz und Qualitätssteigerung. Die Umsetzung dieser Strategie ist jedoch mit einem hohen Initialaufwand und einer kontinuierlichen Überwachung und Synchronisation verbunden.

2.3.1 Produkte

Im Konzept des Digitalen Produktes nimmt das Produktkonzept eine zentrale Rolle bei der Umsetzung des Ansatzes ein. Das Ziel dabei ist, im Umfeld des Digitalen Produktes eine eindeutige Produktstrukturierung zu schaffen, um damit ein überschaubares und flexibles Produktspektrum anzubieten, welches auch im Bereich von

kundenspezifischen Lösungen rentabel sein kann (vgl. Bild 3, Exoten). Dabei beinhaltet die Produktstrukturierung zwei Aspekte:

- **Ordnungsaspekt**

Mit einer Klassifizierung wird die Zusammenfassung von Objekten zu Objektgruppen definierter Ähnlichkeit mittels Merkmalen und den jeweils möglichen Ausprägungen erreicht. Zielsetzung ist, anhand von Merkmalen, sowie deren Ausprägungen, gezielt Produkte selektionieren zu können. In der Produktentwicklung werden diesbezüglich konstruktive, funktionelle und fertigungstechnische Eigenschaften von Einzelteilen beschrieben.

Im Kontext der Konfiguration hingegen soll mittels einer Klassifizierung eine Übersicht über die Leistungsbreite und -dichte von Produkten, die sich mit gleichen oder ähnlichen Merkmalen beschreiben lassen, geschaffen werden. Daraus wird beispielsweise abgeleitet, welche Produkte für welche Anwendungen (Marktsegmente) geeignet sind. Eine solche Klassifizierung dient zudem als Basis für die Gestaltung von Produktkatalogen oder kann als Bewertungsgrundlage - beispielsweise für die Einleitung von Massnahmen in der Primär- oder in der Sekundärentwicklung - herangezogen werden.

- **Strukturaspekt**

Mittels einer klaren Anordnung der Baugruppen soll eine Produktarchitektur einer Produktfamilie gewählt werden, welche Standardisierungsaspekte, sowie heutige und in der Zukunft auftretende Anforderungen berücksichtigt.

Unter Produktarchitektur wird folgendes verstanden:

Die Produktarchitektur definiert die Art der Abbildung von Produktfunktionen auf die physikalischen Komponenten eines Produktes. Modulare Produktarchitekturen realisieren eine direkte Abbildung von Funktionen auf physikalische Komponenten. Zwischen den Komponenten bestehen klar definierte Schnittstellen. Bei integralen Produktarchitekturen werden die einzelnen Funktionen über verschiedene Komponenten, oder verschiedene Funktionen über einzelne Komponenten realisiert (Ulrich und Eppinger 1995).

Eine Produktfamilie wird wie folgt definiert:

Eine Produktfamilie besteht aus Produktvarianten mit identischen internen Schnittstellen (technologisch, funktional, physisch) für alle Varianten (Erens 1996), Seite 186. Die einzelnen Ausprägungen (Produkte) einer Produktfamilie lassen sich mit gleichen Merkmalen beschreiben.

Im Zusammenhang mit variantenreichen Produkten und im Kontext der

vorliegenden Arbeit wird die Produktfamilie auch als Synonym für ein Variantenprodukt verwendet.

Die Definition der Produktarchitektur erfolgt vorzüglich in der Konzept- und in der Entwurfsphase des primären Entwicklungsprozesses und berücksichtigt Umweltfaktoren wie Kunden- und Marktanforderungen, Normen, Gesetze u.v.a., sowie firmeninterne Faktoren wie beispielsweise Fertigungs- oder Montageanforderungen. Es gilt, eine klare Zuweisung von Funktionen zu Modulen zu schaffen und die Ausgestaltung der Module und deren Beschreibung mittels Merkmalen zu definieren. Die Architektur weist eine klare Unterscheidung zwischen Standard- und Variantenmodulen auf.

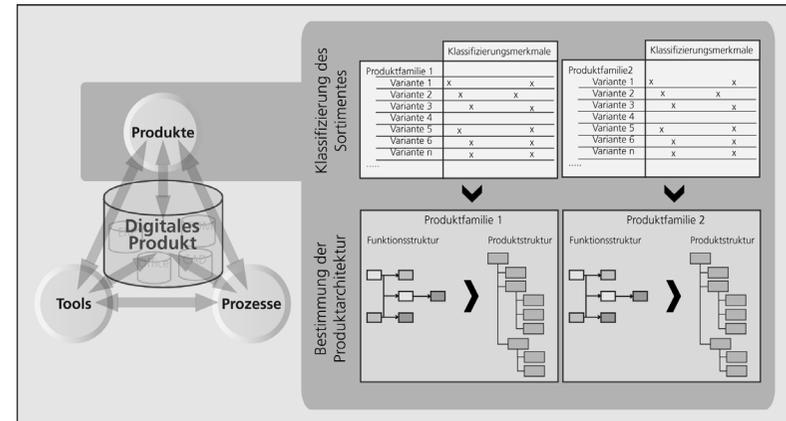


Bild 7: Die Klassifizierung und die Produktstrukturierung als Hauptaktivitäten der Produktgestaltung im Digitalen Produkt

Zur Darstellung einer Produktfamilie werden folgende beschreibende Elemente herangezogen (Meier und Zwicker 2001):

- Die Eigenschaften der Module, wie z.B. Masse, Gestalt, Struktur und Werkstoff.
- Eine auftragsneutrale Produktstruktur, die den hierarchischen Aufbau der Produktfamilie darstellt und wie folgt definiert wird:

Die Produktstruktur ist ein produktdarstellendes Modell, das die Gesamtheit der nach bestimmten Gesichtspunkten (z.B. Fertigung, Montage,

Funktion, Disposition, Kalkulation) festgelegten Beziehungen zwischen Baugruppen und Einzelteilen eines Produktes beschreibt (DIN199/2 1977).

- Die zu den Modulen zugeordneten Informationsobjekte, wie das Geometriemodell, FEM-Daten, Offertentexte, Betriebs- und Serviceanleitungen, Preise usw.

Die Produkte bzw. die -familien werden im Laufe des gesamten Lebenszyklusses ständig an die Marktgegebenheiten angepasst, sodass die geforderte Produktvielfalt in einer für das Unternehmen wirtschaftlichen Form abgedeckt wird.

Das Resultat der Produktstrukturierungsaktivitäten ist ein Produktkonzept, welches eine massgebliche Rolle bei der Auslegung der Unternehmensprozesse sowie bei der Bestimmung der IT-Tools spielt.

2.3.2 Unternehmensprozesse

Die Unternehmensprozesse werden gemäss dem Produktkonzept und mit Einbezug der Kunden und Zulieferanten definiert. Dabei werden die Aktivitäten, die Kompetenzverteilungen und die Datennutzung im Digitalen Produkt während des gesamten Produktlebenszyklusses erfasst. Es gilt, die Produktkonzeption über diese Prozesse optimal zu unterstützen. Es werden diejenigen Unternehmensprozesse erfasst und analysiert, welche von der Entstehung, Herstellung, Lieferung und Nutzung des Produktes tangiert werden. Es handelt sich dabei vorwiegend um *technische* Prozesse (vgl. Bild 5). Diese werden unter den Gesichtspunkten:

- der Aufbauorganisation,
- der Ablauforganisation,
- des Daten- und Dokumentenflusses im Digitalen Produkt,
- der Verteilung der Verantwortlichkeiten und
- der Schnittstellen mit anderen Prozessen beleuchtet.

2.3.3 Tools

Bei den Tools handelt es sich vielfach um kommerziell erhältliche informationstechnische Werkzeuge, welche der Generierung, Verwaltung und Nutzung der produktbezogenen Daten im Digitalen Produkt dienen. Diese IT-Tools werden gemäss den Anforderungen, die aus dem Produktkonzept und aus den *technischen* Unternehmensprozessen resultieren, definiert. Es gilt, solche IT-Werkzeuge als Subsysteme innerhalb eines IT-Konzeptes funktionell zu definieren und von den bereits vorhande-

nen Systemen abzugrenzen. Das IT-Konzept beschreibt nach (Meier und Zwicker 2001):

- den Funktionsumfang einzelner Systeme zur Datenerzeugung (z.B. CAD, Office usw.) und zur Datenverwaltung bzw. -verarbeitung (z.B. PDM, ERP usw.),
- die funktionelle Abgrenzung der Subsysteme untereinander,
- die Schnittstellen zwischen den Systemen und
- die Integration der Subsysteme in das Unternehmen bzw. in die bestehende IT-Infrastruktur.

Im Kontext des Digitalen Produktes sind mehrere Werkzeuge von Bedeutung:

- CAx-Tools zur Datenerzeugung (CAD/CAE) des Digitalen Produktes
- PDM-Tools zur Datenverwaltung innerhalb des Digitalen Produktes
- CAx-, ERP- und Viewing-Tools zur Datennutzung.

2.4 Problemstellung

Die systematische Erfassung der Kundenanforderungen und die gezielte Verbreitung dieser Information innerhalb des Unternehmens spielen heutzutage eine zunehmend wichtige Rolle, weil dadurch die Entwicklungs- und Lieferzeiten verkürzt werden und die Qualität des Produktes verbessert wird. Die Verbreitung dieses Wissens bezüglich der Konfiguration, insbesondere zwischen dem Engineering und dem Verkauf, stellt Unternehmen mit Variantenprodukten vor nicht einfach zu lösende Probleme. Selten ist dieser Prozess systematisch beschrieben und ausgeführt (Tiihonen, Soininen et al. 1996). Dieser Umstand hängt auch stark von der unterschiedlichen Sichtweise auf das Produkt in den betroffenen Geschäftsprozessen ab. Diese Faktoren erschweren zum einen eine effiziente Produktentwicklung und zum anderen die Auftragsabwicklung, insbesondere bei Variantenprodukten (Gausemeier, Flath et al. 1998) (Pulkkinen 2000).

Besonders in Unternehmen mit einer grossen Anzahl an Variantenprodukten oder komplexen Produkten verdeutlicht sich dieser Umstand, weil der Konfigurationsprozess zu lange dauert oder die Qualität der Konfiguration stark abhängig ist von der Erfahrung der einzelnen Verkäufer. Die Folge: der Vertriebsmitarbeiter berücksichtigt nicht mehr alle möglichen Lösungen, da er das Angebot nicht mehr versteht, und der Kundennutzen nimmt dementsprechend ab (Schuh und Schwenk 2001). Darüber hinaus werden im Vertrieb Varianten konfiguriert und verkauft, die technisch nicht realisierbar sind oder nicht im Produktsortiment stehen. (Tiihonen, Soininen et al. 1996) erwähnt, dass ca. 80% der durchgeführten Konfigurationen

unvollständig sind und dass ca. 50% aller Produktkonfigurationen fehlerbehaftet seien. In einer Untersuchung von (Luhtala, Kilpinen et al. 1994) wird festgehalten, dass 10 bis 15% des jährlichen Umsatzes durch die mangelnde Effizienz des Verkaufs verschwendet werden.

Diese Umstände unterstreichen die Notwendigkeit zur Definition einer einfachen Beschreibungssprache für Variantenprodukte, die das Konfigurationswissen darstellt und von nicht technischen Mitarbeitern verstanden wird. Dadurch soll ein gemeinsamer Nenner für die unterschiedliche Sichtweise auf das Produkt, die Übersicht auf variantenreiche Produkte und die Basis für die Formalisierung des Konfigurationsprozesses geschaffen werden.

Ausserdem soll diese Methode die Produkaspekte des Digitalen Produktes, die im Kap. 2.3.1 beschrieben sind, unterstützen. Einerseits soll diese Beschreibungssprache einen Beitrag zur Klassifizierung von Produkten im Kontext der Konfiguration leisten und andererseits soll sie die Aspekte der Variantenvielfalt bei der Definition der Produktarchitektur unterstützen.

2.5 Anforderungen an eine Beschreibungssprache für Variantenprodukte

Aus den im vorigen Kapitel diskutierten Hauptproblembereichen lässt sich eine Reihe von Anforderungen an eine Beschreibungssprache formulieren, die in (Bongulielmi, Henseler et al. 2001) und (Puls, Bongulielmi et al. 2001) vorgestellt worden sind:

- Die Methode soll einen generischen und strukturierten Charakter bezüglich der Beschreibung der Variantenvielfalt von Produkten aufweisen.
- Aufgrund der verschiedenen Sichtweisen der involvierten Abteilungen auf das Produkt soll die Methode unterschiedliche Beschreibungen des Produktes zulassen: beispielsweise eine Kunden- oder Verkaufssicht, eine technische Sicht oder eine Produktionssicht.
- Es soll eine konsistente Abbildung der Information (Mapping) zwischen einzelnen Sichten gewährleistet werden.
- Die Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen einzelnen Elementen in den Sichten soll möglich sein. Dadurch soll eine Übersicht über das Produkt, dessen Varianten und die Abhängigkeiten zwischen diesen Elementen gegeben werden.
- Die Methode soll den primären Entwicklungsprozess insbesondere in der Ausar-

beitungsphase aus der Sicht der Konfiguration unterstützen.

- Die Methode soll als Grundlage für Entscheidungen im Bereich der Sortimentspflege und des Reengineering im sekundären Entwicklungsprozess dienen.
- Da die Beschreibungssprache eine kommunikative Brücke zwischen Entwicklung und Verkauf bilden soll, wird die Einfachheit bzw. Verständlichkeit eine zentrale Voraussetzung darstellen. Dadurch sollen die Akzeptanz sowie die Erlernbarkeit der Methode gefördert werden.

Im Sinne der Datenverwaltung und -nutzung im Digitalen Produkt wird das Konfigurationswissen vielfach in Konfiguratoren gespeichert. Solche Werkzeuge setzen ein Verständnis für die Wissensabbildung und -verwaltung voraus und werden von speziell ausgebildeten Mitarbeitern bedient. Solche Mitarbeiter fehlen meistens in den KMUs, weil die Ressourcen vom täglichen Geschäft absorbiert sind.

Darüber hinaus ist die Einführung eines Konfigurators mit finanziellen Investitionen verbunden, die ausser Reichweite der meisten KMUs liegen. Die Beschreibungssprache bzw. die Methode soll diesen Umständen Rechnung tragen und in das Digitale Produkt integrierbar sein. Daraus ergibt sich auch die Notwendigkeit der digitalen Erfassung der Daten. Die Anforderungen an ein solches Werkzeug sind in (Bongulielmi, Henseler et al. 2001) und (Puls, Bongulielmi et al. 2001) beschrieben worden:

- Das Werkzeug soll die Logik der Beschreibungssprache reflektieren, um die entsprechenden Daten zu finden, zu verändern und zu speichern.
- Die Wissensbasis soll von verschiedenen Abteilungen genutzt werden können, wobei nicht alle Benutzer alle Rechte auf die Daten haben sollten.
- Die Wissensbasis soll die technischen, produktnahen Aspekte des Konfigurationsprozesses abbilden.
- Das Werkzeug soll in die Software-Umgebung des Unternehmens integrierbar sein, sodass vorhandene konfigurationsrelevante Daten vom Werkzeug übernommen oder an andere Softwares übergeben werden können.
- Das Werkzeug soll eine Eingabemaske für die Erfassung der Daten aufweisen. Diese soll die charakteristischen Eigenschaften der Methode widerspiegeln.
- Das Werkzeug soll eine Abfragemaske aufweisen, um die Konfiguration eines Produktes zu ermöglichen. Dadurch sollen Mitarbeiter oder Kunden in die Lage versetzt werden, eine Konfiguration durchzuführen; dies z.B. als Unterstützung im Verkaufsprozess, als elektronischer Katalog oder aber auch als Schulungsmittel für neue Vertriebsmitarbeiter.

- Alle Komponenten des Software-Werkzeuges sollen grundsätzlich keine Korrelationen zum abgebildeten Produkt aufweisen. Somit soll der generische Charakter der Methode auch im Softwaretool erhalten bleiben.
- Die Software-Komponenten sollen an die spezifischen Anforderungen der Unternehmen anpassbar sein.
- Das Software-Tool soll keine besonderen Anforderungen an die Software-Umgebung einer Firma stellen und in die aktuellen Back-Office Tools integrierbar sein (z. B. Microsoft Access als Datenbank, Internet Explorer als Browser).
- Die Entwicklungsumgebung der Software soll bekannt sein und kein finanzielles Hindernis für KMUs darstellen.
- Die Logik der abgebildeten Daten soll derjenigen üblicher kommerzieller Systeme (Konfiguratoren) entsprechen. Hiermit besteht die Möglichkeit, die Daten der Beschreibungssprache an kommerzielle Softwarepakete zu übergeben.

Die Entwicklung eines solchen Werkzeugpakets (Methode und Tool) und die Implementierung innerhalb eines Unternehmens im Kontext von variantenreichen Produkten, sollte in einer Firma mit folgender Zielsetzung erfolgen:

- Schaffung einer zugänglichen technischen Wissensbasis über Variantenprodukte für alle Mitarbeiter, die von der Vielfaltproblematik betroffen sind.
- Unterstützung des Produktkonzeptes im Digitalen Produkt
- Verbesserung der Kommunikation zwischen Engineering und Verkauf
- Verkürzung der Auftragsabwicklungszeiten
- Verbesserung der Qualität der gelieferten Produkte
- Unterstützung bei der Entwicklung und Einführung von neuen Varianten
- Schaffung einer intuitiven, verständlichen und visuellen Modellierungsumgebung von Konfigurationswissen für Entwicklungsteams und -ingenieure.

2.6 Aufbau der Arbeit

Die nächsten zwei Kapitel dienen der Schaffung einer Übersicht über die Problematik des Konfigurationsmanagements. Zuerst werden mögliche Produktarchitekturen vorgestellt, die eine modulare Produktstruktur unterstützen. Danach werden einige der relevantesten methodischen Ansätze diskutiert, welche im Entwicklungsprozess zur Gestaltung von variantenreichen Produkten zum Einsatz kommen. In Kapitel 4 wird der Begriff Konfiguration erläutert und dann auf wissensrelevante

Aspekte bezüglich der Konfiguration im Entwicklungsprozess fokussiert. Aus dieser Analyse gehen die Problemstellungen und die Lücken hervor, welche zur Entwicklung der K- & V-Matrix-Methode und des -Systems geführt haben. Die Präsentation der K- & V-Matrix-Methode bildet den Schwerpunkt des fünften Kapitels. Nach der Einführung der Methode wird diese in den Kontext des primären und sekundären Entwicklungsprozesses gestellt und es wird gezeigt, wie die K- & V-Matrix-Methode das Produktkonzept im Digitalen Produkt unterstützt. Die Methode wird im zweiten Teil den in Kapitel 3 präsentierten Vorgehensweisen gegenübergestellt. Die Unterschiede und Gemeinsamkeiten werden dabei diskutiert; mit einer besonderen Fokussierung auf die Kombinierbarkeit der K- & V-Matrix-Methode mit den anderen Methoden im Kontext des primären Entwicklungsprozesses.

Kapitel 6 präsentiert das K- & V-Matrix-System als informationstechnische Unterstützung der K- & V-Matrix-Methode im Kontext des Digitalen Produktes. Das K- & V-Matrix-System leitet gleichzeitig auch den zweiten Schwerpunkt der Arbeit ein: die Interface-Gestaltung als Schnittstelle zwischen Anwendern der Methodik und dem K- & V-Matrix-System. Der Aspekt der einfachen Verständlichkeit und Bedienbarkeit in der Anforderungsliste der Beschreibungssprache wird im System mit einem einfachen und intuitiven Interface wiedergegeben. Dadurch, dass es sich hierbei um eine zentrale Anforderung handelt und diese einen grossen Einfluss auf die Benutzerakzeptanz ausübt, ist diesem Aspekt besondere Beachtung geschenkt worden.

In Kapitel 7 werden die Einflussfaktoren für die Gestaltung eines Graphical User Interface (GUI) diskutiert. Solche Einflussfaktoren spielen eine zentrale Rolle, insbesondere im Hinblick auf eine intuitive und einfache Bedienung des Systems. Der Schwerpunkt des achten Kapitels ist der Aufbau und die Gestaltung der Benutzerschnittstellen im K- & V-Matrix-System: ein Interface zur Eingabe und Pflege der Daten und ein Interface zur Nutzung der Daten im Sinne einer Datenabfrage. Kapitel 9 beschreibt die Verifizierung des kritischsten Interface (Abfragetool) im *Usability Lab*, in welchem die Alltagstauglichkeit von Bedienungsschnittstellen getestet werden kann und beinhaltet die Diskussion der Resultate.

Kapitel 10 ist als thematisch abschliessendes Kapitel zu betrachten. Hier werden einige Beispiele der implementierten Applikationen vorgestellt. Dabei werden verschiedene Beispiele von Matrizen und die entsprechenden K- & V-Matrix-Systeme in unterschiedliche unternehmerische Umfeldler gestellt und die Stärken und Schwächen des Gesamtansatzes diskutiert.

Kapitel 11 dient der abschliessenden Diskussion der erarbeiteten Resultate und gibt einen Ausblick auf das K- & V-Matrix-System und die -Methode im unternehme-

rischen Umfeld des Digitalen Produktes.

Eine graphische Übersicht der vorliegenden Arbeit ist in Bild 8 dargestellt.

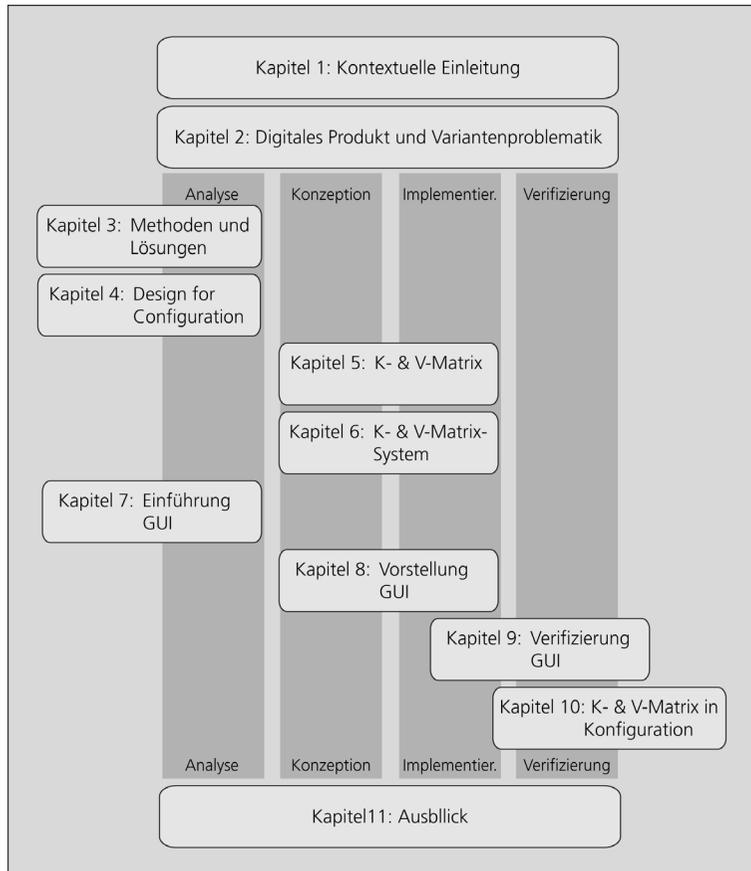


Bild 8: Kapitelaufbau der Arbeit

Kapitel 3

Variantenvielfalt im Entwicklungsprozess: Methoden und Lösungsansätze

In diesem Kapitel werden zu Beginn mögliche Lösungsansätze - wie Baukastenprodukte oder Plattformen - diskutiert, welche die Problematik der Variantenvielfalt aus der Sicht der Produktgestaltung bzw. -architektur beleuchten. Im zweiten Teil des Kapitels werden verschiedene Methoden beschrieben, welche einen Beitrag leisten zur Auswertung einer zentralen, standardisierten Struktur mit den nötigen Freiheitsgraden für die Gestaltung von kundenspezifischen Modulen.

Das Ziel der Strukturierungsaufgabe besteht darin, Lösungen zu finden, welche die Anforderungen der inneren und äusseren Variantenvielfalt erfüllen.

- **Innere und äussere Variantenvielfalt**

Auf Produktebene wird zwischen der inneren und der äusseren Vielfalt der Varianten (auch interne und externe Vielfalt genannt, vgl. (Franke, Hesselbach et al. 2002)) unterschieden. Die äussere Variantenvielfalt ist dabei die für den Kunden erkennbare, nach aussen wirkende Angebotsvielfalt eines Produktes. Sie beinhaltet z.B. die vom Kunden wählbaren Eigenschaften der Erzeugnisse und die dadurch bedingten Restriktionen der Produkte selber sowie der Absatzmärkte (Bartuschat 1995). Tendenziell ist eine externe Vielfalt für ein Unternehmen nützlich, solange sie die vom Markt geforderte Vielfalt nicht übersteigt (Franke und Firchau 2001).

Die innere Vielfalt ist die Vielfalt an Baugruppen und Teilen, die zur Realisierung

der äusseren Angebotsvielfalt benötigt wird (Bartuschat 1995). Die innere Vielfalt verursacht hohe Komplexität und mangelnde Transparenz in den Abläufen sowie einen höheren Herstellungsaufwand (Franke und Firchau 2001).

Die Optimierung der äusseren Variantenvielfalt bei einer gleichzeitigen Minimierung der inneren Variantenvielfalt, soll das Hauptziel jeder Entwicklung variantenreicher Produkte sein.

3.1 Lösungsansätze

Verschiedene Lösungsansätze tragen der Beherrschung der Variantenvielfalt im Entwicklungsprozess bei. Dabei muss - wegen verschiedener Freiheitsgrade - zwischen dem primären und dem sekundären Entwicklungsprozess (siehe Kap. 2.2) unterschieden werden.

3.1.1 Quantitative Methoden in der Sekundärentwicklung

In der Sekundärentwicklung wird eine punktuelle Verbesserung der Produktpalette im Sinne eines Abgleichs zwischen der vom Markt geforderten und der angebotenen Variantenvielfalt angestrebt. Dafür existiert eine ganze Reihe von Werkzeugen, die teilweise auch in der Primärentwicklung verbreitet sind.

Das Anwendungsgebiet dieser Methoden erstreckt sich von der Erfassung bzw. Überprüfung und Erwägung von Kundenwünschen, über die Analyse und Bereinigung von Variantenstrukturen (Produktstrukturen) bis zur fertigungs- und montagegerechten Analyse von Produkten. Eine Liste solcher Methoden ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Quantitative Methoden zur Variantenanalyse bestehender Produkte nach (Franke und Firchau 2001) und (Bartuschat 1995)

Methoden für die Analyse existierender Produktfamilien		
- Anforderungsliste	- Kostenstruktur	- Montagegerechte Erzeugnis-
- Funktionsanalyse	- Variantenbaum	Gliederung
- Conjoint Analyse	- Stücklistenanalyse	- Fertigungsorientierte Erzeugnis-
- Erzeugnisstruktur	- Stücklistenvergleich	Gliederung
- ABC Analyse	- Erzeugnispyramide	- Überdeckungsmatrix

3.1.2 Optimierung der Gestaltung von neuen Variantenprodukten

Im primären Entwicklungsprozess existieren - neben den oben genannten Methoden (vgl. Tabelle 1) - verschiedene Produktarchitekturen und Methoden zur Gestal-

tung von Produktfamilien, welche dazu beitragen, das erwähnte Ziel der Vielfaltsoptimierung zu erreichen. Solche Massnahmen sind insbesondere in der Konzeptions- und in der Entwurfsphase anzuwenden.

3.1.2.1 Baureihen

Die Baureihen sind technische Gebilde (Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile), die dieselbe Funktion mit der gleichen Lösung, in mehreren Grössenstufen bei möglichst gleicher Fertigung in einem weiten Anwendungsbereich erfüllen (Pahl und Beitz 1997). Die Abstufung der Varianten in geometrische Grössen üben gleichzeitig einen direkten Einfluss auf die Leistungsmerkmale des Systems aus. Muttern, Schrauben, die zu den normierten Maschinenelementen gehören, oder aber auch Getriebegehäuse sind klassische Beispiele von Baureihen in der Maschinenindustrie.

Sowohl in der Entwicklung, wie auch in der Arbeitsvorbereitung und Fertigung verhelfen die kumulierten Erfahrungen zur Zeit- und Kostensenkung. Das wird durch die Verwendung von Standardbaugruppen begünstigt, die gleichzeitig zu einer Steigerung der Qualität führen (Ehrlenspiel, Kiewert et al. 2000). Die klare Abstufung ist für das Marketing und den Verkauf ebenfalls von Vorteil, insofern sich das Produktspektrum aus wenigen erkennbaren, kundenrelevanten Eigenschaften ableiten lässt. Eine solche Abstufung kann für den Abnehmer den Nachteil aufweisen, nicht das aus Kundensicht optimale Produkt angeboten zu bekommen.

3.1.2.2 Baukasten und Modulbauweise

Baukasten werden wie folgt definiert:

Unter Baukasten versteht man Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile, die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombination und verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen (Pahl und Beitz 1997), Seite 606.

(Kohlhase 1997) fügt hinzu, dass die Bausteine, die anwendungsspezifisch gewählt werden, unter Beachtung von Verträglichkeiten miteinander kombiniert werden.

Der wesentliche Unterschied zwischen Baukasten und anderen Produktarchitekturen besteht in der Austauschbarkeit von Komponenten (auch Bausteine genannt). Nach (Ulrich und Eppinger 1995) wird die Austauschbarkeit durch die Definition von Komponenten, die fest definierte Schnittstellen aufweisen, ermöglicht. Zudem weisen Baukastenprodukte eine direkte, oft voneinander entkoppelte Abbildung der Funktionen auf die physikalischen Komponenten auf (Ulrich und Tung 1991) (siehe Bild 9).

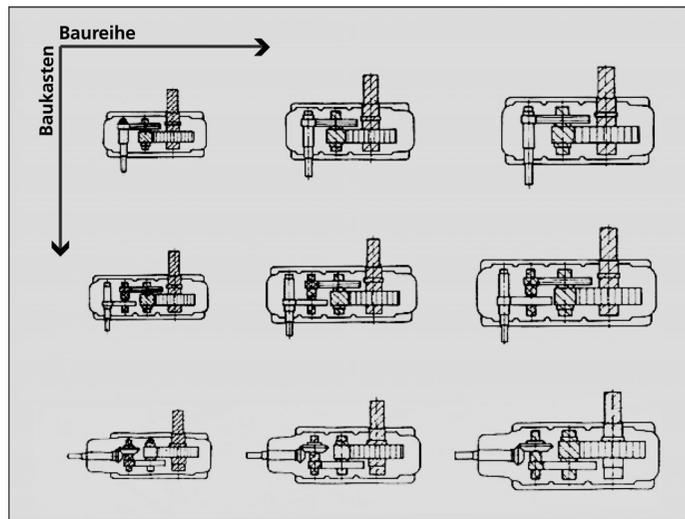


Bild 9: Redurex-Zahnradgetriebe nach dem Baureihen-Baukastenprinzip von Flen-der in (Ehrlenspiel, Kiewert et al. 2000).

Die Vor- und Nachteile von Baukastensystemen sind denjenigen der Baureihen ähnlich (vgl. (Hansen, Andreasen et al. 2002), (Ehrlenspiel, Kiewert et al. 2000), (Ulich und Tung 1991), (Büttner 1997), (Breiing und Flemming 1993), (Borowski 1961), (Kohlhase 1997) und (Koller 1994)). Einige für die Primärentwicklung relevanten Eigenschaften werden an dieser Stelle aufgelistet:

- Eines der gängigsten Motive für die Anwendung von Baukastenprodukten ist die Möglichkeit, die äussere Variantenvielfalt mit einer begrenzten Anzahl an Komponenten (innere Vielfalt) realisieren zu können.
- Durch die vordefinierten, sich in vielen Fällen bewährten Bausteine entfallen gewisse Entwicklungsrisiken. Dies wirkt sich auf die Durchlaufzeiten, die Kosten und die Qualität positiv aus.
- Folgeprodukte können gewisse Bausteine von bestehenden Produktfamilien wieder verwenden, weil diese vordefinierte Schnittstellen aufweisen.
- Die Aufteilung des zu entwickelnden Systems in Komponenten mit fest definierten Schnittstellen ermöglicht die parallele und unabhängige Entwicklung einzelner Bausteine.

- Baukastenprodukte verbessern die organisatorische Flexibilität durch die Einfachheit der Kommunikation der Produktstruktur.

Als verbreitetes Synonym von Baukasten, gilt das Konzept der Modulbauweise. Ein Modul entspricht einem Baustein, da es sich ebenfalls um eine funktionale Einheit handelt, mit klar definierten Grenzen und Schnittstellen. Ein Modul besitzt gegenüber anderen Modulen und unabhängig von Produkten einen eigenen Lebenszyklus. (Schuh 1989) fügt hinzu, dass Module eine vielfältige Kombinierbarkeit und eine effiziente Vielfaltserzeugung ermöglichen. Die Wirkung der Modulbauweise kann somit als *Komplexitätsfänger* interpretiert werden, der die Komplexität in den Modulen fängt und somit die Kombinierbarkeit gewährleistet (Hansen, Andreasen et al. 2002).

Eine Übersicht über die möglichen Ausprägungen von Modul- und Baukastenbauweise sind in (Ehrlenspiel, Kiewert et al. 2000) und (Ulich und Tung 1991) vorgestellt.

3.1.2.3 Plattformen

In den letzten Jahren sind Produktplattformen als Lösungsansatz zur Wiederverwendung von Baugruppen bekannt geworden. Als Beispiel sei hier die Bodenbaugruppe in der Automobilindustrie erwähnt. Darüber hinaus hat die Plattform eine strategische Bedeutung erlangt.

Die Grundidee der Plattformbildung für Produkte entspricht derjenigen der Baukastenprodukte. Das Konzept Plattform hingegen ist in Zusammenhang mit verschiedenen unternehmerischen Aspekten in Verbindung gebracht worden. Diverse Definitionen von Plattform sind deswegen auch in der Literatur ausformuliert worden. Erens und Meyer beschreiben die Plattform in dem sie ausschliesslich auf das Produkt Bezug nehmen. In diesem Zusammenhang beinhaltet die Plattform die Eigenschaften eines Baukastenproduktes, welche jedoch in verschiedenen Produktfamilien eingesetzt wird:

A product platform is defined as a set of interfaces and key-components that must be reused by a number of different product families (Erens 1996).

A platform is a set of subsystems and interfaces that form a common structure from which a stream of derivative products can be efficiently developed and produced (Meyer und Lehnerd 1997).

Weitere ähnliche Definitionen sind in (Sundgren 1998) und (Aasland, Reitan et al. 2001) aufgeführt. Robertson und Ulrich umschreiben hingegen den Begriff der Plattform in einer abstrakteren Art und Weise:

A platform is defined as a collection of values that share something common for a product. This could be commonality in components, processes, knowledge or staff and relationships (Robertson und Ulrich 1998) in (Reitan, Stormo et al. 2002).

Auch in (Piller 2000) und (Elgård 1998) werden neben den produktnahen Aspekten auch prozessnahe sowie organisatorische Aspekte in die Definition der Produktplattform miteinbezogen. Somit werden Technologien, Innovationszyklen und die Aufbauorganisation zu Elementen der Plattform.

Die Auffassung einer Produktplattform im Kontext des Digitalen Produktes umfasst nur produktbezogene Aspekte und entspricht im wesentlichen der Definition von Erens.

3.2 Ansätze zur Erstellung modularer Produktfamilien

Im letzten Jahrzehnt sind modulare Produkte sowohl in akademischen Kreisen wie auch in der industriellen Umgebung oft diskutiert worden. Die Produktmodularisierung bezieht sich dabei auf die Strukturierung des Produktes, um im unternehmensinternen und -externen Spannungsfeld ein zufriedenstellendes Gleichgewicht zwischen Standardisierung und Modulvielfalt zu finden.

In diversen Ansätzen werden die Gestaltung der Variantenvielfalt, die Plattformbildung, die Gestaltung der Produkte für die spätere Konfiguration usw. aus unterschiedlichen Gesichtspunkten diskutiert. Neben den bekannten, weit verbreiteten Methoden wie das Quality Function Deployment (QFD) (Akao 1990) (vgl. Kap. 3.3) oder das Design Structure Matrix (DSM) (Steward 1981) sind in den letzten Jahren verschiedene Methoden entwickelt worden, die jeweils einige der oben genannten Aspekte beleuchten. Einige, teilweise unvollständige Übersichten solcher Methoden sind in (Tseng und Jiao 1998) und (Bi und Zhang 2001) gegeben.

Ansätze, die beispielsweise einen betriebswirtschaftlichen Schwerpunkt aufweisen, sind in (Meyer und Lehnerd 1997) und (Schuh und Tanner 1998) (vgl. Kap. 3.4) vorgestellt worden. Mehrere Methoden beschäftigen sich mit der Strukturierung der Produktarchitektur in der Produktentwicklung, wobei ein Teil dieser Vorgehensweisen rein analytischer Art ist. (Kota und Sethuraman 1998), (Riitahuhta, Pulkkinen et al. 1998), (Martin und Ishii 2000) (vgl. Kap. 3.6), (Stake 2001), (Clarkson, Simons et al. 2001) und (Jarratt, Eckert et al. 2002) unterstützen die Auslegung der Produktarchitektur bzw. untersuchen unterschiedliche Aspekte der Abhängigkeiten zwischen

den Modulen anhand von Metriken oder Indizes. (Pulkkinen, Lethonen et al. 1999), (Tseng und Jiao 1998) und (Erens 1996) zeigen modell-basierte Ansätze für die Gestaltung von unterschiedlichen Arten von Produktplattformen. (Siddique und Rosen 2000), (Järventausta und Pulkkinen 2001) und (Fujita, Akagi et al. 1998) präsentieren Optimierungsansätze mit Hilfe von mathematischen Verfahren. (Gonzales-Zugasti und Otto 2000), (Dahmus, Gonzales-Zugasti et al. 2000), (Stone, Wood et al. 1998) und (Otto 2001) (vgl. Kap. 3.7) diskutieren Modularisierungsansätze, in denen die Funktionsstruktur die zentral wichtige Rolle im Modularisierungsvorgang einnimmt. (Erixon 1998) (vgl. Kap. 3.5) stellt die unternehmensinternen und -externen Faktoren als Antreiber der Modularisierung in den Mittelpunkt, um Entscheidungen über die Produktarchitektur zu treffen.

In den folgenden Unterkapiteln werden exemplarisch einige Vertreter dieser Gruppierungen vorgestellt und diskutiert. Diese Vorstellung soll zum einen den Überblick über die Methodenvielfalt gewähren und zum anderen die Möglichkeit geben, auf die methodische Lücke zu fokussieren, die in den folgenden Kapiteln zur Diskussion steht.

3.3 Quality Function Deployment (QFD)

Das Quality Function Deployment wurde in den 60er Jahren in Japan von Akao (Akao 1990) entwickelt und hat sich in der Mitte der 80er in Amerika und Europa verbreitet. Das QFD bewirkt eine systematische Umsetzung von Kundenanforderung, sowie eigener Produktziele in Produktmerkmale und quantifizierbare Forderungen an die einzelnen Bereiche des Unternehmens, wie die Produkt- bzw. die Prozessentwicklung, sowie die Beschaffung und die Produktion (Gentsch 1999).

Das QFD basiert auf vier sequentiell angeordneten *Houses of Quality*. Der Kern jedes *House of Quality* ist eine Matrix, welche jeweils zwei für die Produktentwicklung bedeutende Produktsichten einander gegenüberstellt (vgl. Bild 10):

- Ausgehend von den Kundenbedürfnissen und den strategischen Produktplanungszielen findet im ersten *House of Quality* die Umsetzung der Kundenanforderungen in charakterisierende Entwicklungsmerkmale statt.
- Im zweiten *House of Quality* werden die Entwicklungsmerkmale in Teile- oder Baugruppeneigenschaften umgesetzt. Dabei werden die neu zu entwickelnden Komponenten und deren Eigenschaften dargestellt.
- Im dritten *House of Quality* werden die Teile- und Baugruppeneigenschaften in die Prozesseigenschaften der Fertigung überführt.

- Abschliessend werden im vierten *House of Quality* die kritischen Prozessmerkmale mit der Produktionstechnologie in Verbindung gebracht, um die Absicherung der Produktionsprozesse und deren Qualität zu gewährleisten.

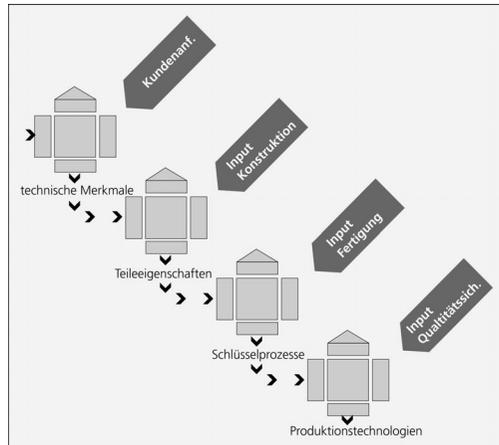


Bild 10: Die vier Phasen des QFD (in Anlehnung an (Gentsch 1999))

3.3.1 Erstes „House of Quality“

Die Vorstellung des ersten *House of Quality* erfolgt auch stellvertretend für die anderen *Houses of Quality* und soll einen Einblick in die Struktur der Methode gewähren. Das erste *House of Quality* dient auch oft als Ausgangspunkt für weitere Methoden, die später im Kapitel 3 vorgestellt werden.

Im ersten *House of Quality* wird ein Ausgangsplan bezüglich der Art und Weise entwickelt, wie das Unternehmen den Kundenwünschen, basierend auf dem aktuellen Leistungsniveau und verglichen mit den Konkurrenten, gerecht werden kann (King 1994). Die Kundenwünsche werden über eine Korrelationsmatrix mit den auszeichnenden Qualitätsmerkmalen in Verbindung gebracht (Bild 11, mitte). So könnte zum Beispiel der Kundenwunsch *schnell* in Bezug auf einen Tintenstrahldrucker mit *Anzahl Seiten pro Minute* übersetzt werden. Die Art der Korrelationen wird exponentiell gewichtet, um die unterschiedliche Wichtigkeit der Zusammenhänge darzustellen. Dabei sind vier Werte zugelassen: (9) stark, (3) mittel, (1) schwach und (0) keine Korrelation.

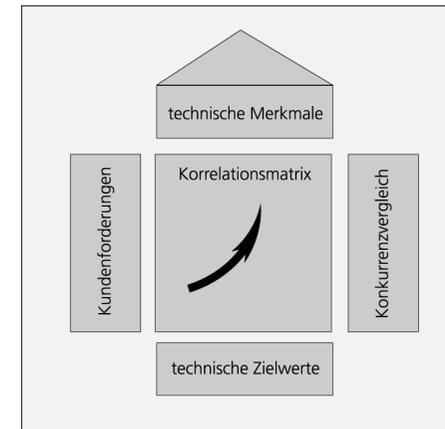


Bild 11: Das erste „House of Quality“

Unterhalb der Korrelationsmatrix befindet sich eine zu den technischen Merkmalen parallele Auflistung mit den jeweiligen technischen Zielwerten (siehe Bild 11, unten). Die Zielwerte stellen quantifizierte Anforderungen wie beispielsweise Zielforderungen oder Bereichsforderungen dar.

Das Dach der Matrix beschreibt die Wirkungsbeziehungen zwischen den technischen Merkmalen. Diese Matrix wird mit qualitativen Werten ausgefüllt, z.B. stark positive, negative oder keine gegenseitigen Wirkungsbeziehungen (Bild 11, oben).

Auf der rechten Seite der Matrix wird ein Vergleich mit Konkurrenzprodukten dargestellt, um den Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen dieser Letzten aufzuzeigen (Bild 11, rechts).

3.3.2 Diskussion

Der bezeichnende Vorteil der Methodik liegt in der systematischen Erfassung der Produkt- und Prozessanforderungen, die von unternehmensexternen (z.B. Kunden und Lieferanten) und -internen (z.B. Produktion, Qualitätssicherung usw.) Interessengruppen bestimmt werden. Die Entwicklungsteams profitieren von einer Methode, die ihre Aktivitäten unterstützt (Ishii 1995), vor allem im Bereich der Problemlösung und der Dokumentation (Malmqvist und Svensonn 1999). Gleichzeitig lässt die Methode den nötigen Freiraum für den Entwurf. Die für die Konstruktion nötige Kreativität und fachliche Kompetenz werden von der Methode nicht eingeengt

(Gentsch 1999). Die Lösungsfindung wird allerdings nicht unterstützt, da keine Techniken zum Konzipieren und Entwerfen von Lösungen angeboten werden (Hoffmann 1997).

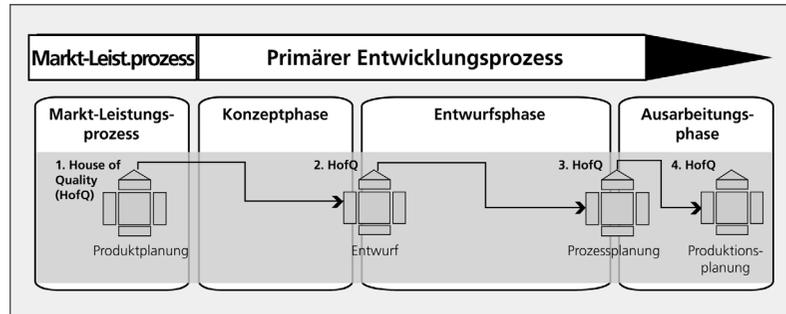


Bild 12: Der Ablauf des QFD auf der Achse des primären Entwicklungsprozesses

Das QFD sieht keine Techniken zur kundengerechten Erzeugung von Varianten vor. Obwohl die Methode auch im Bereich der Mass Customization angewendet wird, ist sie im Kontext der systematischen Kundenanpassung nicht verifiziert worden (Pulkkinnen 2000).

Der Fokus der Methodik liegt im systematischen Erfassen und Darstellen von Markt- und Entwicklungswissen im primären Entwicklungsprozess (vgl. Bild 12), um das häufig auftretende Overengineering zu vermeiden.

Das QFD erfordert einen grossen anfänglichen Aufwand, bis die nötige strukturelle und zeitliche Organisation steht. Alle Beteiligten müssen die dahinterstehende Idee aufnehmen und diese in die Praxis umsetzen können.

3.4 Variant Method and Effects Analysis (VMEA)

Die Variant Method and Effects Analysis hat ihren Ursprung in den Arbeiten von (Schuh 1989) und insbesondere von (Caesar 1991), die auf den Bereich der variantenorientierten Produktgestaltung und Bewertung ausgerichtet sind. Hierzu werden Verfahren zur quantitativen Analyse des Variantenspektrums und zur verursachungsgerechten Kostenbewertung von Varianten diskutiert.

Die VMEA soll die Früherkennung und Beseitigung von unnötigen Varianten im primären und sekundären Entwicklungsprozess ermöglichen. Hierbei handelt es sich

um eine systematische Vorgehensweise, welche die Variantenvielfalt unter dem Blickwinkel der technischen Realisation, der Kosten und der organisatorischen Gestaltung beleuchtet (Schuh und Tanner 1998).

3.4.1 Vorgehensweise

Im ersten Schritt wird in Zusammenarbeit mit dem Marketing und dem Verkauf die Breite des Produktspektrums festgelegt: Die geforderten Funktionen und deren Kosten werden eruiert. Mit Hilfe des Target Costings können die Zielkosten und die entsprechenden Margen ermittelt werden.

Diese Kostengrößen dienen als Eingangsgrößen für die eigentliche VMEA. Dabei werden zu Beginn des (primären und sekundären) Entwicklungsprozesses alle produktrelevanten, variantenverursachenden Merkmale, deren Ausprägungen sowie die Kombinierbarkeits-Einschränkungen bestimmt. Zur graphischen Unterstützung dieser Information werden die möglichen Kombinationen mittels des sogenannten *Merkmalsbaums* dargestellt (vgl. Anhang B). Mit dem Merkmalsbaum wird die Kundenrelevanz jeder Ausprägung mit dem internen Aufwand in Verbindung gesetzt. Das Ziel hierbei ist, die Anzahl an möglichen Varianten zu reduzieren und zwar durch die Eliminierung von unnötigen Ausprägungen.

Während der Ausarbeitungsphase im primären Entwicklungsprozess wird zusätzlich die Montagereihenfolge in Abstimmung mit der Produktion festgelegt und der Variantenbaum mit Planungssimulationen optimiert (siehe Bild 13 und Anhang B). Auf Teileebene findet die Optimierung in der Anwendung der Integral- oder der Differenzialbauweise (vgl. (Franke, Hesselbach et al. 2002)), sowie in der Integration von Optionalteilen in Standardteile oder in Variantenteile statt. Eine oft verfolgte Strategie in diesem Zusammenhang ist diejenige der Paketbildung (siehe (Schuh und Schwenk 2001)).

Mit der Durchführung der Planspiele soll ein möglichst schmaler Variantenbaum erzielt werden, der erst am Schluss in die Breite geht; d.h. die Variantenvielfalt fließt erst am Schluss des Montageprozesses ein. Zur Bewertung der ermittelten Szenarien wird die *ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung* herangezogen. Diese Art der Kostenrechnung ermöglicht es, den variantenabhängigen Wertverzehr aller Unternehmensressourcen verursachergerecht zu berücksichtigen (Schuh und Schwenk 2001).

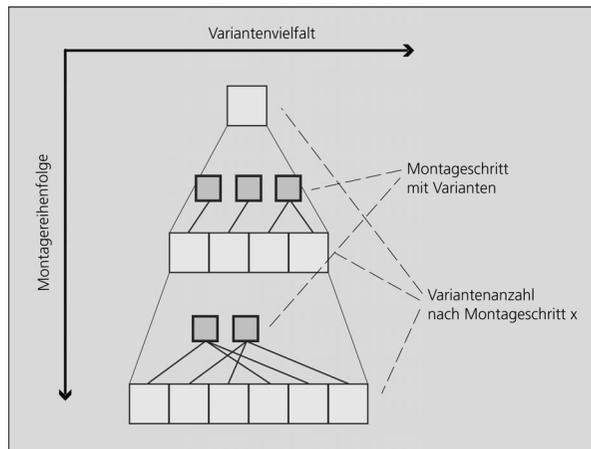


Bild 13: Der Variantenbaum als Strukturierungsunterstützung auf der Basis der Montagereihenfolge [in Anlehnung an: (Schuh und Schwenk 2001)]

3.4.2 Diskussion

In (Schuh und Schwenk 2001) wird der hauptsächliche Nutzen der VMEA in der systematischen Aufbereitung der Varianteninformationen und der graphischen Darstellung der Variantenentwicklung beschrieben. Dadurch wird eine gemeinsame Basis für die Kommunikation zwischen den beteiligten Bereichen geschaffen (Marketing, Produktion, AVOR, Controlling).

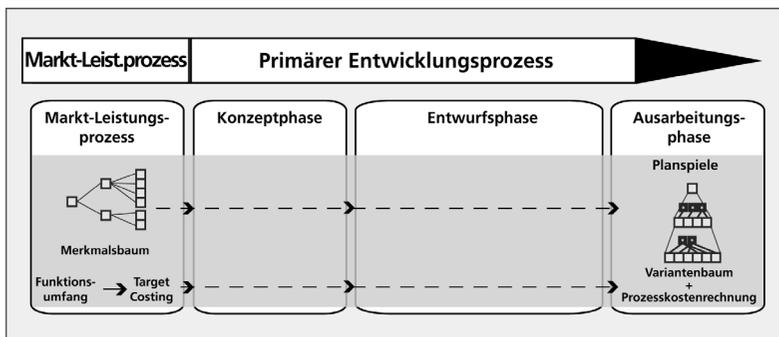


Bild 14: Die VMEA im primären Entwicklungsprozess

Insbesondere in den frühen Phasen der Produktentwicklung kann mittels der Merkmalsbäume die zukünftige Variantenvielfalt der einzelnen Funktionen dargestellt werden (siehe Bild 14).

Die Kozeption der Produktfamilie wird durch die VMEA nicht unterstützt. Erst in der Detaillierungsphase, wenn die Produktarchitektur definiert ist, erlauben die Planspiele, mittels graphischer Darstellung der Baugruppenvielfalt entlang des Montageprozesses, eine heuristische Optimierung der Montagestruktur (siehe Bild 14).

Die VMEA eignet sich insbesondere für spezifische Selektionsprobleme (vgl. Kapitel 5.3.2 "Selektion versus Konfiguration") innerhalb eines Systems, wo die Variantenzahl, aufgrund von spezifischen Kundenwünschen und Kostenüberlegungen, oft ein Problem darstellt.

3.5 Modular Function Deployment (MFD)

Das *Modular Function Deployment* (MFD) ist Ende der 90er Jahre in Schweden entstanden. (Erixon 1998) bezeichnet das MFD als eine systematische Vorgehensweise für die Gestaltung von modularen Produktfamilien. Das MFD baut auf fünf Teilschritten auf (siehe auch Bild 15, Punkt 1-5):

- **Bestimmung der Kundenkriterien**

Zu Beginn des MFD werden die Kundenanforderungen sowie die wichtigsten technischen Kriterien mittels QFD eruiert. Dabei wird der Modularisierung ein besonderer Stellenwert beigemessen. Im herkömmlichen ersten *House of Quality* (vgl. Bild 11 und Anhang B) wird eine zusätzliche Spalte eingefügt, welche den Zusammenhang zwischen den einzelnen Kundenwünschen und der Modularisierung darstellen soll (vgl. Bild 15, Punkt 1). Dies soll auch als Anstoss für neue Lösungsmöglichkeiten (Erixon 1998) dienen.

- **Auswahl technischer Lösungen**

Die Auswahl technischer Lösungen erfolgt durch die Betrachtung des zu entwickelnden Produktes unter dem funktionalen Gesichtspunkt. Das Ziel dabei ist die Identifizierung und Strukturierung der Funktionen, die als Grundlage für die Festlegung der technischen Lösungen dienen. Die *Design Matrix* nach (Suh 1990) kann dieses Vorhaben in komplexeren Fällen unterstützen (vgl. Bild 15, Punkt 2).

Am Schluss dieses Teilschrittes liegen die technischen Prinziplösungen des zukünftigen Produktes vor.

• **Konzeptgenerierung**

Die Definition von Produktarchitekturvarianten erfolgt mit der Unterstützung der sogenannten *Module Indication Matrix* (MIM). In dieser Matrix erfolgt eine Gegenüberstellung der sogenannten *Module Drivers* und mit den technischen Lösungen. Unter *Module Drivers* werden interne und externe Einflussfaktoren verstanden, welche die Modulgestaltung und die Variantenvielfalt beeinflussen (Östgren 1994), (Erixon 1996a) (siehe linke Spalte in Tabelle 2).

Tabelle 2: Abstrahiertes Beispiel einer Module Indication Matrix (MIM)

Einflussfaktoren		techn. Lösung 1	techn. Lösung 2	techn. Lösung 3	techn. Lösung 4
Produktentwicklung	Standardteile, technologische Evolution geplante Änderungen in der Konstruktion	9	1		
Variabilität	Variabilitätsverteilung in der Produktstruktur Produktgestaltung	3		1	9
Produktion	Standard-, Normteile Wiederverwendung von Prozessen/Organisation	1	3 3		
Qualität	Funktionsprüfung			3	9
Einkauf	Komponenten	1		1	
Service	Wartung Upgrading, Aktualisierung der Systeme Recycling	1 9	3 1		9 3
Firmenspezifisch	Strategie Finanzielle Lage Normen und Gesetze	3	1 3	1 1	1 3
Summe		27	15	9	35

In den Feldern der *Module Indication Matrix* (MIM) werden die Korrelationswerte zwischen den *Module Drivers* und den technischen Lösungen eingetragen. Der zulässige Wertebereich (9,3,1,0) ist ähnlich wie im QFD (vgl. Anhang B).

Die vertikalen Summen aller Wertungen der technischen Lösungen dienen als Grundlage zur Modulbildung. Eine hohe Wertigkeit weist auf ein kompliziertes Anforderungsmuster hin, was zur Bildung eines Moduls führen soll. Eine niedrige Wertigkeit bedeutet hingegen eine einfache Integration der technischen Lösungen in andere Module. Technischen Lösungen, die mit denselben *Module Drivers* korreliert

sind, müssen auf eine mögliche Integration ins gleiche Modul untersucht werden (Erixon 1996b).

In (Nilsson und Erixon 1998) wird das MFD mit der sogenannten *Connection Matrix* erweitert, die eine Brücke zwischen dem ersten *House of Quality* im QFD und der *Module Indication Matrix* (MIM) schlägt. Die *Connection Matrix* erlaubt einen ununterbrochenen Informationsfluss von den Kundenwünschen im QFD, zu vorgeschlagenen Modulen in der MIM.

• **Konzeptbewertung**

Die Konzeptbewertung erfolgt mit Berücksichtigung von Kosten- und Montageaspekte sowie der Schnittstellen zwischen den Modulen und führt zur Auswahl einer auf der Basis der MIM erstellen Variante.

• **Moduloptimierung**

Die Optimierung der Produktarchitektur findet nach der Bestimmung der prinzipiellen Modulstruktur während der Ausarbeitungsphase statt. Methoden des Design for X (DfX) werden beispielsweise herangezogen, um das Produkt aus dem Blickpunkt der Fertigung (Design for Manufacturing, DfM) oder der Montage (Design for Assembly, DfA) punktuell zu verbessern.

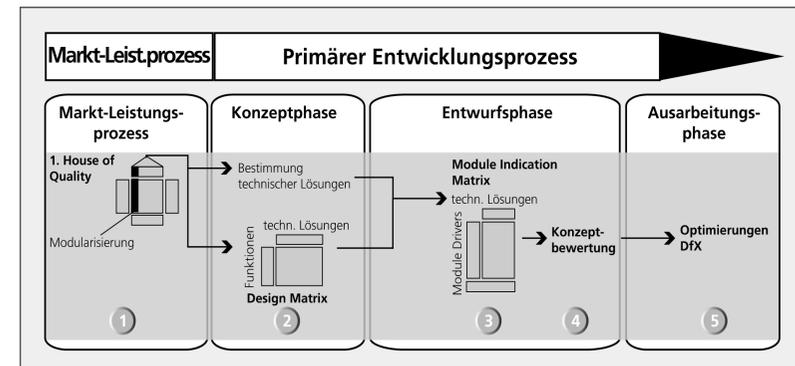


Bild 15: Der Ablauf des MFD mit den 5 charakterisierenden Schritten

3.5.1 Diskussion

Das MFD ist ein Ansatz, der die Gestaltung einer modularen Produktarchitektur verfolgt. Diese Architektur wird aus Auswertung der Anforderungen ermittelt, die im

Zusammenhang mit den Unternehmenserwartungen an das neue Produkt, sowie mit externen Einflussfaktoren entstehen (Erixon 1998).

Die *Module Indication Matrix*, welche das auszeichnende Element der gesamten Methodik ist, dient als Entscheidungsgrundlage für die Gestaltung der Produktarchitektur in der Entwurfsphase des primären Entwicklungsprozesses.

Die Einflussfaktoren (*Module Drivers*) berücksichtigen nur Einflüsse aus der Systemumwelt des zu entwickelnden Produktes. In der Auswertung werden folglich keine Einflussfaktoren miteinbezogen, die die funktionalen Korrelationen beschreiben.

3.6 Design for Variety (DfV)

Die Methode *Design for Variety* wurde an der Stanford University (USA) entwickelt mit dem Ziel, den Entwurf der Produktarchitektur so zu unterstützen, dass zukünftige Varianten nur zu marginalen Änderungen in der Produktarchitektur führen sollen. Dadurch soll ein Beitrag zur Minimierung der Variantenkosten über den gesamten Lebenszyklus geleistet werden.

Beim *Design for Variety* handelt es sich nicht um eine isolierte Methode, sondern um eine Serie von Vorgehensweisen. Neben der in diesem Abschnitt gezeigten Methode werden in (Martin und Ishii 1996) und (Martin und Ishii 1997) weitere, spezifische Aspekte der Gesamtmethodik vorgestellt, die an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

3.6.1 Schwerpunkte der Methode

(Martin und Ishii 2000) unterscheidet prinzipiell zwei Arten von Variabilität:

- eine zeitliche, die über die Produktgenerationen entsteht und
- eine räumliche, die in den verschiedenen Marktsegmenten vorkommt.

Die Auswertung einer Produktarchitektur basiert im DfV auf zwei den Varietätsarten entsprechenden Indizes (Martin 2000):

- Der sogenannte *Generational Variety Index* (GVI) ist ein Messwert, um den Aufwand für Komponentenanpassung an zukünftige Kundenanforderungen (z.B. ändernde Leistungsmerkmale, Kostensenkungen) abzuschätzen.
- Der sogenannte *Coupling Index* (CI) liefert einen Korrelationswert einer Komponente mit den restlichen Produktkomponenten. Je grösser dieser Wert ist, desto enger sind die Komponenten miteinander gekoppelt und desto grösser ist die Anpassung der anderen Komponenten, wenn die Erste verändert wird.

• Die Ermittlung des Generational Variety Index (GVI)

Die Ermittlung des GVI kann beispielsweise mit dem QFD (siehe Kap. 3.3) erfolgen. Dabei wird das erste *House of Quality* mit zusätzlichen Spalten und Zeilen versehen (Bild 16, Punkt 1 und Anhang B):

- eine Spalte auf der rechten Seite der Matrix, zur qualitativen Schätzung (high/medium/low) der Veränderungen von Kundenwünschen (siehe Bild 16, Punkt b).
- eine Zeile unterhalb der Matrix, mit der Aufführung möglicher Variantenausprägungen, dargestellt in Form von Sachmerkmal-Leisten (vgl. Kapitel 5.2.2.1 "Sachmerkmal-Leisten und Merkmale"; siehe Bild 16, Punkt a).

In den Matrixfeldern des zweiten *House of Quality* werden die zukünftigen Anpassungskosten einer Funktionsänderung in Form einer Wertigkeitsverteilung geschätzt. Dabei sind folgende Werte zugelassen: 9/6/3/1; wobei 9 einen höheren und 1 einen kleineren Re-design-Aufwand entspricht. Die Werte in der Matrix werden vertikal addiert und ergeben für jede Komponente einen bestimmten GVI (Martin und Ishii 2000) (vgl. Bild 16, Punkt c und Anhang B).

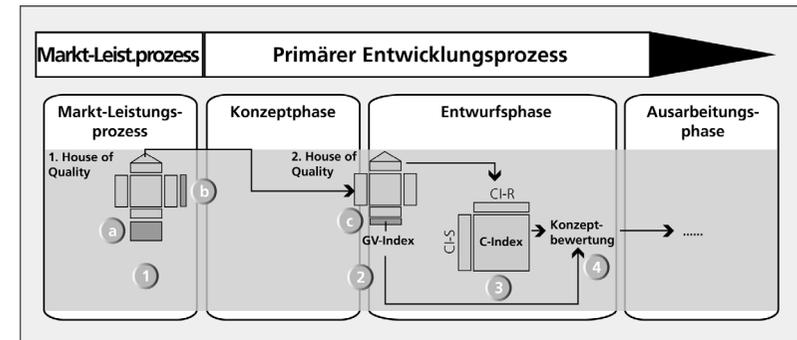


Bild 16: Der Ablauf der DfV entlang dem primären Entwicklungsprozess

• Die Ermittlung des Coupling Index (CI)

Der *Coupling Index* ist das Resultat einer technischen Analyse der Abhängigkeiten zwischen den Modulen. Falls das QFD zur Anwendung kommt, werden die Module aus der Komponentenauflistung in der horizontalen Achse des zweiten *House of Quality* übernommen.

Die Module werden in einer symmetrischen Matrix eingetragen. Die vertikalen Ele-

mente stellen die Module dar, welche Anforderungen *bekommen*. Die horizontalen sind diejenigen, welche Spezifikationen *abgeben* (siehe auch Tabelle 3). Die Spezifikationen werden nach dem gleichen Wertigkeitssystem des GVI bewertet.

Tabelle 3: Auszug einer Matrix mit den Coupling Index CI-S und CI-R

	Komponente A	Sensitivität	Komponente B	Sensitivität	CI-R
Komponente A			Anforderung 3	3	3
Komponente B	Anforderung 1 Anforderung 2	1 6			7
CI-S		7		3	

Die Wertigkeiten werden horizontal und vertikal addiert und ergeben für jede Komponente einen Coupling Index für die abgebenden und bekommenden Spezifikationen, die CI-R (*receiving*) bzw. CI-S (*supplying*) genannt werden (vgl. Bild 16, Punkt 3 und Anhang B).

• **Auswertung der Indizes**

Zuerst werden diejenigen Komponenten untersucht, die hohe Entwicklungskosten verursachen und gleichzeitig einen hohen GVI (sensitiv auf Marktänderungen) besitzen. In einem zweiten Schritt werden Komponenten analysiert, die einen hohen CI-S Wert aufweisen. Dadurch können Module optimiert werden, welche eine starke Korrelation zu den angrenzenden Komponenten besitzen.

Beide Ansätze zielen auf eine Standardisierung der Komponenten. Das bedeutet, dass die Werte GVI und CI-S gleich null werden sollen. Kann keine Standardisierung vorgenommen werden, d.h. mehrere Varianten einer Komponente müssen in einem Gesamtsystem (Produkt) vorhanden sein, wird eine Modularisierung vorgenommen. Die Modularisierung ermöglicht den Austausch von Variantenausprägungen, ohne Änderungen in den angrenzenden Systemen zu verursachen.

3.6.2 Diskussion

Die Auswertung der Indizes ermöglicht die Wichtigkeits- sowie die Kostenevaluation der Produktvariabilität. Mit dem CI-Index wird eine Bewertung der Korrelationen

durchgeführt, welche in der Primärentwicklung zu einer Optimierung der Modularisierung bzw. der Funktionseinteilung führt. In der Sekundärentwicklung kann der CI-Index als Grundlage für die Entscheidung dienen, ob die bestehende Produktfamilie an die neuen Anforderungen angepasst oder neu entwickelt werden soll.

3.7 Modular Product Architecture

Die *Modular Product Architecture* ist das Dach einer Serie von Untersuchungen am Massachusetts Institute of Technology (MIT). Verschiedene Veröffentlichungen beleuchten unterschiedliche Aspekte der Modularisierung einer Produktfamilie. Obwohl aufgrund der Rahmenbedingungen, verschiedene Vorgehensweisen (Otto und Wood 2001) vorgestellt werden, lassen sich hauptsächlich drei gemeinsame Hauptschritte erkennen (Otto 2001):

• **Bestimmung der Variabilität der Produktfamilie**

Der erste Schritt bei der Gestaltung einer Produktfamilie erfolgt mit einer Untersuchung des Marktes und der Kundenwünsche. Dabei soll für (Zamirowski 1999) und (Yu, Gonzales-Zugasti et al. 1998) sowohl die Nachfragevariabilität des Markts als auch die Gebrauchsvarietät des Produktes eines jeden Kunden untersucht werden. In der Gebrauchsvarietät sind auch mögliche Erweiterungen des Funktionsspektrums des Produktes miteinbezogen, die zum Zeitpunkt der Evaluation im Angebot noch nicht berücksichtigt werden. Daraus kann eine Tabelle erstellt werden, die die Vielfalt der Ausprägungen pro Merkmal (siehe Anhang B) darstellt und in Beziehung zu den Marktsegmenten bringt (vgl. auch Bild 18, Punkt 1).

Um die kostenoptimierte Leistungsdichte eines Merkmals (Anzahl Ausprägungen pro Merkmal) bestimmen zu können, schlägt (Otto 2000) eine Methodik zur Bestimmung der optimalen Anzahl Abstufungen vor. In dieser Phase können auch weitere Methoden angewendet werden, wie beispielsweise die Conjoint Analyse (Backhaus 2000) oder das QFD.

• **Modularisierung der Produktfamilie**

Die verschiedenen Ausprägungen der Produktfamilie werden in Subsysteme unterteilt, sodass die jeweilige Funktionsstruktur nach (Pahl und Beitz 1997) mit den Stoff-Energie- und Informationsflüssen erstellt werden kann. Anschliessend können die verschiedenen Funktionsstrukturen auf Ähnlichkeit und Redundanz geprüft werden, wodurch sich eine für die Produktfamilie generische Funktionsstruktur erstellen lässt (vgl. (Zamirowski 1999), Bild 17 und Anhang B). Nun können die einzelnen Funktio-

nen der produktübergreifenden Funktionsstruktur nach heuristischen Regeln zu Modulen gruppiert werden (vgl. (Stone, Wood et al. 1998)).

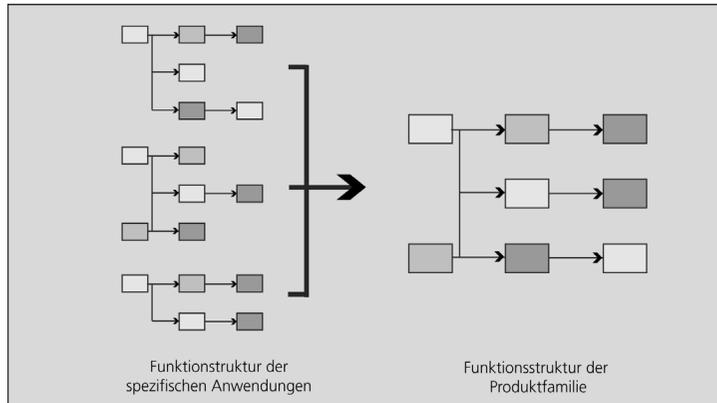


Bild 17: Schematische Darstellung der Einbettung von verschiedenen Anwendungsstrukturen zu einer übergreifenden Familienfunktionsstruktur

Die Funktionsstruktur gewährt leider keine grosse Übersicht und zeigt die möglichen Ausprägungen der Funktionen nicht. Um diesen Umstand zu umgehen, wurde die sogenannte *Modularity Matrix* entwickelt: in der Titelspalte sind die einzelnen Funktionen und in der Titelzeile die möglichen Produkte aufgelistet. In den Zellen der Matrix werden die Ausprägungen (Funktionsträger) der entsprechenden Produktfunktionen eingefügt, die im nötigen Spezifizierungsgrad beschrieben werden (Dahmus, Gonzales-Zugasti et al. 2000) (vgl. Tabelle 4 und Anhang B).

Tabelle 4: Abstrahiertes Beispiel einer Modularity Matrix (MM)

	Produkt A	Produkt B	Produkt C	Produkt D	Produkt D
Funktion 1	Auspr.1.1	Auspr.1.2	Auspr.1.2	Auspr.1.1	Auspr.1.3
Funktion 2	Auspr.2.1	-	Auspr.2.1	Auspr.2.2	-
Funktion 3	Auspr.3.1	Auspr.3.2	Auspr.3.3	Auspr.3.4	Auspr.3.5
Funktion 4	Auspr.4.1	Auspr.4.2	Auspr.4.2	Auspr.4.3	-
Funktion 5	Auspr.5.1	Auspr.5.1	Auspr.5.2	Auspr.5.2	Auspr.5.3

Die Modularisierung basiert auf der Untersuchung folgender Elemente der *Modu-*

larity Matrix:

- Funktionen, die über die ganzen Produkte nur eine Ausprägung aufweisen und somit standardisiert werden können
- Elimination überflüssiger Ausprägungen der Module in den Matrixfeldern, um die innere Variantenvielfalt in Grenzen zu halten (vgl. Bild 18, Punkt 3).

Aus diesen Überlegungen entstehen eine Reihe von Modularisierungsvarianten verschiedener Produktarchitekturen.

• **Bewertung der Architekturvarianten**

Die Bewertungskriterien für die Produktarchitekturvarianten werden aus firmeninternen und -externen Faktoren eruiert und betreffen die Herstellbarkeit, die Kosten, die Komplexität, die Marktvarietät, die technologischen Änderungen usw.

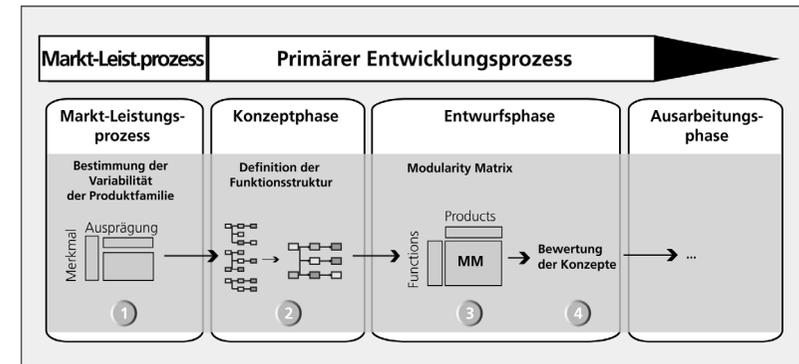


Bild 18: Ablauf der Methodik im primären Entwicklungsprozess

3.7.1 Diskussion

Die Methode versucht ein Dreieck aufzuspannen, zwischen der geforderten Marktvariabilität, der Funktionsstrukturierung und der Produktarchitektur. Dabei hilft die *Modularity Matrix* dem Entwicklungsteam die Optimierungsansprüche der Produktfamilie sowie des einzelnen Produktes zu erkennen und zu gestalten.

Neben den Marktbedürfnissen und den funktionalen Anforderungen spielen bei der Gestaltung der Produktarchitektur weitere unternehmensinterne und -externe Faktoren eine Rolle. Solche Kriterien fließen im Gegensatz zu anderen Methoden erst in der Bewertungsphase ein.

3.8 Zusammenfassung

Die vorgestellten Ansätze behandeln die Problematik der Standardisierung und Modularisierung und fokussieren jeweils auf bestimmte Aspekte der Produktdefinition. Das Erkennen und Entwickeln von Wiederholteilen und kundenspezifischen Bauteilen stellt eine der wichtigsten Aufgaben bei der Gestaltung variantenreicher Produkte dar, die auch bei der Produktkonfiguration im Verkaufsprozess eine zentrale Rolle spielen.

Das zentrale Element bei der Gestaltung der Konfiguration ist ein sogenanntes Konfigurationsmodell. Dieses enthält die Beschreibung der Komponenten sowie deren Gesetzmässigkeiten und Beziehungen, die als Voraussetzungen für die Zusammenstellung eines Produktes während einer Produktkonfiguration gelten. Naheliegender ist, dass eine modulare Produktarchitektur einen wichtigen Beitrag zur Gestaltung eines einfachen Konfigurationsmodelles leistet.

Ob die in diesem Kapitel vorgestellten Methoden auch eine Optimierung bezüglich der Konfigurierbarkeit darstellen, ist nicht gewährleistet. Viele dieser Methoden bauen auf den klassischen Schritten des Konstruktionsprozesses auf: von der Funktionsstruktur zur Komponentenarchitektur und später zur Ausarbeitung der Komponenten. Wie die Zusammenhänge zwischen den Komponenten und den Produkten sind, wird in keiner der Methoden explizit erklärt. Da liegt die Vermutung nahe, dass durch die Vernachlässigung der konfigurationsrelevanten Zusammenhänge meistens suboptimale Lösungen erzielt werden. Darüber hinaus muss hinzugefügt werden, dass die Erstellung eines Konfigurationsmodelles eine Abstraktion der Produktarchitektur erfordert, die nicht der alltäglichen Sichtweise eines Entwicklers entspricht. Das Konfigurationsmodell beschreibt, neben den Komponenten einer Produktfamilie auch die Beziehungen zwischen den Komponenten und dient als Ausgangslage für alle Aktivitäten in der Konfiguration.

Aus dieser Problemstellung heraus sind in den letzten Jahren diverse Beiträge zur Gestaltung von konfigurationsgerechten Produkten entstanden. Einige dieser Beiträgen thematisieren das sogenannte *Design for Configuration*, das im nächsten Kapitel zur Diskussion steht.

Kapitel 4

Design for Configuration

In diesem Kapitel wird zu Beginn der Begriff der Konfiguration umrissen. Dadurch sollen die Bedeutung und der Inhalt des Konzeptes Konfiguration dargestellt werden.

Der mittlere Teil des Kapitels ist verschiedenen Aspekten der Konfiguration aus dem Blickwinkel des Entwicklungsprozesses gewidmet. Abschliessend wird auf die Mängel der im vorigen Kapitel vorgestellten Methoden bezüglich der Konfiguration hingewiesen.

Design for Configuration (DfC) ist eines der jüngeren Mitglieder der DfX-Familie. Erst in den letzten Jahren hat die Untersuchung von konfigurationsrelevanten Themen in der Produktentwicklung an Bedeutung gewonnen. Diese Tatsache steht in enger Verbindung mit der Zunahme der Aktualität von Variantenprodukten (vgl. Kap. 2.1 "Variantenvielfalt in Unternehmen") und dem Auftreten der *Mass Customization*.

Die klassischen DfX Methoden genügen nicht den Anforderungen der Konfiguration, genau so wenig wie der alleinige Einsatz von Konfiguratoren im Verkaufsprozess. Erst eine konfigurationsgerechte Strukturierung der Variantenprodukte, unter Berücksichtigung der Kundenanforderungen und insbesondere der internen Anforderungen an die Komplexität, führen zu ausgewogenen Lösungen; sowohl für die

Benutzer (Verkaufsabteilung und Engineering), als auch für die Wissensverwalter (die Administratoren der Konfiguratoren).

Im Design for Configuration werden die Aspekte der Aufbereitung, der Pflege und der Nutzung des Konfigurationswissens behandelt. Ziel dabei ist, das nötige Konfigurationswissen durch eine gezielte Produktstrukturierung zu minimieren, um den Ablauf des Konfigurationsprozesses nicht an den Kombinationsregeln des Produktes scheitern zu lassen: zum einen wegen der Wissenskomplexität (z.B. Verträglichkeiten) und zum anderen wegen der Wissensmenge (z.B. Ausnahmen und fehlende Strukturierung).

4.1 Produktkonfiguration

Die in der Literatur oft zitierte Definition für die Produktkonfiguration ist in (Mittal und Fraymann 1989) auf Seite 1396 beschrieben:

Given: (A) a fixed, pre defined set of components, where a component is described by a set of properties, ports for connecting it to other components, constraints at each port that describe the components that can be connected at that port, and other structural constraints; (B) some description of the desired configuration; and (C) possibly some criteria for making optimal selections.

Build: One or more configurations that satisfy all the requirements, where a configuration is a set of components and a description of the connections between the components in the set, or detect inconsistencies in the requirements.

Diese Definition deckt sich mit denjenigen von (Wielinga und Schreiber 1996), (Faltings und Weigel 1994), (Sabin und Weigel 1998) und (Tiihonen, Soininen et al. 1996). Die Definition von (Brown 1998) umschreibt die Konfiguration als eine Aktivität, die aus drei Aufgaben besteht: selektieren, assoziieren und evaluieren. Die Umsetzung dieses Gedankens für die Produktkonfiguration kann wie folgt beschrieben werden:

- die Selektion von einzelnen Komponenten,
- die Definition der abstrakten und spezifischen Schnittstellen zwischen den Komponenten und das Testen von Abhängigkeiten und
- die Übereinstimmung zwischen den Kundenwünschen und der erzeugten Konfiguration.

Unabhängig davon, aus welchem Blickwinkel die Definition der Konfiguration

beleuchtet wird, erwähnen alle Definitionen das Vorhandensein von beschreibenden, charakterisierenden Eigenschaften der Komponenten, Module oder Bausteine des Produktes. Zudem kommt überall die Bestimmung der Schnittstellen zwischen den einzelnen Bausteinen, das Wissen über die Kombinierbarkeit der einzelnen Komponenten sowie ein Vergleich des Konfigurationsresultates mit den Erwartungen des Kunden (Anforderungen) vor.

Mit Ausnahme der Verifikation werden alle Elemente aus den Definitionen während der Produktentwicklung konzipiert und ausgearbeitet. Für die Konfiguration im Verkaufsprozess wird dieses Wissen entweder in rechenunterstützten Systemen abgebildet oder, wie es so oft der Fall ist, wird auf die Erfahrung der Vertriebs- und Engineering-Mitarbeiter zurückgegriffen.

4.1.1 Zwei Konfigurationsphasen in der Auftragsabwicklung

Die meisten Konfigurationssysteme unterteilen die Konfigurationsaufgabe in zwei Phasen: eine erste Phase (*high-level configuration* oder *sales configuration*) führt zu einer abstrakten Konfiguration und eine zweite Phase (*low-level configuration* oder *engineering configuration*) ermöglicht eine detaillierte und vollständige Konfiguration des Produktes (Soininen 1996), (Tiihonen und Soininen 1997), (Haag 1998) und (Günter und Kühn 1999).

• high-level configuration

Die erste Phase findet in direktem Kontakt mit dem Kunden statt und beschreibt die (Konfigurations-) Aufgabe, die vielfach von einem Produktkonfigurator unterstützt wird. Dabei gilt es, eine funktional vollständige und technisch konsistente Lösung zu generieren, welche die Kundenanforderungen am besten befriedigt (Schierholt und Schönsleben 2001). (Sabin und Weigel 1998) auf Seite 46 beschreibt diese Konfigurationsaufgabe wie folgt :

Because the mapping between the functional roles and the set of components available is typically many-to-many, the configuration task is dynamic in nature.

Die *high-level configuration* enthält im wesentlichen die Aufgaben, die auch in der Definition der Konfiguration aufgeführt sind.

• low-level configuration

Die zweite Phase ist prozessorientiert: D.h. ausgehend von den Daten der ersten Phase soll das konfigurierte Produkt hergestellt werden. Die Variantenstückliste kann nun aufgrund der Daten aus der ersten Konfigurationsphase aufgelöst werden, so

dass ein Auftrag intern ausgelöst werden kann. Es gilt, den Detaillierungsgrad der Konfiguration so zu wählen, dass alle für den Herstellungsprozess nötigen Unterlagen erzeugt werden können.

Eine vollständige und konsistente Übertragung der Daten der ersten in die zweite Phase ist zu gewährleisten.

Die Unterstützung der ersten Phase der Konfiguration mit informationstechnischen Systemen ergibt gegenüber der manuellen Verwaltung des Wissens mehrere Vorteile, die in (Büttner 1997), (Lethonen, Tiihonen et al. 2000), (Pulkkinen 2000) und (Tiihonen, Soininen et al. 1996) vorgestellt worden sind.

Vor dem Einsatz eines Konfigurationssystems ist jedoch eine klare Strukturierung der Produkte im Sinne des Digitalen Produktes notwendig, mit einer klaren Identifizierbarkeit aller Produktkomponenten über Merkmale und Ausprägungen (siehe Kap. 2.3.1 "Produkte" und vgl. (Wüpping 2001a)). Eine schrittweise Einführung eines Konfigurationssystems mit Berücksichtigung der Strukturierungsaspekte ist auch in (Wüpping 2001b) vorgestellt.

Neben solchen Massnahmen sollten konfigurationsrelevante Aspekte schon während des primären Entwicklungsprozesses berücksichtigt werden.

4.2 Konfiguration versus Konstruktion

Einer der wesentlichen Unterschiede zwischen dem Entwicklungs- und dem Konfigurationsprozess liegt in der Art des Lösungsraumes. Der Entwicklungsprozess zeichnet sich durch die Offenheit seines Lösungsraumes aus. Im Konfigurationsprozess hingegen fehlt diese Offenheit, weil die Ergebnisse (konfigurierte Produkte) immer auf den Raum beschränkt sind, der durch die Kombinationsvielfalt der entwickelten Strukturen und Komponenten beschrieben wird (Schlingheider 1994). Dieser Konfigurationsraum wird auch Variantenraum bezeichnet.

Die Herausforderung in der Produktentwicklung liegt in der Erstellung eines Variantenraums, welcher aktuellen und zukünftigen Kundenwünschen sowie der strategischen Ausrichtung des Unternehmens entspricht. Es gilt, die geforderte äussere Variantenvielfalt mit einer möglichst kleinen inneren Vielfalt an Komponenten und Prozessen zu befriedigen. Darüber hinaus muss auch das Wissen über die Zusammenstellung der Komponenten beschrieben und gepflegt werden.

Der spätere Produkt-Konfigurationsprozess erzeugt in diesem Sinne eine Konfigu-

ration, welche einen vollständigen und konsistenten Plan einer Instanz des Produktes im bereits fest definierten Variantenraum darstellt (Tiihonen, Soininen et al. 1996).

4.2.1 Wissensvolumen und Wissenskomplexität

(Pulkkinen, Lethonen et al. 1999) schreiben der Minimierung des Wissens entscheidende Bedeutung für die Konfiguration zu und fokussiert auf zwei Faktoren, die das Konfigurationswissen charakterisieren und gleichzeitig auch den Variantenraum beschreiben:

- die Wissenskomplexität oder auch die innere Komplexität, die gegeben ist durch die Art von Abhängigkeiten, Regeln, Constraints und Einschränkungen zwischen den Komponenten.
- das Wissensvolumen, z.B. die Anzahl an Regeln und Einschränkungen, die durch viele Ausnahmen und mangelhafte Strukturierung des Produktes verursacht werden.

Diese wissenszentrierte Sichtweise des Produkts wird in Unternehmen meistens vernachlässigt. Die Konsequenzen sind komplexe, unübersichtliche Produktfamilien mit mangelhafter Strukturierung, die von wenigen Mitarbeitern durchschaut werden und gleichzeitig nur mit grossem Aufwand in Konfigurationssysteme abgebildet werden können (Yu und Skovgaard 1998).

Das Problem verschärft sich während des Lebenszyklusses von Variantenprodukten noch weiter; wenn neue Varianten hinzukommen und dazu beitragen, dass das Wissensvolumen aufgrund der wachsenden Ausnahmen exponentiell steigt. Ein diesbezüglich bemerkenswertes Beispiel zeigt uns der XCOM-Konfigurator, der in den achtziger Jahren für die Konfiguration von Computern ausgelegt worden ist: Am Anfang waren wenige Angestellte tätig, die das Regelwerk beschrieben haben. Nach einigen Jahren und nach der Abbildung etlicher Komponenten waren Dutzende von Entwicklern und Verwaltern damit beschäftigt, das Konfigurationswissen zu pflegen. Wegen der Wissenskomplexität hat die Einarbeitungszeit für neue Mitarbeiter bis zu 12 Monate betragen (Barker und O'Connor 1989).

Dieses Beispiel zeigt, dass die Aspekte des Wissensvolumens und der -komplexität nicht ausschliesslich im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden müssen. Die Entwicklungsdynamik von Produktfamilien über den gesamten Lebenszyklus muss ebenfalls beobachtet werden (Männistö, Soininen et al. 2001) und als Erfahrungswert bei der Entwicklung neuer Produktfamilien einfließen.

4.2.2 Detaillierungsebene des Variantenraums

Standardprodukte lassen die Kundenanforderungen nur auf der Ebene der Gesamtprodukte oder Baugruppen (Module) einfließen. Die Kundenanforderungen werden in Form von Produkteigenschaften erfasst und mit den Baugruppen oder Komponenten in Verbindung gebracht. Die Auswahl spezifischer Produkteigenschaften führt zur Konfiguration des Produktes. Bei Standardprodukten ist der Variantenraum fest definiert, und die Wissensmenge ist durch die beschreibenden bzw. einschränkenden Elemente gegeben und ist oft übersichtlich (siehe Bild 19).

Bei kundenspezifischen Produkten hingegen werden Einzelteile und im Extremfall einzelne Features vom Kunden während des Konfigurationsprozesses bestimmt (siehe Bild 19). Dies trifft dann zu, wenn eine Firma kundenspezifische Lösungen anbietet oder das zu konfigurierende System komplex ist. In solchen Fällen wird die zu beschreibende Wissensmenge grösser und die Konfiguration komplexer. Im Extremfall findet auch keine Konfiguration mehr statt, sondern eine auftragspezifische Konstruktion.

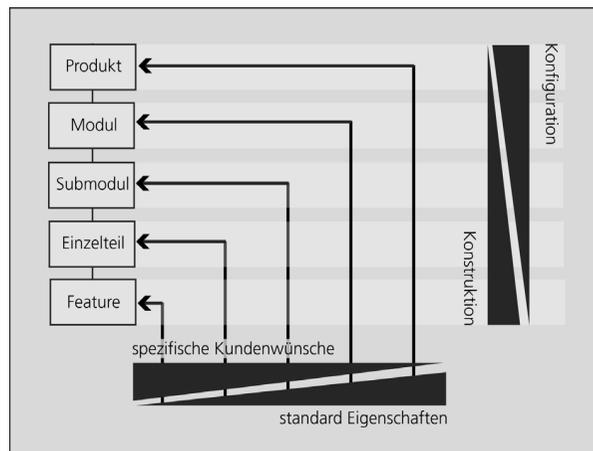


Bild 19: Der Zusammenhang zwischen Standardprodukt und kundenspezifischem Produkt bzw. von Konstruktion und Konfiguration in Abhängigkeit der Produktdetaillierungsebene

Trotz wachsender Bedeutung der *Mass Customization* wird versucht, den Detaillierungsgrad der Produktkonfiguration, so weit dies möglich ist, auf der Ebene der

Module bzw. der Baugruppen zu halten. Solche Massnahmen können aber nur im primären Entwicklungsprozess getroffen werden und setzen eine ausgeprägte Strukturierung der Produktfamilie voraus.

4.2.3 Eigenschaften konfigurierbarer Produkte

Die Eigenschaften konfigurierbarer Produkte sind in der Literatur in (vgl. (Tiihonen, Soininen et al. 1996), (Soininen 1998), (Wielinga und Schreiber 1996), (Pulkkinen, Lethonen et al. 1999) und (Männistö, Soininen et al. 2000)) diskutiert worden. Aus der Sicht der Konfiguration fließen die Kundenwünsche auf der Ebene der Baugruppen oder Unterbaugruppen ein und weisen folgende charakterisierende Merkmale auf:

- Das Produkt besitzt einen fest definierten Variantenraum, mit dem Ziel, eine bestimmte äussere Vielfalt aufzuweisen, die eine (breite) Palette an Kundenanforderungen erfüllen kann. Es ist nicht vorgesehen, dass Anforderungen ausserhalb dieser Palette erfüllt werden.
- Solche Produkte werden während des Konfigurationsprozesses durch die Kundenwünsche bestimmt und benötigen keine Anpassungs- oder Variantenkonstruktion im Sinne von (Pahl und Beitz 1997).
- Jedes einzelne Produkt ist das Resultat einer Kombination einzelner Komponenten oder Module.
- Die Produkte besitzen eine klar definierte auftragsneutrale Produktstruktur, welche zur Erfüllung einer gewissen Anforderungspalette entwickelt worden ist.

Ein konfigurierbares Produkt vereint einige Vorteile der Massenproduktion und der Einzelfertigung (Tiihonen und Soininen 1997), weil es nicht viel teurer als ein Massenprodukt ist aber wesentlich stärker individualisiert werden kann (siehe Bild 20). Es verkörpert am besten die Idee der *Mass Customization* (vgl. Kap. 2.1.2.1 "Unternehmensexterne Faktoren").

Im folgenden Zitat von (Tiihonen, Soininen et al. 1996) wird der Zusammenhang konfigurierbarer Produkte mit den Baukastensystemen verdeutlicht:

The modularity of products has a favourable effect on the complexity of product configuration tasks. Two ways to understand product modularity are apparent. One starts from the customer needs and modularises the product into functional modules, each of which corresponds to a set of anticipated customer requirements. The other looks at the modularity from the product structure and manufacturability. The first approach helps the configuration process at the sales stage because it simplifies the mapping from customer requirements to a technical

specification. The second is more helpful at the later phases of the delivery process, as it enhances the control of production and reduces the work-in-process inventory. This is achieved by reducing the number of component types used in product assemblies, while still retaining a large variety of end products that can be assembled from the component type.

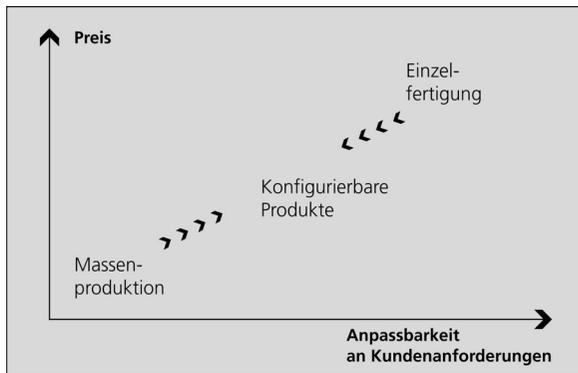


Bild 20: Einige ausgezeichnete Eigenschaften konfigurierbarer Produkte im Vergleich zur Massen- und Einzelfertigung (in Anlehnung an (Tiihonen und Soinin 1997))

4.2.4 Massnahmen zur Entwicklung konfigurationsgerechter Produkte

Das Anliegen des Design for Configuration liegt in der Erfassung und Behandlung konfigurationsrelevanter Aspekte in der Produktentwicklung zwecks der Erfassung, Verwaltung, Optimierung und Nutzung des Wissensvolumens und der Wissenskomplexität. (Pulkkinen, Lethonen et al. 1999) schlagen aufgrund der Industrieerfahrungen einen Massnahmenkatalog vor, als Beitrag zur Minimierung des Konfigurationswissens im primären Entwicklungsprozess. Die darin enthaltenen Richtlinien betreffen die Produktstruktur, die Entwicklung der Variabilität im Herstellungsprozess und die Prozess- sowie die Datenmodellierung. Darüber hinaus wird in (Pulkkinen, Lethonen et al. 1999) und (Järventausta und Pulkkinen 2001) ein Produktmodell zur Reduktion der Informationsmenge von modularen Produktfamilien vorgestellt. Dieses sieht die Definition von anwendungsgerechten Produktsichten vor, die es erlauben, die relevante Information für die betroffenen Bereiche (Engineering, Verkauf, Produktion usw.) zur Verfügung zu stellen.

(Pulkkinen 2000) befasst sich in seinem Beitrag mit der gesamten Problematik der Entwicklung konfigurationsgerechter, variantenreicher Produkte. Dabei wird auf die Aspekte der Produktentwicklung, der Wissenskomplexität der Produktfamilie, sowie auf deren Abbildung in Konfiguratoren fokussiert.

Weitere Artikel zu Thema DfC wurden in (Riitahuhta und Pulkkinen 2001) veröffentlicht. Dieses Werk versteht sich als Beitrag zu aktuellen Problemstellungen im Bereich der Produktstrukturierung und Konfiguration. Hierin werden vier Schwerpunkte gesetzt:

- die Analyse von Kunden, Märkten und Technologien,
- die Entwicklung von Produktfamilien und modularen Systemen,
- die Metriken und Methoden für die Modularisierung und Konfigurierbarkeit und
- die Produktmodelle und IT-Tools.

Eine Reihe von Beiträgen stellen die unterschiedlichsten Aspekte vor und zeigen, wie das Design for Configuration unterstützt werden kann. Der wichtigste Beitrag des DfC aus dem Blickwinkel der Produkt-Wissensverwaltung ist die Definition des Konfigurationsmodells. Dieses dient der Abbildung des Konfigurationswissens, das während des Konfigurationsprozesses nötig ist, um eine konsistente und vollständige Erstellung von Konfigurationen zu gewährleisten. In Zusammenhang mit dem Konfigurationsmodell muss das Streben nach einem möglichst minimalen Wissensvolumen erwähnt werden. Eine Minimierung des Wissensvolumens lässt sich während des primären Entwicklungsprozesses mit einer modularen Produktarchitektur, die eine kleine innere Variantenvielfalt und wenige Kombinationseinschränkungen aufweist, erreichen (vgl. auch Bild 21).

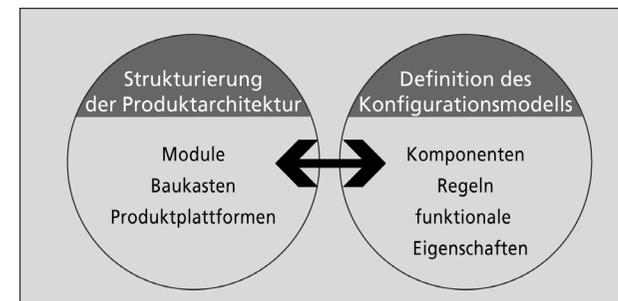


Bild 21: Die enge Korrelation zwischen der Produktstrukturierung und dem Konfigurationsmodell

(Tiihonen, Lethonen et al. 1998) haben in Anlehnung an die Definition der Konfiguration ein Konfigurationsmodell definiert, welches folgende Inhalte umfasst:

- die Anzahl an entwickelten Komponenten, welche eine Produktfamilie bilden,
- die Definition wie diese Komponenten zu einem Gesamtprodukt kombiniert werden können und
- die Definition von funktionalen Eigenschaften, die das Selektionsverfahren des Kunden während des Konfigurationsprozesses unterstützen.

Obwohl der Inhalt des Konfigurationsmodells nicht besonders komplex ist, wird in Entwicklungsteams das meist implizit vorhandene Konfigurationswissen selten explizit erfasst. Eine solche analytische Sichtweise des Produktes ist in technisch veranlagten Teams primär nicht relevant, sondern das physische Produkt an sich. Darüber hinaus muss festgehalten werden, dass keine einfache, allgemein anerkannte Notation zur Erfassung des Konfigurationswissens vorhanden ist, die den Entwicklern zur Seite stehen könnte.

In (Tiihonen, Lethonen et al. 1998) und (Soininen, Tiihonen et al. 1998) wird eine Methode zur Modellierung von konfigurierbaren Produktfamilien vorgestellt, mit dem Ziel, die Information des Konfigurationsmodells zu veranschaulichen. Das Modell baut auf der Abbildung folgender Elemente auf:

- den Komponenten des Systems (Produktstruktur),
- den Schnittstellen zwischen den Komponenten,
- den Ressourcen (Bsp. Energie oder Stoffflüsse),
- den auszeichnenden Funktionalitäten, als Kriterien für den Kunden bei der Konfiguration und
- den Constraints zur Darstellung von Abhängigkeiten zwischen einzelnen Komponenten des Systems.

Obwohl die wichtigsten Aspekte des Konfigurationsmodells damit dargestellt werden können, stellt diese Methode einige nicht zu unterschätzende Voraussetzungen an die Produktentwickler: Neben dem guten Verständnis über das abzubildende Variantenprodukt sollten die Grundzüge der objektorientierten Modellierung von Sachverhalten verstanden werden (Tiihonen, Lethonen et al. 1999).

4.2.5 Methoden zur Erzeugung modularer Produktarchitekturen versus DfC

In Kapitel 3 wurden einige Methoden zur Erzeugung modularer Produktarchitekturen vorgestellt und diese aus dem Blickwinkel einer markt- und unternehmensge-

rechten Variantenvielfalt diskutiert. Wie diese Methoden die spezifischen Aspekte der Wissenskomplexität und des Wissensvolumens angehen, wird an dieser Stelle diskutiert.

- **QFD**

Das *Quality Function Deployment* ist eine Methode, die für die Entwicklung von einzelnen Produkten bestimmt ist. Das QFD ist für die Gestaltung von Variantenprodukten erst im Zusammenhang mit anderen Methoden (z.B. MFD, DfV) von Interesse.

Die Systematik der Methode verfolgt den klassischen Weg der Produktentwicklung vom Kundenwunsch bis zur Fertigung. Dabei werden Problemstellungen wie die Konfiguration oder das Konfigurationswissen nicht betrachtet.

- **VMEA**

Am Fuss des Komponenten-Variantenbaums werden alle möglichen kombinatorischen Variationen der Produktpalette aufgezeigt. Dies mag vorteilhaft sein für die Verschaffung eines Überblicks, reduziert aber die Konfiguration zu einer reinen Selektion; d.h. dass die Anzahl der Kombinationen von möglichen Endprodukten im Voraus schon bekannt ist.

Während der VMEA findet keine eingehende Analyse der erfassten Zusammenhänge zwischen den Komponenten statt. Dadurch kann theoretisch während der VMEA eine Produktpalette entstehen, die aus der Sicht der Konfiguration ein komplexes Variantenwissen aufweist. Der Grund liegt in den vielen Regeln, die benötigt werden, um die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Komponenten zu beschreiben. Der Variantenbaum im Montageprozess zieht die Variantenentstehung in den letzten Schritten der Montagerihenfolge vor, was die Entstehung von komplexeren Abhängigkeiten unterstützen kann.

- **MFD**

Das *Modular Function Deployment* behandelt in seiner Vorgehensweise nicht explizit die Aspekte der Wissenskomplexität und des Wissensvolumens. Das MFD ermöglicht jedoch die Berücksichtigung solcher Aspekte nach der Bewertung der Produktarchitektur in der Ausarbeitungsphase des primären Entwicklungsprozesses, indem es eine Optimierung der ausgewählten Architektur nach den Grundsätzen des DfX vorsieht. Zu diesen Grundsätzen gehört bekanntlich auch das DfC.

- **DfV**

Das *Design for Variety* zielt auf eine Minimierung der anfallenden Anpassungskosten einer Produktfamilie während des Produktlebenszyklusses. Die von den möglichen Veränderungen tangierten Module werden früh eruiert und so modularisiert, dass die Abhängigkeiten zwischen den kritischen Modulen und den angrenzenden Komponenten im System minimiert werden können.

Diese Vorgehensweise hat gleichzeitig auch einen positiven Einfluss auf die innere Komplexität und schliesslich auch auf das Wissensvolumen. Das DfV lässt zudem den freien Gestaltungsraum in der Ausarbeitungsphase des primären Entwicklungsprozesses. Dies ermöglicht eine Optimierung der Konfigurierbarkeit der Produktfamilie mit der Anwendung von Ansätzen des DfC.

- **Modular Product Architecture**

Die innere Komplexität des Produktes wird in dieser Methode wenig berücksichtigt. Die *Modular Product Architecture* zielt, wie auch die VMEA, auf die Gestaltung einer bestimmten Gruppe von Produkten, die später nur noch selektiert und nicht konfiguriert werden müssen. Darüber hinaus werden in der *Modular Product Architecture* die Gesetzmässigkeiten auf der funktionalen Ebene als Ansatz für die Gestaltung der modularen Struktur gewählt. Diese abstraktere, logische Ebene erlaubt keine direkte Berücksichtigung der Aspekte des DfC.

Wie bei anderen Methoden ist es in der *Modular Product Architecture* ebenfalls möglich, die Ansätze des DfC in der Ausarbeitungsphase anzuwenden.

Keine der Methoden hat einen negativen Einfluss auf das DfC oder auf die im zweiten Kapitel definierten Anforderungen, aber nur vereinzelt werden die angesprochenen Themen der Wissenskomplexität und des Wissensvolumens (Konfigurationsmodell) explizit unterstützt.

Zwar können diese Methoden mit den Ansätzen des DfC (siehe Kap. 4.2.4 "Massnahmen zur Entwicklung konfigurationsgerechter Produkte") in Verbindung gebracht werden, es fehlt aber eine Methode, die spezifische, konfigurationsrelevante Aspekte beleuchtet.

Kapitel 5

Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix (K- & V-Matrix)

Die K- & V-Matrix-Methode versteht sich als Arbeitsmittel für den Ingenieur und stellt als solches Anforderungen bezüglich Anwendbarkeit und Verständlichkeit. Um diese Anforderungen zu erfüllen, muss folgenden Aspekten Rechnung getragen werden: zum einen der Definition der Methodeninhalte und zum anderen dem graphischen Interface. Für den ersten Teil dieses Kapitels leitet sich hieraus folgende Fragestellung ab: Wie kann das Konfigurationsmodell dargestellt werden, dass es von möglichst vielen Beteiligten verstanden wird?

Die Erstellung der Methode und ihrer Elemente bilden den zentralen Teil dieses Kapitels. Dabei werden eine detaillierte Darstellung der Matrizen und ein Erfahrungsbericht, der aus dem Umgang mit der Methodik in der Praxis hervorgeht, vorgestellt. Der letzte Teil ist dem Vergleich mit den im Kapitel 3 vorgestellten Methoden gewidmet. Dabei wird ein besonderer Wert auf die Positionierung innerhalb des primären Entwicklungsprozesses, die Kombinierbarkeit mit der K- & V-Matrix sowie die Erzeugung von Synergie-Effekten gelegt.

5.1 Graphische Notation

Den im Kapitel 2 definierten Anforderungen liegt die Annahme zugrunde, dass eine graphische Notation des Konfigurationswissens das Verständnis und somit auch

die Kommunikation zwischen den betroffenen Bereichen vereinfachen kann. Die Art und Weise der Unterstützung soll nicht von den technischen Kenntnissen der Benutzer, sondern einzig und allein von deren kognitiven Eigenschaften abhängig sein.

Es ist bekannt, dass Zeichen schneller als Text erkannt werden (Ells und Dewar 1979). Demzufolge sollen die Kernaussagen der Beschreibungssprache auch in Form von Zeichen erfolgen. Ausserdem sind die graphischen Eigenschaften von Zeichen, wie die Form oder die Farbe, sehr nützlich für die Klassifizierung von (Gittens 1986): Objekten, Elementen oder Texten. Weitere Gründe, die für den Einsatz von Zeichen sprechen, sind:

- die graphische Darstellung unterstützt den Lernprozess. Symbole können schneller erfasst und gelernt werden (Walker, Nicolay et al. 1965).
- visuelle oder räumliche Darstellung von Information kann besser eingepreßt und verwendet werden (Wertheimer 1959). Diese führt zu einer schnelleren und erfolgreicherem Problemlösung (Caroll, Thomas et al. 1980).
- jede visuelle Darstellung verkörpert genau eine Funktion im Gegensatz zu Texten, die artikuliert sein können.
- wegen geringerer Komplexität ist es für gelegentliche Benutzer leichter, sich einfache Operationen zu merken (Galitz 1997).

Um die Vorteile der graphischen Darstellungsweise tatsächlich zu bewahren, soll die Notation des Konfigurationswissens in der Beschreibungssprache auch möglichst einfach gehalten werden und auf bekannten Darstellungskonzepten basieren (vgl. (Zimmermann 1995)).

5.1.1 Bestehende Notationsformen

Viele Ansätze zur Wissensrepräsentation stellen ihre Daten graphisch dar. Obwohl einige dieser Darstellungsformen teilweise in anderen Kontexten angewendet werden, beinhalten sie Konfigurationswissen. Einige Beispiele dafür sind:

- die Erzeugnisgliederung mit der Unterteilung in Grundstruktur, variantenspezifische Muss- und Kannteile (Ungeheuer 1985).
- die sogenannte Gitarrenmethode, die variantenbehaftete Merkmale in Verbindung mit den Komponenten der Produktstruktur bringen. Ausserdem werden sogenannte Entscheidungsunterlagen definiert, welche die Regeln und Formeln zur Auswahl der Komponenten enthalten (Pelikan 1976) und (Müller 1982).
- die strukturorientierten Variantenbäume, welche die Variantenbildung ausgehend von der Produktstruktur mittels UND- und ODER-Verknüpfungen darstellen (Schlingheider 1994).

- die VMEA, welche die Merkmale und Ausprägungen in Baumform darstellt (Merkmalsbaum), die Unverträglichkeiten tabellarisch erfasst und die Teilevariabilität in Form eines Variantenbaums der Montagestruktur veranschaulicht.
- die konfigurationsorientierte Teilestrukturierung, welche die Komponenten eines Produktes mit Merkmalen und Ausprägungen beschreibt sowie die Ausschlussbeziehungen zwischen den Merkmalen graphisch darstellt (Gausemeier, Flath et al. 1998).
- die Konzeption des Konfigurationsmodells, das die Komponenten, die Schnittstellen zwischen den Komponenten, die funktionale Beschreibung sowie die Constraints umfasst. Das Modell wird in einer flussdiagramm-ähnlichen Form dargestellt (Tiuhonen, Lethonen et al. 1999).

Diese Darstellungsformen sind in Tabelle 5 mit den im Kapitel 2 festgehaltenen Anforderungen bewertet worden. In der linken Spalte sind neben den Anforderungen auch die entsprechenden Gewichtungsfaktoren in einem Wertebereich von eins bis fünf angegeben. Die Bewertung der einzelnen Darstellungsformen erfolgt nach der anforderungsorientierten gewichteten Bewertung (vgl. (Breiing und Flemming 1993)), wobei der Wertebereich wie im QFD exponentiell $[0,1,3,9]$ gewählt worden ist. Hiermit sollen die erfüllten Anforderungen speziell belohnt werden bzw. die Lücken der Darstellungsformen hervorgehoben werden.

Die Erzeugnisgliederung besitzt eine horizontale Produktstruktur, die es erlaubt, Muss- und Kannteile sowie die entsprechenden Variantenteile zu unterscheiden. Eine solche Darstellungsweise wird insbesondere in den technischen Abteilungen angewendet, kann jedoch den spezifischen Ansprüchen der Konfiguration nicht gerecht werden.

Die Gitarrenmethode ermöglicht die Darstellung der Abhängigkeiten zwischen variablen Merkmalen und den Bausteinen der Produktstruktur. In dieser zweidimensionalen Struktur werden auch die Einschränkungen festgehalten. Die Nachteile dieser Darstellungsform liegen in der fehlenden Möglichkeit, Abhängigkeiten auf Ausprägungsebene darzustellen.

Tabelle 5: Erfüllungsgrad der Anforderungen an eine Beschreibungssprache für Variantenprodukte

Anforderung / Gewichtung	Erzeugnisgliederung			Gitarrenmethode			Variantenbäume			VMEA			Konfigurationsstruktur			Konfigurationsmodell		
Strukturierte Beschreibung der Vielfalt	4	3	12	1	4	3	12	9	36	3	12	3	12	3	12			
Beschreibung funktionaler Sicht	5	0	0	3	15	0	5	3	15	9	45	3	15	3	15			
Beschreibung Komponentensicht	5	9	45	3	15	9	45	3	15	3	15	3	15	3	15			
Konsist. Mapping zwischen den Sichten	4	0	0	3	12	0	0	0	0	9	36	9	36	9	36			
Beschreib. Kombinierbarkeit Komponenten	4	0	0	3	12	0	0	3	12	3	12	9	36	9	36			
einfach verständlich und erlernbar	4	9	36	9	36	9	36	9	36	3	12	0	0	0	0			
graphische Darstellung	3	3	9	9	27	9	27	9	27	3	9	3	9	3	9			
Unterstützung primärer Entw.-prozess	3	3	9	9	27	3	9	3	9	3	9	9	27	9	27			
Unterstützung sekundärer Entw.-prozess	3	3	9	9	27	3	9	9	27	3	9	3	9	3	9			
Logik in kommerziellen Konfiguratoren abbilden	3	0	0	3	9	0	0	3	9	1	3	9	27	9	27			
Summe		120	160		143		186		162		186							
%-satz des Maximalwertes (342)		35.1	46.8		41.8		54.4		47.4		54.4							

Die Variantenbäume weisen ein ähnliches Profil wie die Erzeugnisgliederung auf. Die Inhalte beider Methoden sind ähnlich, nur die Darstellungsform unterscheidet sich.

Die VMEA ist für die Auslegung von Variantenprodukten entwickelt worden. Dadurch enthält sie im wesentlichen die geforderten konfigurationsrelevanten Elemente. Der grösste Nachteil des Merkmal- und Variantenbaums liegt in der fehlenden Darstellung der Korrelationen der Elemente in den beiden Sichten.

Die Konfigurationsstruktur ist ein Ansatz, der aus der Verwaltung von Produktdaten im Entwicklungsbereich hervorgeht. Die für die Konfiguration nötigen Daten sind im wesentlichen vorhanden, die technisch, datenbasierte Darstellungsweise ist für die Anwendung im Verkauf jedoch in Frage zu stellen.

Das Konfigurationsmodell setzt höhere Kenntnisse im Bereich der Produktarchitektur und der objektorientierten Modellierung voraus, was mit der einfachen Erlernbar-

keit schlicht inkompatibel ist. Aus der Sicht der Informationsdarstellung ist diese Darstellungsweise jedoch die vollständigste aller Methoden.

Die Summe der mathematischen Werte ergibt ein klares Bild über den Grad der Erfüllung der einzelnen Anforderungen. Keine der besprochenen Methoden erreicht einen Erfüllungsgrad von 60%. Dieses Resultat spricht nicht für die Übernahme einer der erwähnten Darstellungsweisen in die zu entwickelnde Beschreibungssprache.

5.1.2 Matrix als Darstellungsform

Für die darzustellende mehrdimensionale Information - wie die funktionale Sicht, die Beschreibung der Komponenten und die Ausschlussmöglichkeiten zwischen den Komponenten - eignet sich die Matrix-Form am besten. Dadurch können nämlich die jeweiligen Sichten in den zwei zur Verfügung stehenden Dimensionen gegenübergestellt werden. Darüber hinaus weist die Matrix-Form folgende Vorteile auf:

- die Kompaktheit der Informationsdarstellung,
- die Möglichkeit einer systematischen Abbildung von Elementen eines Systems und
- eine klare und lesbare Darstellung unabhängig von der Matrixgrösse (N.N. 2001).

5.2 Aufbau der K- & V-Matrix

Zu Beginn dieses Kapitels werden die in der Methode zur Beschreibung der Produktfamilie verwendeten Sichten vorgestellt. Weiter werden die Konventionen zur Abbildung der Information diskutiert und schliesslich werden die Matrizenarten präsentiert: die K- (Konfigurations-) und die V- (Verträglichkeits-) Matrix (vgl. Bild 22). Diese Beschreibungen stützen sich auf die Veröffentlichungen über die K- & V-Matrix von (Bongulielmi, Henseler et al. 2001) und (Puls, Bongulielmi et al. 2001).

In der K- & V-Matrix werden im klassischen Fall zwei Produktsichten einander gegenübergestellt: eine funktionale, kundennahe und eine produktnahe, technische Sicht (vgl. Bild 22). In den Sichten wird die variantenbehaftete, für die jeweilige Sicht relevante Information strukturiert dargestellt. Die K-Matrix dient der Abbildung der direkten Korrelationen beider Sichten. In der V-Matrix hingegen werden die Elemente der gleichen Sicht auf die gegenseitige Kombinierbarkeit überprüft. Jede Sicht besitzt eine eigene V-Matrix.

5.2.1 Sichten

In Anlehnung an das abzubildende Konfigurationsmodell werden im klassischen Fall zwei Sichten in der Methode abgebildet: eine eher verkaufsorientierte Kundensicht und eine eher technische Sicht. Dadurch sind die Voraussetzungen für die Bildung einer technischen Wissensbasis für den Verkauf und das Engineering gegeben. Je nach Anwendung können sich die Inhalte der einzelnen Sichten jedoch stark voneinander unterscheiden.

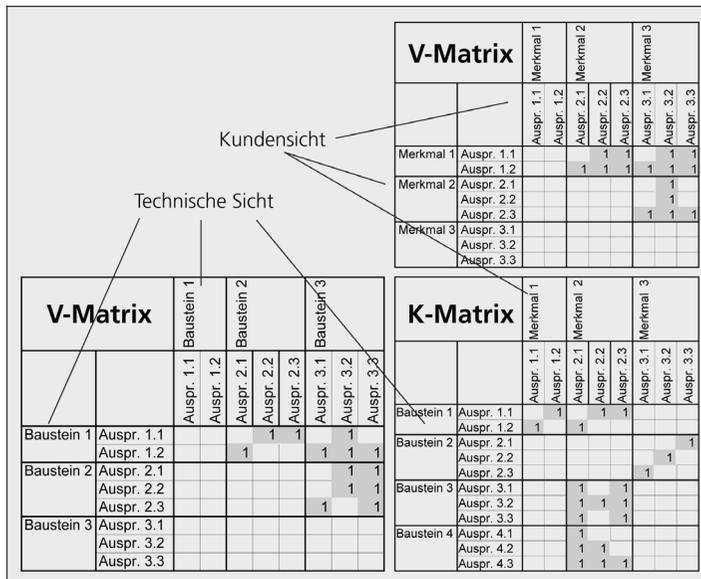


Bild 22: Der prinzipielle Aufbau der K- & V-Matrix

5.2.1.1 Kundensicht

In der Kundensicht werden beschreibende Produktmerkmale oder Anforderungen aufgeführt, die der Kunde während der Konfiguration benötigt, um das gewünschte Produkt zu definieren. Solche Eigenschaften (vgl. Kap. 5.2.2 "Informationsabbildung in der K- & V-Matrix") werden in einer kundenorientierten Sprache formuliert und abgelegt. Ziel dabei ist es, dem Kunden und/oder dem Verkäufer einen effizienten und strukturierten Weg zur Produktauswahl vorzulegen, sowie das Selektionsverfah-

ren einzelner Eigenschaften zu unterstützen.

Bei der Auslegung der Kundensicht ist auf eine vollständige Beschreibung aller in der technischen Sicht aufgeführten Bausteine zu achten. Die Überbestimmung von Komponenten durch die Kundensicht mittels Eigenschaften ist hingegen kein Problem. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit sogar erhöht, dass ein Kunde die im eigenen Verständnis vorhandenen Begriffe im Konfigurationsprozess vorfindet und somit eine vollständige Konfiguration durchführen kann.

5.2.1.2 Technische Sicht

In der technischen Sicht werden variantenbehaftete Bausteine oder Komponenten des Produktes dargestellt. Es handelt sich dabei um eine in der Regel von der Produktstruktur abgeleitete Sicht, die speziell auf die Eigenschaften der Konfiguration angepasst wird. Diese Abbildung erfolgt im Sinne der ersten Phase der Konfiguration (*sales configuration*, vgl. Kap. 4.1.1 "Zwei Konfigurationsphasen in der Auftragsabwicklung") und soll die Voraussetzungen für die Auslösung eines Auftrages schaffen.

Die Vernachlässigung des invarianten Kerns in der Produktstruktur (soweit dieser vorhanden ist) stellt eine der auszeichnenden Eigenschaften der Methode dar.

Wie bereits im Kap. 4.2.2 "Detaillierungsebene des Variantenraums" erläutert, kann eine technische Sicht mehr oder weniger konkrete Bausteine des Variantenproduktes darstellen. Handelt es sich um ein stark individualisierbares Produkt, in dem die Kundenanforderungen auf der Ebene der Features oder Einzelteile einfließen, werden weniger Baugruppen oder Modulvarianten in der technischen Sicht aufgelistet, sondern eher nur deren Lösungsprinzipien. Dadurch bleibt die Anzahl Ausprägungen eines stark individualisierbaren Bausteins übersichtlich. Im Extremfall kann jede Ausführung eines solchen Bausteins zu einer neuen Variante und gleichzeitig zur Unhandbarkeit der Daten in den Matrizen führen.

In den meisten Fällen reichen zwei Sichten (eine technische Sicht und eine Kundensicht) zur Auflistung des konfigurationsrelevanten Wissens aus. Die Methode setzt in dieser Hinsicht jedoch keine Grenzen. Theoretisch können beliebig viele Sichten definiert werden. Beispielsweise kann neben der technischen Sicht zusätzlich eine CAD-Sicht modelliert werden, welche die Freiheitsgrade eines parametrisierten Modells darstellt. Auf diese spezifische Problemstellung wird im Zusammenhang mit den Matrizen in Kap. 5.3.1 "Anzahl Sichten in der K- & V-Matrix" eingegangen.

5.2.2 Informationsabbildung in der K- & V-Matrix

Bei der Entwicklung der Methode wurden einige Konventionen zur Abbildung der Information getroffen. Darunter fallen das Prinzip der Sachmerkmal-Leiste (SML), die Hierarchie-Ebenen der Informationsabbildung, die Abkürzungen sowie der zulässige Wertebereich in den Matrizenfeldern.

5.2.2.1 Sachmerkmal-Leisten und Merkmale

Der Beschreibung einzelner Sichten liegt das Prinzip der sogenannten Sachmerkmal-Leisten zu Grunde. Die Komponenten werden mit einer Reihe von Merkmalen definiert, die zu einer Sachmerkmal-Leiste zusammengefasst werden. Die Sachmerkmal-Leiste wird wie folgt definiert:

Sachmerkmal-Leisten dienen dem Zusammenfassen, Abgrenzen und Auswählen von genormten und nichtgenormten, materiellen und immateriellen Gegenständen, die einander ähnlich sind. Sie unterstützen darüber hinaus das Dokumentieren und Speichern sowie das Austauschen der Daten von Gegenständen in Dateien mit Hilfe von informationstechnischen Verfahren. Die Merkmalsausprägungen in den Sachmerkmal-Leisten sind Bestandteil der Produktdokumentation (DIN4000/1 1992) S. 2.

Die Sachmerkmal-Leiste eines Bausteins wird mit einer Liste von charakterisierenden Merkmalen definiert. Eine Variante einer Komponente wird mit je einer Ausprägung aller Merkmale in der eigenen Sachmerkmal-Leiste beschrieben. Die technische Sicht bildet sich aus der Auflistung aller Sachmerkmal-Leisten der darzustellenden Komponenten einer Produktfamilie.

		Hubraum		Leistung		Treibstoff	
		1600 ccm	1800 ccm	100 kW	120 kW	Benzin	Diesel
Motor	Variante 1	x			x	x	
	Variante 2	x	x				x
	Variante 3	x		x		x	

Legende:
 Motor: Sachmerkmal-Leiste (SML)
 Variante: Ausprägung zu SML
 Hubraum: Merkmal
 1600 ccm: Ausprägung zu Merkmal Hubraum

Bild 23: Beschreibung von Elementen mit Sachmerkmal-Leisten und Merkmalen

Der Vorteil der Beschreibung mit Hilfe der Sachmerkmal-Leisten besteht in der gleichen Darstellung verschiedener Varianten, die sich nur durch eine oder mehrere Ausprägungen unterscheiden. Jede spezifische Variante stellt sozusagen eine mit Ausprägungen versehene Instanz auf der Sachmerkmal-Leiste dar (siehe Bild 23). Somit lassen sich alle Variantenprodukte einer bestimmten Familie mit der gleichen Anzahl an Merkmalen beschreiben.

Die funktionalen Eigenschaften der Kundensicht werden mit Merkmalen und Ausprägungen dargestellt. Jede Eigenschaft ist dabei eine Kombination eines Merkmals und einer Ausprägung.

Eine Eigenschaft = Ein Merkmal + Eine Ausprägung

(DIN4000/1 1992) S.2

5.2.2.2 Hierarchie-Ebenen

Neben den zwei Hierarchie-Ebenen (Merkmals- und Ausprägungsebene) ist in den Sichten der K- & V-Matrix eine weitere, dritte Hierarchie-Ebene vorgesehen: die sogenannte Gruppe von Merkmalen oder Merkmalsleisten. Eine Übersicht über die Hierarchie-Ebenen in der K- & V-Matrix ist in Bild 24 gegeben.

Diese zusätzliche Ebene hat keinen inhaltlichen Einfluss auf die Darstellung der Information in den Sichten, sondern hat nur organisatorische Bedeutung. Die Gruppen von SML oder von Merkmalen werden dann eingesetzt, wenn eine Sicht eine grössere Anzahl an SMLs oder Merkmalen aufweist und durch eine Gruppierung eine übersichtliche Ordnung geschaffen werden kann.

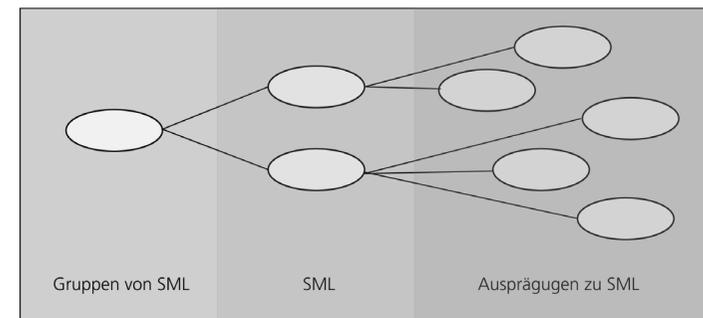


Bild 24: Die Hierarchieebenen in der K- & V-Matrix am Beispiel der SML

Zwischen den Gruppierungen in den einzelnen Sichten müssen keine Korrelationen bestehen. Somit können die Gruppierungen in jeder Sicht nach den Bedürfnis-

sen und der Logik der jeweiligen Benutzer bezeichnet werden.

5.2.2.3 Abkürzungskonventionen

Für die Beschreibung der Elemente in den Sichten sind folgende Namenskonventionen getroffen worden:

- **tmlg**: Gruppe von technischen Sachmerkmal-Leisten
- **tml**: technische Sachmerkmal-Leiste
- **tmla**: Ausprägung zu [tml] ist eine Ausprägung einer SML
- **kmg**: Gruppe von Konfigurationsmerkmalen
- **km**: Konfigurationsmerkmal entspricht einem funktionalen Merkmal
- **kma**: Ausprägung zu [km] ist eine Ausprägung eines Merkmals

Die Mehrzahl der jeweiligen Abkürzungen werden jeweils mit einem s ausgezeichnet: kms, kmas, tmlas usw.

5.2.2.4 Zulässiger Wertebereich

Ein letzter Bestandteil der Methodik betrifft die zulässigen Wertebereiche in den Matrizenfeldern. Aufgrund einer möglichst einfachen Notation sind folgende Werte zugelassen:

- Null: keine Korrelation, keine Abhängigkeit, keine Verträglichkeit
- Eins: Zugehörigkeit oder Verträglichkeit zwischen der zugehörigen Zeile und Spalte, in welchen sich das Schnittfeld der Matrix befindet.

Eine Zugehörigkeit in der Matrix, die mit dem Wert 1 bezeichnet wird oder mit einem gefärbten Feld graphisch dargestellt wird, ist einer Abhängigkeit in beiden Richtungen gleichzustellen. In Bild 22 ist beispielsweise die Ausprägung 1.1 der technischen Sicht mit der Ausprägung 1.2 der Kundensicht korreliert. Diese Korrelation gilt ebenfalls in umgekehrter Richtung. Diese Art der beidseitigen Korrelation ist einem primitiven Constraint (vgl. (Faltings und Weigel 1994)) oder zwei Regeln gleich zu stellen und gehört zum Funktionsumfang kommerzieller Konfigurationssysteme. Damit kann gewährleistet werden, dass die Daten in den Matrizen grundsätzlich auch übernommen werden können.

5.2.3 K-Matrix

Die Konfigurationsmatrix (K-Matrix) dient der Gegenüberstellung der Eigenschaften zweier Sichten. Die Bezeichnung *Konfigurationsmatrix* entspricht daher nicht dem Inhalt sondern dem Anwendungsgebiet der Matrix.

In den Matrixfeldern wird die Zuweisung (Mapping) der Merkmale [kms] der Kun-

densicht zu den Bausteinen [tmls] der technischen Sicht dargestellt. Die Korrelation einer Ausprägung eines Bausteins [tmla] mit einer Ausprägung eines in der gegenüberliegenden Sicht aufgeführten Merkmals [kma] wird im Schnittfeld der zugehörigen Spalte und Zeile mit dem Wert 1 angezeigt. Existiert hingegen keine Korrelation, bleibt das Schnittfeld leer. Ein Beispiel einer K-Matrix ist in Bild 25 dargestellt.

				kmg 1			kmg 2	
				km 1	km 2		km 3	
				kma 1.1	kma 1.2	kma 2.1	kma 2.2	kma 2.3
				kma 3.1	kma 3.2			
tmlg 1	tml 1	tmla 1.1		1		1		
		tmla 1.2	1		1			
	tml 2	tmla 2.1						
		tmla 2.2						1
	tmla 2.3						1	
tmlg 2	tml 3	tmla 3.1		1		1		
		tmla 3.2		1	1	1		
		tmla 3.3		1		1		

Bild 25: Eine K-Matrix: Die Gruppen von Konfigurationsmerkmalen [kmg] bzw. von technischen Merkmal-Leisten [tmlg] werden nur bei Bedarf abgebildet.

Die K-Matrix lässt dem Benutzer viel Freiraum bei der Modellierung von Variantenprodukten, nicht zuletzt wegen der flexiblen Gestaltung der einzelnen Sichten. Gewisse Regeln, die eine korrekte K-Matrix auszeichnen, sollen jedoch befolgt werden (vgl. Bild 26):

- Die Anzahl Korrelationen zwischen Merkmalen und Bausteinen [km-tml] untereinander ist beliebig. Ein Baustein [tml] kann mit 1 bis n Merkmalen [kms] korreliert sein und umgekehrt. Wichtig dabei ist, dass jedes Element einer Sicht [tml oder km] mindestens eine Korrelation mit einem Element der anderen Sicht [tml oder km] besitzt. Ist dies nicht der Fall, findet kein Mapping statt und die Ausführung des Merkmals in der entsprechenden Sicht ist nicht notwendig.
- Bei einer Korrelation Merkmal-Baustein [km-tml] gilt: jede Merkmalsausprägung [kma] besitzt eine Abbildung auf mindestens eine Bausteinausprägung [tmla] und jede Bausteinausprägung [tmla] besitzt eine Abbildung auf mindestens eine Merkmalsausprägung [kma].
- Sind alle Ausprägungen eines Merkmals [kmas] mit allen Ausprägungen eines

Bausteins [tmlas] korreliert, dann sollen alle Korrelationen zwischen dem entsprechenden Baustein [tml] bzw. Merkmal [km] entfernt werden. Inhaltlich ist dies einer fehlenden Korrelation gleichzustellen, da einer der impliziten Gründe einer Korrelation die Einschränkung der Auswahl zwischen den Baustein- bzw. den Merkmalsausprägungen ist.

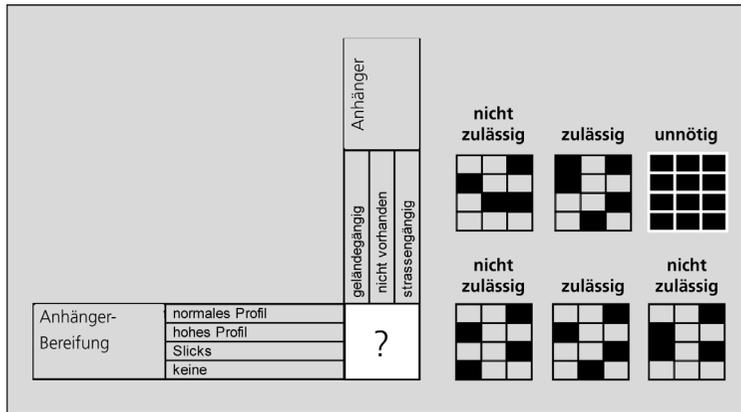


Bild 26: Zulässige und unzulässige Modellierungen der Felder in der K-Matrix

5.2.3.1 Diskussion

Damit die Matrixfelder nach den obigen Regeln korrekt ausgefüllt werden, soll bei der Erstellung der K-Matrix folgende Frage immer präsent sein: welche Bausteine [tmls] in der technischen Sicht werden von welchen Merkmalen [kms] der Kundensicht eindeutig bestimmt? Die Beantwortung dieser Frage führt zur Einschränkung der Auswahl in den Sichten. Dies hat zur Folge, dass die zur eindeutigen Konfiguration nötigen Merkmale minimiert werden.

In der Praxis ist diese durchaus anstrebenswerte Minimierung jedoch nicht immer möglich, da die Kundensicht eine breite Palette von Vorwissen über das Produkt abdecken muss. Oft werden verschiedene, untereinander redundante Merkmale [kms] aufgeführt, sodass möglichst viele Kunden das gewünschte Produkt durch die Verwendung von unterschiedlichen Merkmalen [kms] konfigurieren können.

Die Beantwortung der obigen Frage weist zudem weitere Vorteile auf: Einerseits wird die eher konkrete und produktbezogene technische Sicht als Ausgangspunkt für die Bestimmung des Mappings zwischen den Sichten benutzt. Andererseits ermö-

glicht die Wahl einer Sicht als Ausgangspunkt eine saubere Trennung zu den Produkteigenschaften und schafft eine systematische Vorgehensweise bei der Erstellung der K-Matrix.

		Fahrer		Personengröße			Ausführung			Anhängertyp		Anhängernicht vorhanden			Anhängersstrassengängigkeit		Anhängernormales Profil		Anhängerslicks		Anhängerskeine		Kindersitz			
		Dame	Herr	< 170 cm	170 cm - 185 cm	> 185 cm	Komfort	Renn	Mountain	geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig	rot	blau	gelb	keine	vorhanden	nicht vorhanden	vorhanden	nicht vorhanden						
Anhängerbereifung	hohes Profil																									
	Slicks																									
	normales Profil																									
	keine																									
Anhängertyp	blau																									
	gelb																									
	rot																									
	keine																									
Anhängertyp	Anhängertyp A																									
	nicht vorhanden																									
Bereifung	Alu - hohes Profil																									
	Alu - normales Profil																									
	Alu - Slicks																									
	Stahl - hohes Profil																									
Federung	Federung Typ 1																									
	nicht vorhanden																									
Kindersitz	Kindersitz Typ 1																									
	nicht vorhanden																									
Lenker	Mountain																									
	Renn																									
	Tour																									
Rahmen-Größe	26"																									
	28"																									
	30"																									
Rahmen-Typ	Damen																									
	Herren																									
Schaltung	18-Gang																									
	24-Gang																									
	27-Gang																									

Bild 27: Die K-Matrix am Beispiel eines Ausschnittes eines fiktiven Fahrrades

Die Modellierungsmöglichkeiten einer K-Matrix sind für jedes Produkt unterschiedlich. Der Detaillierungsgrad der Sichten, die inneren Abhängigkeiten und die spezifisch für den Verkauf abzubildende Wissensbasis beeinflussen die Merkmale [kms], die Beschreibung der Bausteine [tmls] und das Mapping der Matrix. Generell kann jedoch gesagt werden, dass eine K-Matrix mit wenigen Korrelationen anzustreben ist (siehe Bild 27). Dadurch wird das Mapping zwischen Merkmalen einzelner

Bausteinen [tmls] in Korrelation gebracht werden. Trifft dies nicht zu, entstehen Lücken im aufzubereitenden Konfigurationswissen.

- Bei einer Korrelation Merkmal-Merkmal [km-km] oder Baustein-Baustein [tml-tml] gilt analog zur K-Matrix: Jede Ausprägung besitzt eine Verträglichkeit mit mindestens einer Ausprägung des verglichenen Elementes.
- Sind alle Ausprägungen eines Elementes [km oder tml] mit allen Ausprägungen eines anderen Elementes [km oder tml] miteinander verträglich, dann entspricht dies einer uneingeschränkten Kombinierbarkeit der Ausprägungen.

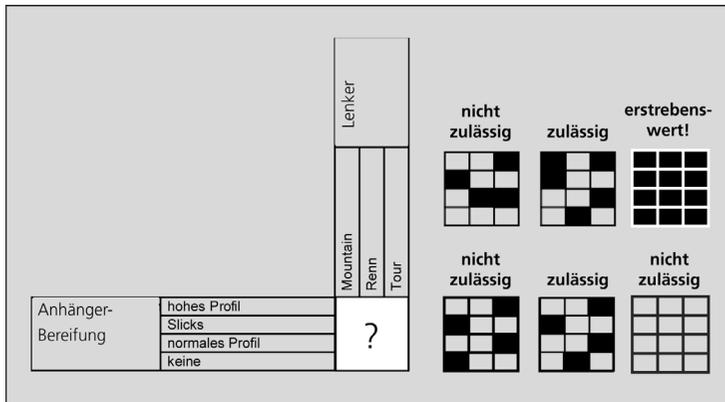


Bild 30: Zulässige und unzulässige Modellierungen der Felder in der V-Matrix

5.2.4.1 Diskussion

Im Sinne eines modularen Produktes und einer optimalen äusseren Variantenvielfalt ist eine mit einer Mehrheit von 1 belegte V-Matrix anzustreben. Eine Matrix mit wenigen 1 ist hingegen ein Indiz für: eine ungeeignete Modularisierung, eine unpassende Strukturierung oder aber auch ein teilweise mit alten Bausteinen versehenes Produkt.

Für jede Sicht wird eine eigene V-Matrix erstellt, folglich besteht eine klassische K- & V-Matrix-Methode aus einer Konfigurations- und zwei Verträglichkeitsmatrizen. Der Aufwand zur Erstellung der K- & V-Matrix beschränkt sich auf die Modellierung der K-Matrix und einer V-Matrix, in der Regel handelt es sich um die V-Matrix der technischen Sicht. Diese Sicht ist aus konkreten Bausteinen gebildet und steht dem physischen, konkreten Produkt am nächsten.

Die andere V-Matrix, in der Regel diejenige der Kundensicht, kann mit einem Algorithmus aus den Daten der bereits erstellten V-Matrix der technischen Sicht und der K-Matrix abgeleitet werden. Dadurch kann insbesondere die Datenkonsistenz gewährleistet und eine redundante Datenhaltung vermieden werden (vgl. (Puls, Bonguiliemi et al. 2002a)). Ein Beispiel einer generierten V-Matrix der Kundensicht ist in Bild 31 gegeben. Diese wird mit den Daten der in Bild 27 und Bild 29 dargestellten K-Matrix und V-Matrix der technischen Sicht berechnet.

		Fahrer		Personengrösse			Ausführung			Anhängerbereifung		Anhängerbereifung				Kindersitz		
		Dame	Herr	< 170 cm	170 cm - 185 cm	> 185 cm	Komfort	Renn	Mountain	geländegängig	nicht vorhanden	strassengängig	rot	blau	gelb	keine	vorhanden	nicht vorhanden
Fahrer	Dame	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Herr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Personengrösse	< 170 cm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	170 cm - 185 cm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	> 185 cm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ausführung	Komfort	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Renn	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Mountain	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhängerbereifung	geländegängig	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	strassengängig	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Anhängerbereifung	rot	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	blau	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	gelb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	keine	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kindersitz	vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	nicht vorhanden	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bild 31: Ein Beispiel der Verträglichkeitsmatrix der Kundensicht eines fiktiven Fahrrades

Die K- & V-Matrix baut auf zwei Arten von Matrizen (vgl. Bild 32) auf: eine, die zwei unterschiedliche Sichten gegenüberstellt und eine, die zwei gleiche Sichten gegenüberstellt. Solche Arten von Matrizen sind auch in der Fachliteratur weit verbreitet. Eine gute Übersicht ist in (Malmqvist 2002) aufgeführt.

Das Konzept der Matrizen ist an sich nicht neu; (Pahl und Beitz 1997), (Birkhofer 1980) und (Riedel, Eversheim et al. 1999) haben ähnliche Ansätze vorgestellt.

Obwohl die K- & V-Matrix auf bekannten Konzepten basiert, besitzt sie einige auszeichnende Eigenschaften: zum einen sind zwei Arten von Matrizen miteinander in Verbindung gesetzt und kombiniert worden, was bis anhin nur im QFD (Akao 1990)

der Fall war. Zum anderen wurden die Matrizen in den Kontext der Produktkonfiguration gestellt, entsprechend angepasst und erweitert.

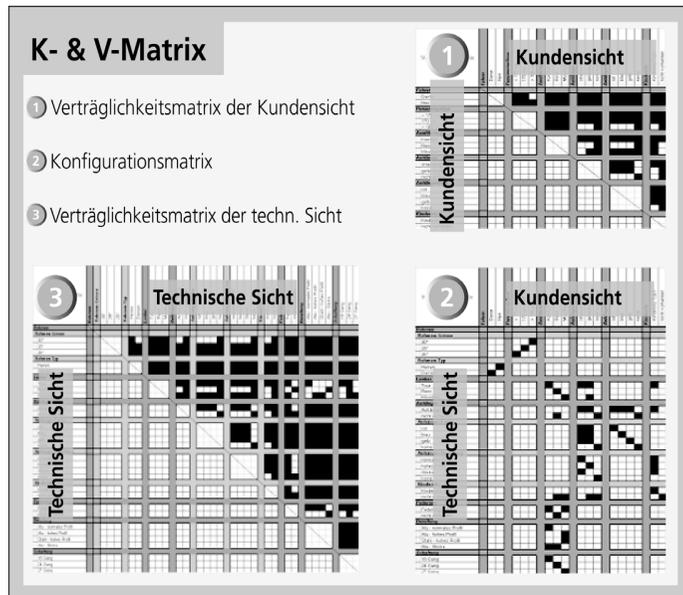


Bild 32: Die V-Matrix der technischen Sicht (links) und der Kundensicht (oben) mit der K-Matrix (rechts unten)

5.3 Modellierung der K- & V-Matrix

Neben der klassischen Ausführung der K- & V-Matrix, wie sie im Kapitel 5.2 vorgestellt worden ist, kommen in der Praxis eine Reihe von Anwendungsbeispielen vor, die zu gewissen situativen Anpassungen der Methode geführt haben. Die Grundsätze der Methode sind dabei jedoch nicht berührt worden.

5.3.1 Anzahl Sichten in der K- & V-Matrix

Wie bereits im Kap. 5.2.1 "Sichten" erwähnt worden ist, genügen in den meisten Fällen zwei Sichten zur Darstellung der nötigen Konfigurationsdaten aus. Manchmal können jedoch weitere Sichten den Informationsfluss zwischen der Verkaufs- und

der Engineeringabteilung unterstützen. Zum Beispiel kann die technische Sicht mit einer CAD-nahen Sicht in Verbindung gebracht werden (siehe Bild 33). Diese CAD-Sicht enthält die zulässigen variablen Werte eines parametrisierten CAD-Modells. Aus der Bestimmung der Kundenmerkmale können die Eigenschaften der technischen Sicht sowie die offenen CAD-Parameter definiert werden. Daraus kann das auftragspezifische 3D-Modell vervollständigt und die auftragspezifische Dokumentation erstellt werden.

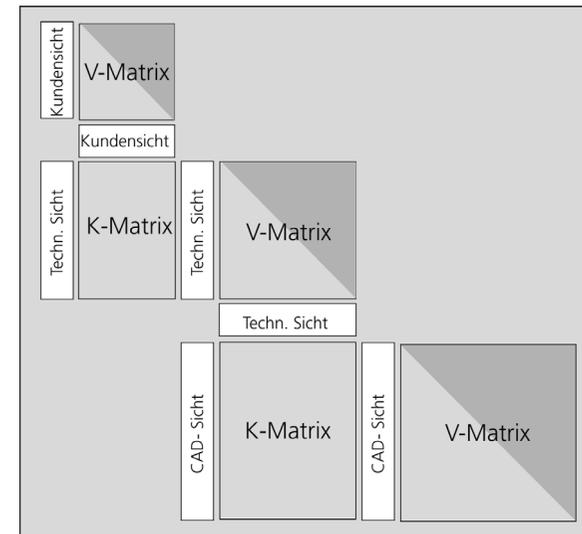


Bild 33: Der Informationsfluss von der Kunden- zur CAD-Sicht

Eine derartige Problemstellung setzt zusätzlich gewisse informationstechnische Überlegungen voraus. Eine solche Lösung, die im Zusammenhang mit der K- & V-Matrix implementiert worden ist, wird in Kapitel 6 vorgestellt.

Die Voraussetzungen für die Erstellung einer CAD-Sicht sind nicht immer gegeben. Zuerst muss ein 3D-CAD System mit den nötigen Schnittstellen vorhanden sein. Weiter muss das Produkt folgende Eigenschaften aufweisen:

- die Anzahl Parameter darf nicht allzu gross sein
- die Ausprägungswerte pro Merkmal sollten in der Regel das Duzend nicht überschreiten
- es kann keine freie Parametrik im abzubildenden Produkt vorhanden sein. Nur

diskrete Werte sind zulässig

- das Objekt darf einen gewissen Komplexitätsgrad nicht übersteigen. Mehrfache Abhängigkeiten sowie komplexe Regeln und Formeln können nicht abgebildet werden.

Werden diese Bedingungen verletzt, wird entweder die Erstellung und die Pflege des 3D-CAD-Modells zu aufwendig oder das Unterfangen scheitert an den Grenzen der K- & V-Matrix (vgl. Kap. 5.3.5 "Grenzen der K- & V-Matrix").

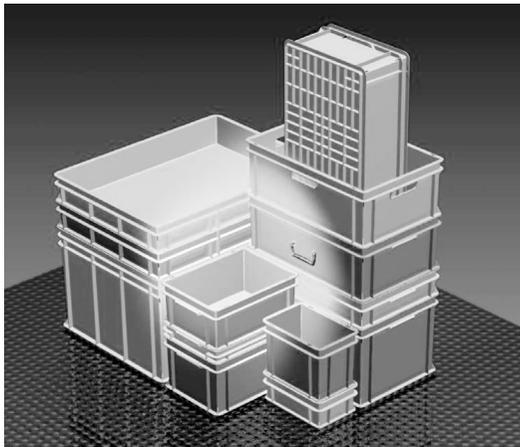


Bild 34: Beispiel einer Behälter-Produktfamilie, die aus einem vollparametrisierten CAD-Modell erzeugt wird (Oppenländer 2002).

Ein Beispiel aus der Praxis, wie die Matrizenanordnung zur Steuerung eines CAD-Systems und zur Generierung verschiedener Produktvarianten eingesetzt werden kann, ist in Bild 34 gegeben.

5.3.2 Selektion versus Konfiguration

Die Produktkonfiguration kann in Kürze wie folgt charakterisiert werden: verschiedene bereits entwickelte Komponenten, welche mit einem Satz von Merkmalen beschrieben werden, können nach bestimmten Regeln kombiniert werden und ergeben eine oder mehrere sinnvolle Produktvarianten (Schierholt und Schönsleben 2001). Während einer Konfiguration können auch neue Kombinationen erzeugt werden.

Steht hingegen eine bestimmte Variantenzahl eines fertigen Produktes zur Auswahl, ist von einer Selektion die Rede. In diesem Fall sind die Eigenschaften der Endprodukte im Voraus bekannt. Die Kundenanforderungen werden mit einer dieser bereits „konfigurierten“ Produktvarianten gemappt.

Die K- & V-Matrix für die Selektion besitzt ebenfalls besondere Eigenschaften. Die technische, produktnahe Sicht besteht nur aus einem Baustein mit beliebig vielen Ausprägungen, die den selektierbaren Endprodukten entsprechen. Die Kundensicht hingegen bleibt gegenüber der „klassischen“ K-Matrix unverändert (vgl. Bild 35).

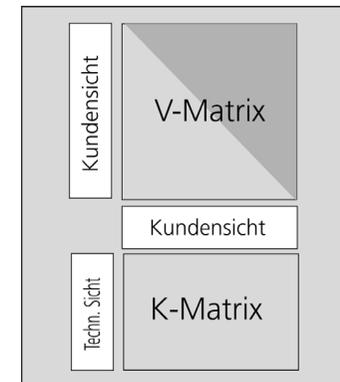


Bild 35: Die Methode am Beispiel der Selektion: eine V-Matrix und eine K-Matrix

Dadurch, dass die technische Sicht aus Gesamtvarianten gebildet ist, entfällt die V-Matrix der technischen Sicht. Folglich besteht die Methode im Fall einer Selektion nur aus einer K-Matrix und aus der V-Matrix der Kundensicht.

5.3.3 Erzeugung von Produktprofilen

Eine der wichtigsten Problemstellungen bei der Modellierung einer K- & V-Matrix ist die Gestaltung der Kundensicht. Aus dem Blickwinkel des Verkaufs ist es relativ einfach, ein Variantenprodukt mit Merkmalen zu beschreiben. Im Verkaufsprozess kann jedoch nicht vorausgesetzt werden, welche Produktkenntnisse der jeweilige Kunde besitzt. Einige Kundenmerkmale können als funktionale Spezifikationen definiert werden, hingegen lassen sich andere Anforderungen besser in Verbindung mit dem physischen Objekt bestimmen. Ein Konfigurationssystem sollte im Stande sein, verschiedene Abstraktionsebenen von Kundenwünschen abzubilden (Tiihonen,

Soininen et al. 1996).

Neben der bereits vorgestellten Kundensicht sowie der technischen Sicht ist die Darstellung von gesamten Produkten mit prägenden Hauptmerkmalen ein weiterer Weg zur Unterstützung des Kunden während des Selektionsverfahrens. Aufgrund einer nicht zu grossen und einfach unterscheidbaren Präsentation solcher vordefinierter Konfigurationen bekommt der Kunde einen ersten Gesamtüberblick über das Produktspektrum. Darüber hinaus besteht grössere Wahrscheinlichkeit, dass der Kunde den Vorschlag unter Berücksichtigung der eigenen Anforderungen beurteilen kann.

Im Rahmen der Verifizierung der K- & V-Matrix wurden auch Szenarien dieser Art berücksichtigt und versucht, diese in die bereits entwickelte Methodik zu integrieren. Daraus ist ein Ansatz definiert worden, die zur Unterstützung der Definition von sogenannten Produktprofilen dienen soll. Die Vorgehensweise steht in diesem Kontext nicht im Vordergrund, sondern die Modellierung der Daten in den Matrizen. Deswegen beschränkt sich die Präsentation der Vorgehensweise auf einige Kerngedanken. Für eine detaillierte Beschreibung dieses Ansatzes wird auf (Sauber 2001) verwiesen.

Im ersten Schritt wird eine Analyse der Bausteine des Variantenproduktes vorgenommen und die prägenden Bausteine definiert. Jede Ausprägung der gewählten Bausteine wird mit den Verkaufszahlen versehen. Daraus lassen sich etliche Ausprägungen aufgrund unwesentlicher Umsätze vernachlässigen. Am Schluss dieser ersten Phase sollten die prägenden Bausteine mit einigen der wichtigsten Ausprägungen übrig bleiben. Daraus werden alle möglichen und realisierbaren Kombinationen über die V-Matrix gebildet. Die Kombinationen werden ausgewertet. Mit Hilfe der Clusterbildung, wie sie aus der Szenariotechnik (Gausemeier, Fink et al. 1996) bekannt ist, werden fünf bis sieben unterschiedliche Produktprofile ermittelt. Diese werden mit einfach verständlichen und charakterisierenden Merkmalen (auch Grobmerkmale genannt) versehen. Beispielsweise wird der Baustein Motor mit dem Merkmal *Drehmoment* nicht mit der Ausprägung *400 Nm, 300 Nm, 200 Nm*, sondern mit den Ausprägungen *sehr starkes, starkes und durchschnittliches Drehmoment* beschrieben. Die Merkmale können nach Bedarf auch direkt aus der Kundensicht übernommen werden.

Da es sich bei der Abbildung solcher Produktprofile auch um ein Mapping zwischen einer kundennahen und einer technischen Sicht handelt, soll die Information in der herkömmlichen K-Matrix dargestellt werden.

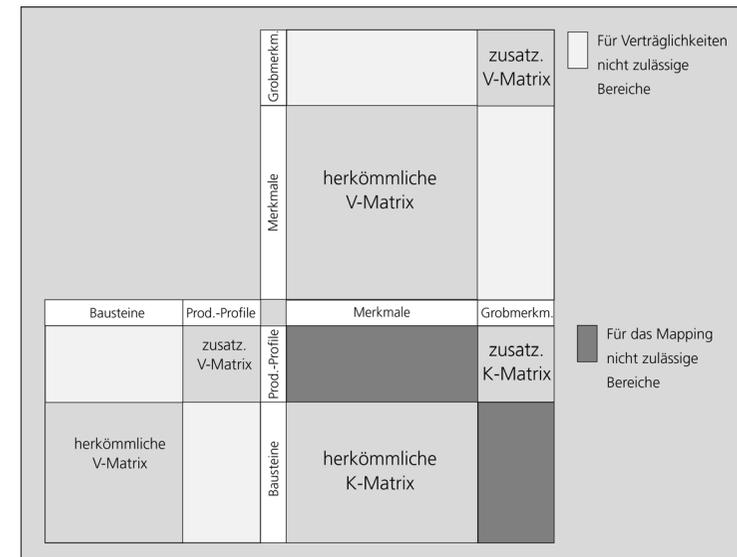


Bild 36: Die K-Matrix mit den Produktprofilen und den Grobmerkmalen

Aus Modellierungssicht gibt es keine Einschränkungen. Die Grobmerkmale in der Kundensicht und die Produktprofile in der technischen Sicht können ohne Einschränkung hinzugefügt werden. Beim Mapping soll aus datentechnischen Gründen jedoch auf ein „gekreuztes“ Mapping verzichtet werden. D.h. die Grobmerkmale sollen nicht mit den Bausteinen und die Produktprofile nicht mit den Merkmalen gemappt werden (vgl. Bild 36). Diese Einschränkung ist auf die Art und Weise, wie die Abfragen im K- & V-Matrix-System ausgelegt sind, zurückzuführen. Ähnlich wie in der K-Matrix, darf in der V-Matrix keine einschränkende Information zwischen den Merkmalen und Grobmerkmalen bzw. zwischen den Baugruppen und den Produktprofilen vorhanden sein. Daher müssen diese Schnittfelder auf Ausprägungsebene mit Verträglichkeiten (Wert =1) ausgefüllt sein.

5.3.4 Unterscheidung von Mapping- und Verträglichkeitswissen

Bei der Vorstellung der K- & V-Matrix wurde eine klare Trennung von Mappinginformation in der K-Matrix und Verträglichkeitsinformation in der V-Matrix gemacht. In der Praxis ist eine solche Trennung vielfach schwierig zu realisieren, weil

graphische Repräsentation ist es ersichtlich, dass keine weiteren, komplexeren Regeln abgebildet werden können. Binäre Information über die Kombinierbarkeit zweier Merkmals- oder Bausteinausprägungen ([kmas] oder [tmlas]) kann immer abgebildet werden.

Höhere Korrelationen wie zum Beispiel: WENN (A) die *Ausführung Komfort* und (B) der *Anhänger geländegängig* gewählt werden, DANN ist (C) der *Kindersitz* nicht mehr wählbar, können nicht in jedem Fall abgebildet werden. Es ist allerdings möglich die 3er Regel (ABC) in drei 2er Regeln (AB, AC, BC) aufzulösen. Durch die Auflösung von 3er Regeln in Paare gehen gewisse Bedingungen unmittelbar verloren, die den Sinn der ursprünglichen Aussage verändern.

Darüber hinaus können auch keine Formeln abgebildet werden, dafür müssen andere graphische Darstellungsweisen (z.B. Ablaufdiagramme) zur Vervollständigung der Daten in der K- & V-Matrix herangezogen werden. Ein Beispiel einer solchen Kombination ist in Kapitel 10 gegeben.

- **Kardinale Werte**

Eine weitere Voraussetzung für die Abbildung von Information in der K- & V-Matrix ist das Vorhandensein von diskreten Werten. Aufgrund der Art der Informationsabbildung in den Sichten der Matrizen ist es unmöglich, beliebige kardinale Werte darzustellen. Dies führte zur Explosion der Ausprägungen, welche die Unhandhabbarkeit des Systems verursachen würde.

Wie eine Wertdiskretisierung vorgenommen werden kann, ist in (Pahl und Beitz 1997) dargestellt. An dieser Stelle soll nur folgende Bemerkung hinzugefügt werden: Falls eine Diskretisierung nötig ist, dann soll diese auf die bereits definierten Merkmale und Ausprägungen abgestimmt sein.

- **Offene Baukästen**

Weiter eignet sich die K- & V-Matrix nur für geschlossene Baukästen (siehe (Pahl und Beitz 1997)). Bei offenen Baukästen existieren prinzipiell zwei Probleme: Einerseits kann in der K- & V-Matrix nur eine Ausprägung [tmla] eines Bausteins [tml] ausgewählt werden. In den meisten Fällen verunmöglicht dies die Modellierung von offenen Baukästen, da solche Produkte durch die Kombination von mehreren gleichen oder ähnlichen Bausteinen charakterisiert sind und zu einem System zusammengestellt werden.

Andererseits beinhalten offene Baukästen oft räumliche Einschränkungen. Zum Beispiel wenn bestimmte Elemente nur in Innenräumen jedoch nicht im Freien kombiniert werden können. Solche Bedingungen können in der V-Matrix nicht

modelliert werden.

In solchen Fällen sollte das Wissen in den einzelnen Elementen modelliert werden und nicht über das gesamte System. Ein solcher Ansatz ist zum Beispiel in (Ackermann 2000) vorgestellt.

- **Die Wissensarten**

In dieser Arbeit wurde die Annahme getroffen, dass nur strukturiertes Wissen abgebildet werden soll. In den frühen Phasen der Produktentwicklung oder in der täglichen Tätigkeit werden vielfach Erfahrungen, Information usw. gesammelt. Solche unstrukturierte Daten sind nur schwer in den Matrizen abzubilden. In (Puls, Bongulielmi et al. 2002b) wird ein Ansatz vorgestellt, wie mit einem zusätzlichen Werkzeug solches unstrukturiertes Wissen abgebildet werden kann.

5.4 Erstellung der K- & V-Matrix

Die Erstellung der K- & V-Matrix kann in Zusammenhang mit verschiedenen Aktivitäten des primären und sekundären Entwicklungsprozesses erfolgen. Der Unterschied zwischen der Erstellung der K- & V-Matrix im primären oder im sekundären Entwicklungsprozess liegt in der Tatsache, dass die Produktfamilie im sekundären Entwicklungsprozess schon im Verkaufsprozess angeboten wird und die für die Erstellung benötigten Daten, insbesondere die Sichten, vorhanden sind. In den nächsten Abschnitten wird auf die Erstellung der K- & V-Matrix eingegangen, wobei zuerst der sekundäre Entwicklungsprozess, der bezüglich der Informationsbeschaffung die einfachere Variante darstellt, behandelt wird.

5.4.1 Erstellung der K- & V-Matrix im sekundären Entwicklungsprozess

Im folgenden Abschnitt wird die Erstellung der K- & V-Matrix dokumentiert. Die vorgeschlagene Vorgehensweise basiert auf verschiedenen Erfahrungen mit Industriepartnern und beschreibt die Reihenfolge, in welcher die K- & V-Matrix in der Regel entsteht (vgl. Bild 38).

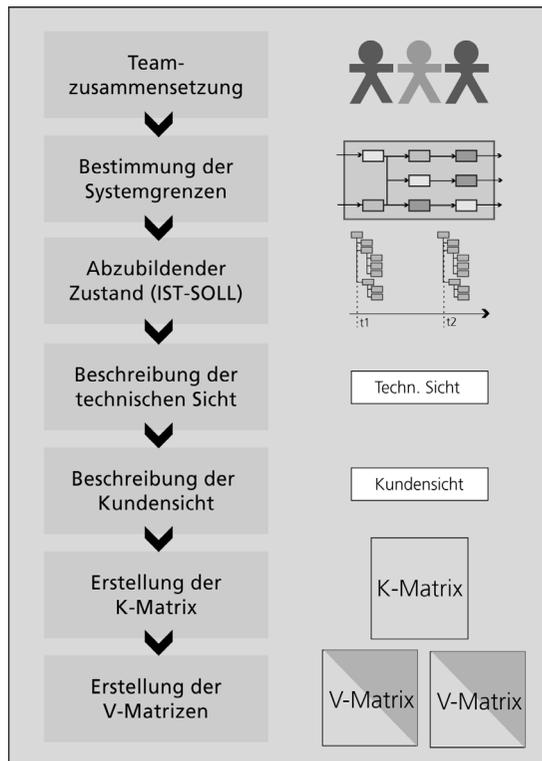


Bild 38: Vorgehensweise bei der Erstellung der K- & V-Matrix im sekundären Entwicklungsprozess

Ein erster wichtiger Faktor bei der Erstellung der K- & V-Matrix betrifft die Zusammenstellung des Teams. Eine starke Vertretung eines der beiden Bereiche - Verkauf oder Technik - würde die Definition der „fremden“, anderen Sicht technik- bzw. verkaufslastig ausfallen lassen. Eine ausgewogene Besetzung von Vertretern aus dem technischen Bereich und aus dem Verkaufs-Bereich stellt somit eine Festforderung für die Entstehung der K- & V-Matrix dar. Die Anzahl Mitglieder soll nicht allzu gross (> 6 Teilnehmer) oder klein (< 3) sein: eine zu grosse Gruppe führt zur passiven Teilnahme bestimmter Gruppenmitglieder und eine zu kleine Gruppe ist zu wenig repräsentativ.

Der erste Schritt bei der Modellierung der K- & V-Matrix besteht in der Bestimmung der abzubildenden Produktfamilie. Vielfach sind die Grenzen zwischen einzelnen Produktfamilien nicht eindeutig, weil Komponenten in verschiedenen Familien eingebaut werden und die Anwendungsgebiete dieser Letzten untereinander sehr ähnlich bis gleich sind. In solchen Fällen ist eine Klassifizierung der Produkte mit einer groben Definition der Module von Vorteil. Diese Klassifizierung dient als Ausgangslage für eine eindeutige Definition der Systemgrenzen der Produktfamilie.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist der zu erfassende Zustand der Produktfamilie. Dieser ist oft nicht eindeutig: Soll der aktuelle Ist-Zustand erfasst werden oder derjenige, wie die Produktfamilie in näherer Zukunft gestaltet werden soll? Den gesammelten Erfahrungen nach ist es empfehlenswert, als erstes den Ist-Zustand zu erfassen und diesen als Basis für die Gestaltung der zukünftigen Variantenprodukte zu nutzen.

Die Beschreibung der Sichten in der Methodik beginnt in der Regel mit der technischen Sicht, da diese dem physischen Produkt näher liegt. Deshalb ist es für die meisten Teilnehmer einfacher, sich das physische Produkt vorzustellen und zu modellieren.

Die Bestimmung der technischen Sicht erfolgt wie folgt:

1. Falls nicht vorhanden: die Definition der Bausteine (Module). Die Definition der Module ist notwendig, wenn eine Produktfamilie ohne den expliziten Gedanken der Modularisierung entstanden und im Laufe der Zeit mit Varianten ergänzt worden ist.
2. Auflistung der Module, ausgehend von den produktcharakterisierenden zu den optionalen Modulen.
3. Auflistung der Ausprägungen zu jedem Modul. Die Ausprägungen werden nach den im Kap. 5.4.4 "Erstellung der K- & V-Matrix im primären Entwicklungsprozess" vorgestellten Variantenarten dargestellt.

Bei der Definition der Kundensicht dient die technische Sicht als Ausgangspunkt für die Modellierung. Zuerst werden die Leistungsmerkmale mit deren Ausprägungen ermittelt und anschliessend die Eigenschaften der Optionen bestimmt, sodass alle in der technischen Sicht vorkommenden Bausteine vollständig bestimmt werden können.

5.4.1.1 Erstellung der K-Matrix

Die Gegenüberstellung der zwei bereits beschriebenen Sichten dient als Voraussetzung für die Ermittlung der Korrelationen. Dies geschieht mit dem Ausfüllen der Felder in der K-Matrix, das, wie bereits in Kap. 5.3.4 "Unterscheidung von Mapping- und Verträglichkeitswissen" erwähnt, in zwei Schritten stattfindet:

1. Nach der Auswahl eines Bausteins in der technischen Sicht werden die Merkmale [kms] bestimmt, welche einen einschränkenden Einfluss auf die Selektion des gewählten Bausteins [tml] besitzen. Auf diese Art und Weise werden die Korrelationsfelder in der Matrix eruiert.
2. Nach dem ersten Schritt kann mit der Bestimmung der gegenseitigen Korrelation der Ausprägungen begonnen werden. Jede Ausprägung der technischen Sicht [tmla], die sich in einem Korrelationsfeld befindetet, wird mit jeder dazugehörenden Ausprägung der Kundensicht [kma] verglichen.

Sind alle Korrelationsfelder korrekt ausgefüllt worden (vgl. Kap. 5.2.3 "K-Matrix"), ist die Erstellung der K-Matrix abgeschlossen.

5.4.1.2 Erstellung der V-Matrizen

Im sekundären Entwicklungsprozess wird in der Regel die V-Matrix der technischen Sicht zuerst erstellt. Dabei ist es von Vorteil, mit den wichtigeren und auszeichnenden Bausteinen zu beginnen. Jede einzelne Ausprägung [tmla] eines Bausteines [tml] wird mit allen anderen Ausprägungen [tmlas] der restlichen Bausteine [tmls] verglichen. Ob die Ausprägungen miteinander verträglich sind oder nicht wird in der Matrix entsprechend festgehalten.

Mittels mathematischer Auswertungsverfahren, die in (Puls 2003) beschrieben worden sind, lassen sich die indirekten Unverträglichkeiten in der Matrix erkennen. Dank diesem Verfahren, müssen zu Beginn nur die Verträglichkeiten der wichtigeren Bausteine eingetragen werden. Weitere indirekte Unverträglichkeiten, beispielsweise von Optionalbausteinen, können automatisch generiert werden. Nach jeder Berechnung ist eine Verifizierung der Resultate sehr wichtig, um abzusichern, dass die modellierte Wissensbasis keine Inkonsistenzen, Widersprüche oder fehlende Verträglichkeitsdaten enthält.

Die andere V-Matrix, in der Regel diejenige der Kundensicht, kann mit den Daten der V-Matrix der technischen Sicht und der K-Matrix berechnet werden (Puls, Bonguiliemi et al. 2002a). Dabei werden drei Berechnungen durchgeführt:

- Ermittlung der Unverträglichkeiten aufgrund der Daten in der ausgefüllten V-Matrix

- Ermittlung der Unverträglichkeiten aufgrund der Daten in der K-Matrix
- Berechnung der indirekten Unverträglichkeiten in der zu definierenden V-Matrix.

Eine detaillierte Beschreibung der Algorithmen der einzelnen Berechnungen ist in (Puls 2003) aufgeführt.

Die Erstellung der K- & V-Matrix, die im sekundären Entwicklungsprozess mit der Produktpflege anfällt, findet vorwiegend im Zusammenhang mit folgenden Aktivitäten statt:

- der Produktstrukturierung und
- der Vorbereitung für die Einführung eines Konfigurators.

5.4.2 Produktstrukturierung im Digitalen Produkt

Die Produktstrukturierung erfolgt typischerweise bei der Einführung des Digitalen Produktes im Unternehmen. Die Strukturierung nimmt eine zentrale Rolle im Produktkonzept des Digitalen Produktes ein und umfasst zwei Aspekte: den Ordnungs- und den Strukturierungsaspekt (siehe Kap. 2.3.1 "Produkte").

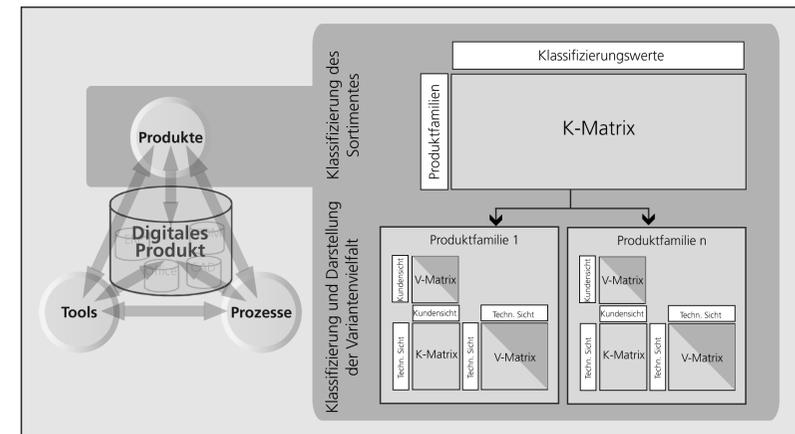


Bild 39: Die von der Methode unterstützten Aktivitäten im Konzept des Digitalen Produktes

Dabei stellt die K-Matrix ein durchaus wertvolles Mittel zur Klassifizierung (Ordnungsaspekt) dar, da diese auf dem Sachmerkmal-Leisten-Prinzip basiert. Dieses ver-

körpert per se den Ordnungsaspekt. Somit können Objekte definierter Ähnlichkeit, wie beispielsweise die Komponenten einer Produktfamilie, in der technischen Sicht abgebildet werden und deren beschreibende Klassifizierungskriterien in der Kundensicht dargestellt werden. Daraus können die Leistungsbreite und -dichte der Ausprägungen abgeleitet, sowie eine Übersicht über die Variantenvielfalt auf Komponentenebene geschaffen werden. Die Verträglichkeitsmatrizen vervollständigen die Methode.

Manchmal ist es sogar möglich, die auszeichnenden Merkmale einzelner Produktfamilien in einer K-Matrix abzubilden (siehe Bild 39). Die Erstellung einer übergreifenden K-Matrix verschafft eine Übersicht über die Produktfamilien und über deren gemeinsame Merkmale. Weiter sind die Leistungsbereiche, die mit den jeweiligen Eigenschaften abgedeckt werden, einfach dargestellt.

Im Sinne einer Ist-Analyse zur Bestandesaufnahme der Variantenvielfalt und zur Einleitung von pflegenden Massnahmen, wie z.B. die Entwicklung neuer oder die Entfernung von ungefragten Varianten, ist die K- & V-Matrix von Nutzen.

5.4.3 Einführungsphase eines Konfigurators

In der Praxis kommt es selten vor, dass die Produktfamilien einfach konfigurierbar sind und dass die Anforderungen an einen Konfigurator, sowie die Wirkungen der Einführung eines solchen Systems durchschaut werden (Pulkkinen 2000). Das Problem liegt in der starken Korrelation zwischen den Produkten, dem Produktbeziehungswissen und dem System, das dieses Wissen abbilden soll. Dieser Zusammenhang wird entweder nicht berücksichtigt oder so angegangen, dass die Produktabbildung an die Eigenschaften des Softwaresystems angepasst wird! Dabei wird eine Analyse der abzubildenden Produkte oft vernachlässigt.

Die K- & V-Matrix leistet einen wichtigen Beitrag in diese Richtung: erstens, weil eine Ist-Analyse der Produkte eine Übersicht über die aktuellen Varianten verschafft und zweitens, weil sie eine Basis für die Definition des zukünftigen Soll-Zustandes darstellt, der im Konfigurator abgebildet werden soll. Aufgrund der V-Matrix können diejenigen Varianten eruiert werden, die viele Unverträglichkeiten verursachen und somit zu einer unnötigen Erhöhung der Wissensmenge führen. Die K-Matrix zeigt hingegen das Leistungsspektrum der Produktfamilie und stellt eine wertvolle Unterlage für die Einleitung von Pflegemassnahmen in der Produktfamilie dar.

Erst nach der Erstellung der K- & V-Matrix macht es Sinn, sich mit der Frage der Abbildung des Wissens in einem Konfigurator auseinanderzusetzen, da Aspekte wie die Wissensmenge und die Wissenskomplexität der Produktfamilie in der Methode

berücksichtigt worden sind und die Pflegeaktivitäten des Produktes (Abgleich Ist-Soll-Zustand) stattgefunden haben.

5.4.4 Erstellung der K- & V-Matrix im primären Entwicklungsprozess

Mit der Erstellung der K- & V-Matrix kann frühestens gegen Ende der Entwurfsphase begonnen werden, wenn auch die technische Sicht modelliert werden kann. Zwar kann die Kundensicht prinzipiell schon während des Markt-Leistungs-Prozesses definiert werden, jedoch die Matrizen können erst mit der Definition der Produktarchitektur und dessen Vielfalt erstellt werden.

Die Modellierung der Sichten erfolgt prinzipiell wie im sekundären Entwicklungsprozess. Während in der sekundären Entwicklung die nötigen Daten in verschiedenen Abteilungen vorhanden sind, ist dies im primären Entwicklungsprozess nicht der Fall. In der Tat weiss nur das involvierte Entwicklungsteam über die Gestaltung der technischen Sicht Bescheid.

In den nächsten Abschnitten wird auf diesen Aspekt fokussiert und gezeigt, wie aus den üblichen Darstellungsarten in der Produktentwicklung die technische Sicht erzeugt werden kann.

5.4.4.1 Varianten-Darstellungsarten in der Produktentwicklung

Im Laufe der Primärentwicklung gilt die Produktstruktur als Mittel zur Darstellung partitiver Beziehungen von Komponenten untereinander, woraus später die Stückliste nach (DIN199/2 1977) erzeugt werden kann.

Im Falle einer Abbildung eines Variantenproduktes spricht man oft von Variantenstückliste, die nach (DIN199/2 1977) eine Zusammensetzung mehrerer Stücklisten darstellt, um verschiedene Gegenstände mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Bestandteile gemeinsam darstellen zu können.

Ausgehend von der Definition der Stückliste ist ersichtlich, dass die für die K- & V-Matrix relevanten Daten in der Produktstruktur enthalten sind. Nach (Montau 1996) auf Seite 128 werden drei grundlegende Konzepte der Variantenbildung in der Produktstruktur erkannt:

- **Teilevariante**

Für ein Unterteil in einer Produktstruktur sind verschiedene Ausprägungen möglich, die jeweils eigene Stammdaten besitzen und durch einen Bauteiltyp verallgemeinert werden.

- **Strukturvariante**

Für ein Oberteil in einer Produktstruktur sind verschiedene Strukturbeziehungen zu Unterteilen möglich, die in ihrer Kombination als Strukturvarianten zusammengefasst werden können.

- **Mengenvariante**

Für eine Strukturbeziehung in einer Produktstruktur sind verschiedene Mengewerte zulässig.

Diese drei Konzepte sollen am Beispiel eines Autos verdeutlicht werden. Wie gewohnt, stehen bei Fahrzeugen verschiedene Antriebsaggregate zur Auswahl, die sich durch ihre Leistung unterscheiden. Vom Standpunkt der Variantenbildung sind die Motoren Teilevarianten der Produktstruktur, weil verschiedene Ausprägungen zur Verfügung stehen und im Verkaufsprozess eine ausgewählt werden muss.

Eine Strukturvariante stellt hingegen die Wahl bzw. den Verzicht eines Schiebedaches dar. Bei Berücksichtigung des Schiebedachs werden in der Tat zusätzliche Komponenten eingebaut.

Die Anzahl Verschraubungen, die zur Befestigung der Felgen an den Achsenmodulen nötig sind, bilden schliesslich Mengenvarianten.

Neben den Variationsmöglichkeiten müssen nach (Montau 1996) auch die Auswahlmöglichkeiten bei den drei Variantenkonzepten geklärt werden, wobei für jedes Konzept grundsätzlich folgende drei Arten zu unterscheiden sind:

- **Festvarianten**

Definitivteile, die immer in gleicher Form in einem Produkt enthalten sind.

- **Mussvarianten**

Alternativteile, die in einem Produkt enthalten sein müssen und sich gegenseitig ausschliessen.

- **Kannvarianten**

Fakultativteile, die zusätzlich in einem Produkt enthalten sein können und unabhängig von anderen Bauteilen sind.

An dieser Stelle muss hinzugefügt werden, dass in der Literatur gelegentlich auch der Begriff Muss/Kannvariante (vgl. (Bartuschat 1995)) auftaucht, die als Alternativteile entsprechend der Mussvariante definiert werden. Diese Detaillierung spielt im Zusammenhang mit dieser Arbeit keine Rolle und wird im Folgenden als Ausprägung

einer Mussvariante betrachtet.

Festvarianten sind für alle Variationsmöglichkeiten (Teile-, Struktur- und Mengenvarianten) zulässig und beschreiben im wesentlichen die variantenneutralen Teile einer Produktstruktur. Mussvarianten sind ebenfalls für alle drei Konzepte benutzbar und ergeben wählbare Alternativen im eigentlichen Sinne. Hingegen bestehen Einschränkungen bei Kannvarianten. Mengenvarianten können logischerweise nur Fest- oder Mussvarianten sein, da eine fakultative Auswahl von Mengen keinen Sinn ergibt (Montau 1996).

Diese Vorstellung verschafft die nötige Übersicht, um den Schritt von der Produktstruktur zur K- & V-Matrix zu verfolgen. Bevor dieser Vorgang beschrieben wird, sollen einige Überlegungen den Kontext der K- & V-Matrix in der Produktentwicklung besser aufzeigen.

5.4.4.2 Varianten-Darstellungsarten in der K- & V-Matrix

Die K- & V-Matrix ist im Gegensatz zur Produktstruktur oder zur Stückliste kein Werkzeug, das ausschliesslich im technisch-administrativen Bereich des Unternehmens gebraucht werden soll. Es soll viel mehr eine Brücke zwischen dem Verkauf und der Technik schaffen. Die für den Verkauf nötige Information soll in einer Art dargestellt werden, dass sie von den technisch wenig versierten Angestellten verstanden wird. Das Ziel der Matrizen ist die Darstellung der Kombinationen einzelner Komponenten und die Überwindung beschreibungstechnischer Unterschiede zwischen Verkauf und Technik. In diesem Zusammenhang ist es naheliegend, dass eine Stückliste oder eine Produktstruktur keine dieser Aspekte unterstützt. Diese enthalten eine Menge an Daten, die den Kunden einerseits nicht interessieren und ihn andererseits in der Regel überfordern. Weiter besitzen solche Dokumente einen Informationsgehalt, der vom unternehmerischen Standpunkt her oft nicht veröffentlicht werden sollte.

Ausgehend von der Produktstruktur sind für die Konfiguration verständlicherweise die variantenbehafteten Module von Bedeutung, da der invariante Teil der Produktstruktur immer vorhanden ist. Eine der zentralen Eigenschaften der K- & V-Matrix ist die Fokussierung auf die variantenbehafteten Bausteine der Produktstruktur. D.h. alle invarianten Elemente der Produktstruktur werden mit seltenen Ausnahmen (siehe Abschnitt „Festvarianten“) von der K- & V-Matrix vernachlässigt. Zudem werden die Daten über die hierarchische Gliederung der Elemente in der Produktstruktur ebenfalls nicht berücksichtigt (siehe Bild 40).

Aufgrund dieses gezielten Informationsverlustes bezüglich der Produktstruktur

werden die Variantenkonzepte, die oben beschrieben worden sind, nicht direkt abbildbar, sondern sind in den Variantenarten implizit enthalten.

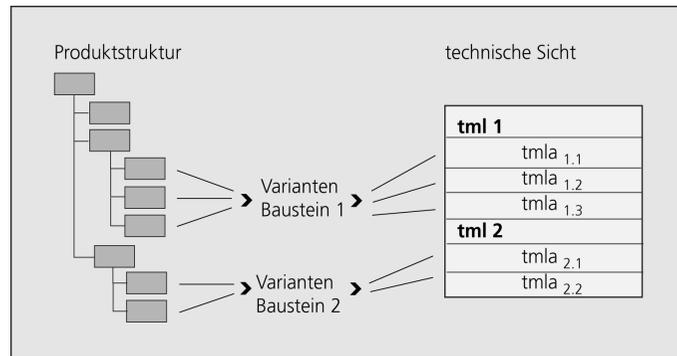


Bild 40: Die Abbildung der technischen Sicht aus der Produktstruktur

In der K- & V-Matrix gibt es im wesentlichen drei Arten, um die Varianten zu beschreiben, die denen der Variationsmöglichkeiten entsprechen:

• **Festvarianten**

Es handelt sich dabei um Bausteine mit einer einzigen Ausprägung (siehe Bild 41). Solche Bausteine werden in der K- & V-Matrix selten verwendet und dienen der Vervollständigung der Daten über die gesamte Produktpalette. Dies ist der Fall, wenn eine Eigenschaft besonders hervorzuheben ist oder zu einem späteren Zeitpunkt mit weiteren Ausprägungen ergänzt werden soll.

Beispielsweise wenn ein Automodell für jede Variante 8 Airbags serienmässig anbietet und gleichzeitig die Konkurrenz noch nicht so weit ist, macht es Sinn eine theoretisch unnötige Festvariante als Differenzierungsmerkmal abzubilden.

Anzahl Airbags	8 serienmässig
----------------	----------------

Bild 41: Beispiel einer Festvariante

• **Mussvarianten**

Mussvarianten werden mit einer Liste der möglichen Ausprägungen dargestellt. Kann die Mussvariante auch mit einer Mengenausprägung kombiniert werden, bestehen im wesentlichen zwei Modellierungsmöglichkeiten (siehe Bild 42):

- Modellierung eines einzigen Bausteins. In diesem Fall werden die verschiedenen, möglichen Mengenangaben mit den Varianten jeweils als Ausprägungsvariante aufgeführt. Z.B. wenn die Anzahl Gänge eines PKWs direkt mit dem Hubraum gekoppelt ist (1.2 mit 4 Gängen, 1.4 mit 5 Gängen).
- Definition verschiedener Bausteine für die spezifische Beschreibung der Anzahl an jeweiligen Ausprägungen. Die Einschränkungen, im obigen Beispiel der Hubraum zu den Anzahl Gängen, werden in der Verträglichkeitsmatrix der jeweiligen Sicht dargestellt.

Antrieb	1.2L - 4 Gänge
	1.4L - 5 Gänge
Hubraum	1.2L
	1.4L
Anzahl Gänge	4 Gänge
	5 Gänge

Bild 42: Unterschiedliche Modellierungsmöglichkeiten von Mussvarianten

Die Wahl einer dieser Modellierungsmöglichkeiten für Mengenvarianten ist vom Produkt abhängig. Die kompakte Darstellung mit Ausprägung und Anzahl ist von Vorteil, wenn die Kombination der Variantenausprägungen nicht mehr als 10 bis 15 Einträge aufweist.

Der Vorteil der ersten Modellierung besteht in der kompakteren Darstellung der gesamten Produktsicht. Die zweite Modellierungsmöglichkeit hingegen ist zu bevorzugen, wenn aus der Kombination der Variantenausprägungen eine Menge an Lösungen entsteht, die sich durch wenige einschränkende Regeln auszeichnet. Beispielsweise macht es keinen Sinn, die Karosserieausführung (Limousine, Kombi, Coupé und Cabrio) direkt mit allen Farben (rot, grün, blau, weiss, schwarz, usw.) zu kombinieren, damit die Karosserie als Gesamtmodul dargestellt werden könnte. Die Anzahl an Karosserieausprägungen wäre bald sehr gross und für den Benutzer unübersichtlich.

• **Kannvarianten**

Kannvarianten werden wie die Mussvarianten aufgeführt: Jede Ausprägung wird separat aufgelistet (siehe Bild 43). Um die fakultativen Teile von den Mussvarianten

zu unterscheiden, werden diese mit einer zusätzlichen Ausprägung „nicht vorhanden“ vervollständigt, welche dem Weglassen eines Bausteins gleich kommt.

Schiebedach	vorhanden
	nicht vorhanden

Bild 43: Beispiel einer Kannvariante

Mit diesen drei Arten von Varianten lassen sich Variantenprodukte beschreiben. Im Vergleich zur Produktstruktur werden in der K- & V-Matrix folgende Daten vernachlässigt:

- die grosse Mehrheit des invarianten Teils der Produktstruktur
- die gesamte Hierarchie der Produktstruktur.

In der K- & V-Matrix werden die Module idealerweise so weit detailliert, dass jede Konfiguration zur eindeutigen Auflösung der gesamten Variantenstückliste führt.

Die K- & V-Matrix enthält dank der V-Matrix die Verträglichkeiten, die in keiner Produktstruktur oder Stückliste vorhanden sind. Der Übernahme der Daten aus der Produktstruktur für die Erstellung der K- & V-Matrix in den späten Phasen der Produktentwicklung steht nichts im Wege. Nur die Vervollständigung der Daten in der V-Matrix muss zusätzlich vollzogen werden. Dies sollte allerdings keine Schwierigkeit darstellen, da es sich nur um eine strukturierte Auflistung von implizit vorhandenem Wissen handelt.

5.4.5 Nutzen der K- & V-Matrix im primären Entwicklungsprozess

Mit der Definition der K- & V-Matrix in der Ausarbeitungsphase wird auch ein qualitatives Mass für die Konfigurierbarkeit der Produktfamilie geschaffen. Insbesondere die V-Matrix der technischen Sicht widerspiegelt diesen Aspekt in den Feldern der Matrix: Je grösser die Menge der mit 1 versehenen Schnittpunkte in der Matrix ist, desto grösser ist die Kombinierbarkeit der jeweiligen Komponenten.

Die Auswertung der graphischen Darstellung ermöglicht die Einleitung gezielter Massnahmen zur Optimierung der Konfigurierbarkeit zu Beginn der Ausarbeitungsphase (vgl. Bild 44) wie zum Beispiel die Eliminierung von sehr spezifischen Varianten aus dem Standardsortiment oder die Integration von Optionalteilen in das Grundprodukt in Form einer Festvariante.

Ein weiterer Nutzen der Methode im primären Entwicklungsprozess liegt in der

rechtzeitigen Erfassung und Aufbereitung der für die spätere Konfiguration benötigten Daten.

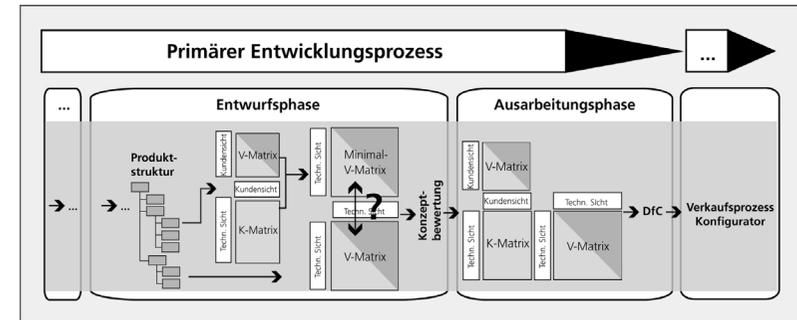


Bild 44: Die Methode in den Phasen des primären Entwicklungsprozesses. Abgebildet ist die Variante, in welcher die Algorithmen zur Berechnung der „Minimal-V-Matrix“ angewendet werden.

In (Puls, Bongulielmi et al. 2002a) werden Berechnungsalgorithmen auf der Basis der K- & V-Matrix vorgestellt. Diese ermöglichen unter anderem auch die Analyse bestimmter Produkteigenschaften. Beispielsweise kann die V-Matrix der technischen Sicht aus der V-Matrix der Kundensicht und aus der K-Matrix berechnet werden. In der Planungsphase des primären Entwicklungsprozesses kann ein solcher Algorithmus wie folgt eingesetzt werden: Durch das Marketing werden die Kundensicht und eine „SOLL-V-Matrix“ der Kundensicht erstellt. Dadurch können die Kombinationen der Produkteigenschaften, die unbedingt erfüllt werden müssen (Festforderungen), definiert werden. Solche Vorgaben geben klar definierte Ziele vor und vermeiden auf diese Art das oft praktizierte *Over-Engineering* in den technischen Abteilungen.

Am Schluss der Entwurfsphase steht die endgültige Produktarchitektur mit der entsprechenden Variantenvielfalt. Daraus kann die technische Sicht abgeleitet und die K-Matrix erstellt werden. Mit diesen Daten kann die „Minimal-V-Matrix“ der technischen Sicht aus den anderen zwei Matrizen berechnet werden. Diese enthält das Minimum an technischen Verträglichkeiten, die nötig sind, um die Vorgaben des Verkaufs in der „SOLL-V-Matrix“ zu erfüllen. Zum gegebenen Zeitpunkt wird die „Minimal-V-Matrix“ mit der aus der Produktstruktur erstellten V-Matrix der technischen Sicht verglichen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die V-Matrix der technischen Sicht nicht mehr Unverträglichkeiten enthält als die vorgegebene „Mini-

mal-V-Matrix“.

Die Auswertung dieser V-Matrizen am Schluss der Entwurfsphase kann als Bewertungskriterium bei der Auswahl verschiedener Varianten einer Produktarchitektur herangezogen werden. Dabei dient der Vergleich zwischen „Minimal-V-Matrix“ und V-Matrix der technischen Sicht als Killerkriterium bei der Auswertung von Produktarchitekturen.

Die K- & V-Matrix versteht sich im primären Entwicklungsprozess als Beitrag zum DfC. Die Bestandteile des Konfigurationsmodells sind namentlich:

- die Komponenten einer Produktfamilie,
- die Kombinierbarkeit der Komponenten sowie
- die funktionale Beschreibung der Komponenten

und können in der K- & V-Matrix abgebildet werden (siehe Bild 45). Jedoch soll daran erinnert werden, dass die K- & V-Matrix in der Regel nur variantenbehaftete Module sowie deren Ausprägungen abbildet. Die invarianten Bausteine der Produktstruktur müssen normalerweise während der *high-level configuration* (vgl. Kap. 4.1.1 "Zwei Konfigurationsphasen in der Auftragsabwicklung") nicht abgebildet werden. Eine weitere Einschränkung bei der Abbildung des Konfigurationsmodells in der K- & V-Matrix ist die Darstellung von einfachen Abhängigkeiten.

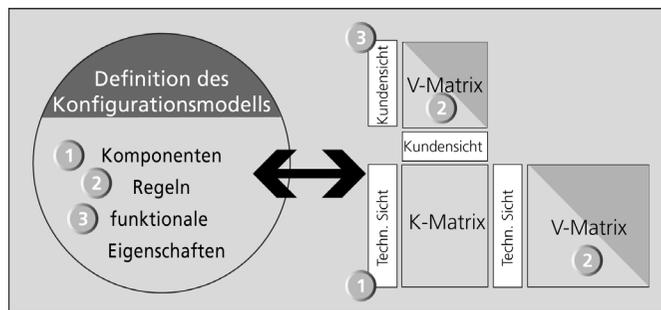


Bild 45: Die K- & V-Matrix als einfache Darstellungsart des Konfigurationsmodells

Die Tatsache, dass nur einfache Abhängigkeiten abgebildet werden können, mag bei gewissen Produkten ein Nachteil sein. Jedoch sollte diese eingeschränkte Abbildungsmöglichkeit die Entwicklungsteams dazu zwingen, möglichst einfache, technisch bedingte Regeln zu definieren. Dadurch wird auch das Ziel einer maximalen Erfüllung der geplanten Kundenanforderungen (äussere Variantenvielfalt) mit einer

minimalen Anzahl an Komponenten (innere Variantenvielfalt) begünstigt.

5.5 Abgrenzung der K- & V-Matrix

Wie bereits im Kapitel 3 vorgestellt, sind diverse Ansätze zur Modellierung von modularen Produktarchitekturen entwickelt worden. Jede Methode fokussiert auf bestimmte Aspekte und rechtfertigt den Gebrauch mit bestimmten Randbedingungen in jeweils fest definierten Kontexten. Am Schluss des vierten Kapitels wurden die Konfigurationsaspekte solcher Methoden untersucht und es wurde aufgezeigt, dass sie nur am Rande oder gar nicht berücksichtigt werden. An dieser Stelle werden die prinzipiellen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen diesen Methoden und der K- & V-Matrix vorgestellt. Weiter wird gezeigt, wie die K- & V-Matrix-Methode mit den anderen Methoden sinnvoll kombiniert werden kann.

5.5.1 Unterschiede und Ähnlichkeiten mit der K- & V-Matrix

Die K- & V-Matrix erhebt den Anspruch intuitiv verständlich und übersichtlich zu sein sowie eine Wissensbrücke zwischen dem Engineering und dem Verkauf zu schlagen. Diese auszeichnende Eigenschaft der K- & V-Matrix ist gleichzeitig auch der Unterschied zu den anderen Methoden. Ausser dem ersten *House of Quality* stellt keine der Methoden eine Brücke zwischen den Ansprüchen und den Anforderungen zweier Abteilungen dar. Die anderen Methoden setzen ihre Schwerpunkte auf die Darstellung unterschiedlicher Aspekte, jedoch immer zur Unterstützung eines Bereichs (z.B. Entwicklung, Marketing). Darüber hinaus setzen solche Methoden eine bestimmte Einarbeitungszeit voraus. Die K- & V-Matrix benötigt hingegen nur wenig, um verstanden zu werden. Aus diesem Grund können die Beteiligten sehr schnell über die abgebildeten Daten diskutieren. Das heisst jedoch nicht, dass alle Beteiligten innerhalb sehr kurzer Zeit auch eine solche Matrix modellieren können!

Ein wichtiger Faktor, der zum einfachen Verständnis beiträgt, besteht in den begrenzten Möglichkeiten, diverse Arten von Information in den Matrizen abzubilden. Das ist beispielsweise beim QFD oder beim DfV überhaupt nicht der Fall und auch bei den anderen matrixbasierten Methoden lässt beispielsweise der Wertebereich mehrere Ausprägungen zu. Dadurch wird auch eine rein graphische Darstellung erschwert. Das ist bei der K- & V-Matrix anders, da nur die Werte [0,1] zugelassen sind und schon mit einem einfachen Kontrast ein qualitativer, graphischer Eindruck vermittelt werden kann.

Die Grundidee der Methoden, die im Kapitel 3 vorgestellt worden sind, ist die Entscheidungsunterstützung im Bereich der Modularisierung, der Vielfalt der Module, sowie der Standardisierung während des primären Entwicklungsprozesses. Der Sinn der K- & V-Matrix ist die Unterstützung des Managements von Konfigurationswissen sowie dessen Verbreitung im Unternehmen.

Aus diesen Überlegungen wird klar, dass die Methoden in ihrem Gebrauch nicht konkurrieren, sondern eher miteinander kombiniert werden sollen, um Synergieeffekte zu erzeugen. Diese These soll anhand einer Positionierung der Methoden im primären Entwicklungsprozess und einer Analyse der Inhalte überprüft werden.

5.5.2 Prozessablauf

Wie bereits erläutert, kann die K- & V-Matrix-Methode erst nach der Definition der Produktarchitektur erstellt werden. Somit können die Matrizen am Ende der Entwurfsphase oder zu Beginn der Ausarbeitungsphase positioniert werden. Durch die unterschiedliche Unterstützung der Aktivitäten im primären Entwicklungsprozess ist aufgezeigt worden, dass keine inhaltlichen und kontextuellen Überlappungen zwischen den vorgestellten Methoden und der K- & V-Matrix existieren (Bongulielmi, Henseler et al. 2002). Es stellt sich nun die Frage, wie diese Methoden mit der K- & V-Matrix kombiniert werden können. Um diese Frage zu beantworten, ist eine prozessnahe Betrachtung der Abläufe der einzelnen Methoden nötig, die in Bild 46 graphisch dargestellt ist.

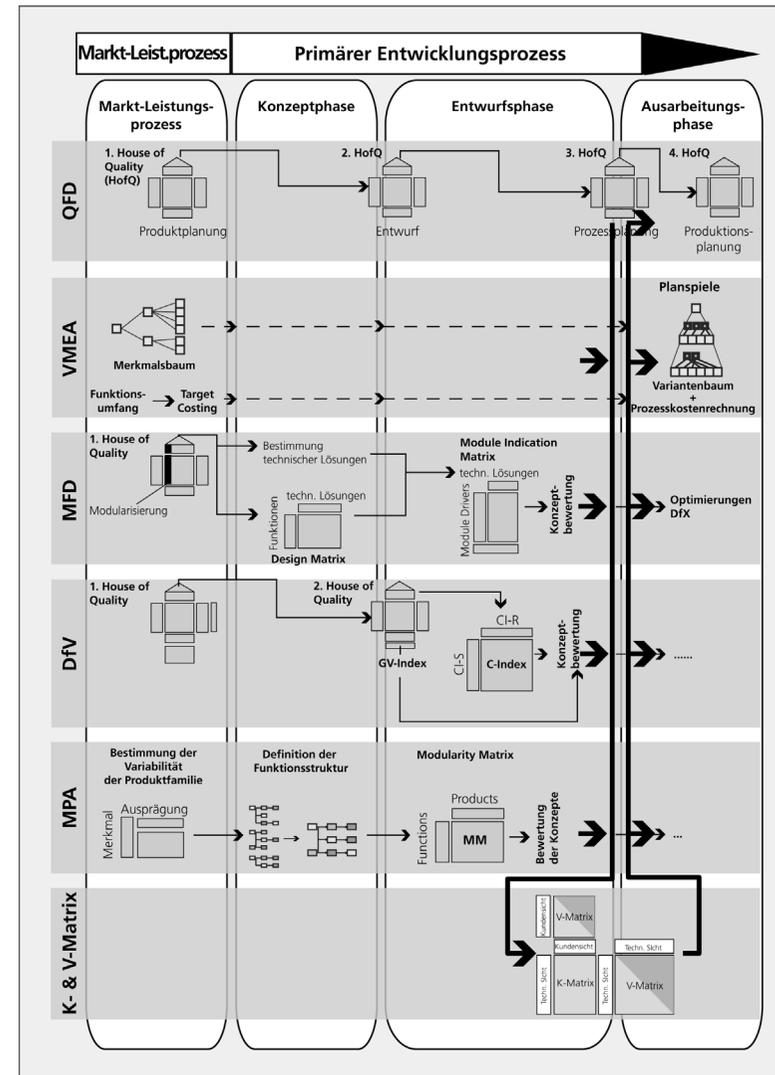


Bild 46: Der Ablauf der einzelnen Methoden im Primären Entwicklungsprozess im Zusammenhang mit der K- & V-Matrix

- **QFD und K- & V-Matrix**

Wird das QFD in der Entwicklung angewendet, kann die Entwicklung des Produktes bis nach dem zweiten *House of Quality* ohne den Einsatz der K- & V-Matrix erfolgen. Hiermit werden die Komponenten und deren Merkmale definiert. Gleichzeitig werden auch die Voraussetzungen für die Erstellung der technischen Sicht in der K- & V-Matrix geschaffen. Nach der Erstellung und der Auswertung der Matrizendaten können Optimierungen an der bereits entworfenen Produktstruktur durchgeführt werden und die Definition des dritten *House of Quality* kann ebenfalls erfolgen. Die abgebildeten Daten in der K- & V-Matrix können für den späteren Konfigurationsprozess aufbereitet und das QFD zu Ende gebracht werden.

- **VMEA und K- & V-Matrix**

Der Merkmalsbaum, der in der Planungsphase mit dem Marketing erstellt wird, ergibt die Kundensicht der K- & V-Matrix-Methode in einer anderen Darstellungsweise.

Da die VMEA keine Anhaltspunkte während der Konzept- und der Entwurfsphase beinhaltet, kann die technische Sicht kurz vor den Planspielen definiert werden. Während der Planspiele kann dann die K- & V-Matrix als Referenz für die Konfigurierbarkeit der Komponenten herangezogen werden. In anderen Worten: Während der Planspiele können die spezifischen Aspekte der Konfiguration mit der K- & V-Matrix berücksichtigt und in die Auswertung der Planspiele miteinbezogen werden.

- **Methoden zur Gestaltung von modularen Produktarchitekturen und der K- & V-Matrix**

Die Kombination von MFD bzw. DfV oder *Modular Product Architecture* mit der K- & V-Matrix stellt kein grosses Hindernis dar. Die Kernaktivitäten der jeweiligen Methoden finden in der Entwurfsphase statt und dienen insbesondere der Entscheidungsfindung in Bezug auf die Produktarchitektur. Nach der Definition der Produktarchitektur sehen die Methoden (MFD, DfV und *Modular Product Architecture*) keine spezifischen Aktivitäten mehr vor. Somit kann die K- & V-Matrix, aufgrund der erzielten Resultate aus der Anwendung der Methoden, definiert werden. In der Ausarbeitungsphase können mittels Auswertung der Daten in der K- & V-Matrix mögliche konfigurationsunterstützende Verbesserungsmassnahmen eingeleitet werden.

5.5.3 Inhaltliche Unterschiede der matritzenbasierten Methoden

In (Malmqvist 2002) wird eine Klassifizierung vorgestellt, welche versucht, unter-

schiedliche matritzenbasierte Methoden nach unterschiedlichen Standpunkten einzuordnen. Insbesondere werden die Typen der möglichen und abbildbaren Korrelationen und deren Modellierungsmöglichkeiten unterschieden. Weiter werden die analytischen Vorgehensweisen aufgelistet, welche aufgrund der Daten in der jeweiligen Matrix möglich sind.

5.5.3.1 Korrelationstypen

Prinzipiell werden drei Korrelationstypen unterschieden (siehe Tabelle 6):

- funktionale Korrelationen, die eine Interaktion zwischen Elementen im System während ihres Lebenszyklusses beschreiben,
- entwicklungstechnische Korrelationen, die unterschiedliche Entscheidungen im Entwicklungsprozess unterstützen und
- strategische Korrelationen, welche spezifische Aspekte des Produktes und der Unternehmensstrategie beschreiben.

Ausser der VMEA, welche den Baum als Darstellungsform vorzieht, können alle Methoden diesen Typen zugewiesen werden. Beispielsweise beschreibt das Dach des QFD die strukturellen Korrelationen zwischen den Funktionen, die für die Integrität des Systems sorgen. Deswegen gehören sie zur Kategorie der funktionalen Korrelationen.

Die im Zentrum liegende Matrix im *House of Quality* hingegen beschreibt ein gewisses Verhalten zwischen Kundenwünschen, Merkmalen und Komponenten zu einem Zeitpunkt in der Produktentwicklung. Das wiederum unterstützt die Entscheidungsfindung von Entwicklungsteams. Dasselbe Verhalten wird in der K-Matrix beschrieben. Deswegen gehören beide Matritzen wie auch die V-Matritzen zum Typ der entwicklungstechnischen Korrelationen. Auf der Ebene der Spezifikationen werden im DfV ebenfalls die gegenseitigen Einflüsse der Komponenten innerhalb des Systems beschrieben. In der *Modular Product Architecture* hingegen werden mögliche Alternativen von Funktionen und Gesamtprodukten aufgezeigt. Obwohl auch hier der Inhalt und der Kontext ein Eigener ist, gehört diese Methode ebenfalls zum Typ der entwicklungstechnischen Korrelationen.

Tabelle 6: Übersicht über die Einteilung der Methoden in den Klassifizierungstypen

Funktionale Korrelationen	Entwicklungstechn. Korrelationen	Strategische Korrelationen
- Dachmatrix QFD - DSM	- Hauptmatrix QFD - K- & V-Matrix - DfV - Modular Product Architecture - (MFD + DSM)	- MFD

Schliesslich werden die strategischen Korrelationen, beispielsweise im MFD, aufgezeigt. Die sogenannten Module Drivers dienen als strategische Bewertungsfaktoren in der Strukturierung der Produktarchitektur.

Um die Lücke zwischen den strategischen und den funktionalen Aspekten zu schliessen, kann das MFD mit der Design Structure Matrix (DSM) (Steward 1981) kombiniert werden. Die Komplementarität der Anwendung beider Methoden ist in (Lanner und Malmqvist 1996) und (Malmström und Malmqvist 1998) beschrieben. (Blackenfelt 2001) zeigt sogar einen Ansatz, um die MIM in eine DSM-ähnliche Form umzugestalten. Dadurch kann die gleiche Auswertungsheuristik der DSM für die Moduldefinition angewendet werden.

5.5.3.2 Modellierungsmöglichkeiten in den Matrixfeldern

Die Modellierungsmöglichkeiten klassifizieren die Inhalte der Matrixfelder. Die K- & V-Matrix-Methode ist in dieser Hinsicht sehr beschränkt: Es wird angezeigt, ob eine Korrelation existiert oder nicht. Die Bedeutung ist in den einzelnen Matrizen jedoch anders: In der K-Matrix ist eine 1 einer Zugehörigkeit gleichzustellen und in der V-Matrix ist sie mit einer Verträglichkeit zu deuten.

Das DfV beschreibt die Korrelationen in den Matrixfeldern in textueller Form. Der Text gibt an, welche Aspekte zweier Komponenten in welcher Form korrelieren (z.B. Energie, Stoff, Information). Die *Modular Product Architecture* hingegen bildet die funktionalen Eigenschaften ab, die für jedes Produkt wählbar sind. Das MFD und die Matrizen des QFD zeigen ähnlich wie die K-Matrix eine Zugehörigkeit, jedoch mit einem grösseren Wertebereich als in der K-Matrix. Dadurch fliesst in diesen Matrixfeldern auch der Aspekt der Bewertung ein, teilweise in qualitativer und teilweise in quantitativer Form.

5.5.3.3 Analytische Vorgehensweise

Im Zusammenhang mit den Inhalten, die in den Matrizen abgebildet sind, werden verschiedene Vorgehensweisen angewendet, um die Daten zu analysieren und zu manipulieren (Malmqvist 2002). Diese Vorgehensweisen werden ebenfalls klassifiziert:

- aufdeckende Methoden ermöglichen das Orten von potentiellen Problemfeldern wie fehlende Funktionen oder die Mehrfachverwendung gewisser Funktionen. Unter dieser Kategorie ist auch das QFD oder die *Modular Product Architecture* einzuteilen.
- weitere Gruppierungen basieren auf der Auswertung von berechneten Indizes wie beispielsweise dem MFD oder dem DfV.
- schliesslich werden analytische Methoden erwähnt, welche die inhaltlichen Aspekte der Korrelationen benutzen, um Strukturierungsmassnahmen einzuleiten. Zu dieser Kategorie gehört die K- & V-Matrix.

Eine inhaltliche Übersicht über die Methoden ist in (Malmqvist 2002) aufgeführt. Für die in dieser Arbeit beschriebenen Methoden dient die Tabelle 7. Dabei werden die gegenüberliegenden Sichten verglichen und in die Felder diejenigen Methoden eingetragen, welche die jeweiligen Sichten abbilden. Die Matrix ist von der Hauptspalte zur Hauptzeile zu lesen.

Tabelle 7: Inhaltliche Klassifikation der Methoden, in Anlehnung an (Malmqvist 2002)

	Eigenschaften Merkmale	Funktionen	Komponenten Module	Produkt-Alternativen -Varianten	Life-cycle Prozesse
Eigenschaften Merkmale	V-Matrix Kundensicht	QFD 1. HofQ	Module Indication Matrix in MFD, K-Matrix		
Funktionen		QFD 1. HofQ - Dach, V-Matrix Kundensicht	QFD 2. HofQ, K-Matrix	Modularity Matrix in Modular Product Architecture	
Komponenten Module			C-Index in DfV, V-Matrix technische Sicht		QFD 3. HofQ
Produkt - Alternativen -Varianten					
Life-cycle Prozesse					QFD 4. HofQ

Alle hier aufgeführten Methoden befinden sich in der Diagonale oder in der oberen Hälfte der Matrix. Das ist damit zu begründen, dass die Elemente der Hauptspalte und -zeile der klassischen Entwicklungsmethodik folgen und sich somit von der abstrakteren Betrachtung der Anforderungen und Funktionen hin zu den konkreten Bausteinen und Gesamtprodukten bewegen.

Diese Einteilung ermöglicht die Betrachtung verschiedener Aspekte matrixbasierter Methoden und unterstützt, die K- & V-Matrix in den richtigen Kontext zu stellen. Dadurch sollten auch die Unterschiede zu den anderen Methoden und die Positionierung der K- & V-Matrix in der Methodenlandschaft klar dargelegt sein.

Es ist gezeigt worden, dass die K- & V-Matrix gewisse Aspekte mit anderen matrixbasierten Methoden teilt. Die Platzierung im Entwicklungsprozess, sowie der inhaltliche Vergleich haben gezeigt, dass die K- & V-Matrix zum einen in der Methodenlandschaft eine klar definierte Rolle übernimmt, die heutzutage nicht in dieser Art abgedeckt wird. Zum anderen kann die K- & V-Matrix mit anderen Methoden zur Gestaltung von modularen Produktarchitekturen eine wertvolle Kombination darstellen, um die Gesamtproblematik der Generierung und Beherrschung der Variantenvielfalt sowie der Konfiguration abzubilden (siehe Bild 47).

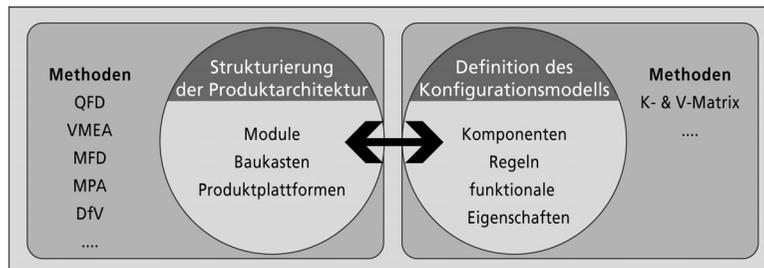


Bild 47: Die Kombination als Weg zur möglichen Beherrschung der Variantenvielfalt im Produktentwicklungsprozess

Der Nutzen der K- & V-Matrix ist vielseitig: einerseits in der Produktentwicklung mit der Fokussierung auf konfigurationsrelevante Daten und andererseits im Produktlebenszyklus als graphische Unterstützung zur Darstellung der Variantenvielfalt einer oder mehrerer Produktfamilien.

5.5.4 Fazit

In den letzten Abschnitten wurde die K- & V-Matrix als Methode für die Verwaltung von Konfigurationswissen vorgestellt sowie die Rolle der Matrix im primären und sekundären Entwicklungsprozess diskutiert.

In Tabelle 8 ist der Erfüllungsgrad der Anforderungen an eine Beschreibungssprache aus Kapitel 4 am Beispiel der K- & V-Matrix bewertet worden. Aus der Bewertung wird ersichtlich, dass die in der K-Matrix enthaltenen Daten die ersten drei Anforderungen in der linken Spalte der Tabelle vollständig erfüllen. Die Möglichkeit Abhängigkeiten zwischen den Komponenten zu definieren wird jedoch nicht ganz erreicht. Dies resultiert aufgrund der beschränkten Möglichkeit einer Korrelationsdarstellung in der V-Matrix.

Die Matrixform als graphische Darstellung hat den grossen Vorteil, dass mit einer grossen Anzahl an Varianten die Übersicht beibehalten werden kann. Der Nachteil dieser graphischen Darstellungsweise besteht in der Unmöglichkeit, konfigurierte Produkte miteinander zu vergleichen, da die dazu notwendigen Daten in den Matrizen verteilt sind. Solche Profile von konfigurierten Produkten sind insbesondere in der Planungsphase von Vorteil, wenn die Segmentierung und die Definition der Leistungsbreite der Produktpalette vorgenommen wird.

Die Unterstützung des primären Entwicklungsprozesses durch die K- & V-Matrix erfolgt erst in den letzten Phasen. Der direkte Einfluss der Daten in der K- & V-Matrix auf die Modellierung der Produktarchitektur ist zwar von sekundärer Wichtigkeit, aber berücksichtigt insbesondere konfigurationsrelevante Aspekte. Ausserdem unterstützen die in (Puls 2003) vorgestellten Berechnungen - basierend auf den Matrizen - dieses Vorhaben ebenfalls. Diese spezifische Eigenschaft ist mit der maximalen Wertung belohnt worden. Die Darstellung der Variantenvielfalt im sekundären Entwicklungsprozess kann als Grundlage für die Gestaltung der zukünftigen Variantenprodukte genutzt werden und dient auf technischer und kommerzieller Ebene als Übersicht.

Die einfachen Abhängigkeiten in der Methodik können von gängigen, kommerziellen Konfiguratoren übernommen werden, da es sich um einfache Constraints handelt.

Die Summe der Wertungszahlen ergeben im Vergleich mit den zu Beginn des Kapitels vorgestellten Darstellungsformen ein verbessertes Bild (siehe %-Satz des Maximalwertes). Eine Mehrheit der Anforderungen konnte mit voller Zufriedenheit erfüllt werden, ein gewisses Verbesserungspotential ist jedoch noch vorhanden. Ins-

besondere über die Beschreibung von komplexeren Regeln und Constraints sind keine Untersuchungen durchgeführt worden, dies aufgrund der Zielsetzung, eine einfache und schnell erlernbare Darstellungsweise zu entwickeln.

Tabelle 8: Erfüllungsgrad der K- & V-Matrix bezüglich der Anforderungen an eine Beschreibungssprache

Anforderung / Gewichtung		K- & V-Matrix	
Strukturierte Beschreibung der Vielfalt	4	9	36
Beschreibung funktionaler Sicht	5	9	45
Beschreibung Komponentensicht	5	9	45
Konsist. Mapping zwischen den Sichten	4	9	36
Beschreibung der Kombinierbarkeit der Komponenten	4	1	4
einfach verständlich und erlernbar	4	9	36
graphische Darstellung	3	3	9
Unterstützung primärer Entw.-prozess	3	9	27
Unterstützung sekundärer Entw.-prozess	3	9	27
Logik in kommerziellen Konfiguratoren abbilden	3	9	27
Summe			292
%-satz des Maximalwertes (342)			85.4

Kapitel 6

K- & V-Matrix-System

Einer der Grundsätze der Realisierung des Digitalen Produktes ist die durchgängige und konsistente Haltung der Produktdaten während des gesamten Produktlebenszyklusses. Dieser Grundsatz ist ohne das Vorhandensein von digitalen Daten kaum umsetzbar. Das gilt auch für die Methode der K- & V-Matrix; deren Möglichkeiten können erst mit einer informationstechnischen Unterstützung in vollem Ausmass genutzt werden. Hierbei soll die Darstellung, Manipulation, Berechnung, Analyse und Abfrage der Daten der K- & V-Matrix ermöglicht und unterstützt werden.

Das Ziel des sogenannten K- & V-Matrix-Systems ist nicht die alleinige Programmierung von Abfragen, die in jedem kommerziellen Konfigurator vorhanden sind, sondern die Erfüllung der im Kapitel 4 aufgeführten Anforderungen, sowie die Nutzung der Matrizendaten. Dadurch soll eine rasche Verifizierung der Daten in den Matrizen ermöglicht sowie eine Basis für die Analyse der Daten hinsichtlich der Produktstrukturierung und -konfiguration geschaffen werden.

In diesem Kapitel wird das Resultat der Implementierung des K- & V-Matrix-Systems vorgestellt. An dieser Stelle werden bewusst die konzeptionellen Entscheidungen und Implementierungsverfahren vernachlässigt. Dieses Kapitel dient vielmehr als Brücke zwischen dem methodischen Teil und dem Interfaceteil, das in der zweiten Hälfte der Arbeit diskutiert wird.

Nach der Vorstellung des Aufbaus der Software-Anwendung werden die zwei Hauptkomponenten der Applikation diskutiert: das Eingabe- und das Abfragetool. Der abschliessende Teil des Kapitels fokussiert auf die engen Zusammenhänge zwischen den Inhalten in den Matrizen und den Abfragen im Abfragetool. Dabei soll der beträchtliche Einfluss der Matrizengestaltung, welche von den Matrizengestaltern vorgenommen wird, auf die Abfragen in der Anwendung gezeigt werden.

6.1 Software-Anwendung

Nach den im Kapitel 4 festgehaltenen Anforderungen muss das K- & V-Matrix-System ähnliche Eigenschaften wie die Methode aufweisen:

- leicht zu verstehen und
- leicht zu pflegen.

Die erste Anforderung setzt voraus, dass einerseits der Umfang von ausführbaren Funktionen limitiert bleibt. Andererseits soll die Bedienoberfläche intuitiv und eindeutig sein.

Die zweite Anforderung impliziert die Auseinandersetzung mit der Installation und den unternehmensspezifischen Anpassungen für jede Installation. In diesem Zusammenhang muss das System schnell und einfach installierbar sein. Das gilt insbesondere auch für die Konfiguration der Bedienoberfläche, die wie die Methode einen generischen Kern aufweisen soll, um eine *plug'n'play*-ähnliche Installation zu ermöglichen. Die Konfiguration des *Graphical User Interface (GUI)* ist eine der aufwendigen und wenig standardisierten Tätigkeiten des Customizings der meisten kommerziellen Konfiguratoren (vgl. (Heiderscheit und Skovgaard 1999)).

6.1.1 Lösung

Das K- & V-Matrix-System soll eine gemeinsame Wissensbasis für Verkauf und Engineering bilden. Wegen der zahlreichen möglichen Szenarien, wie der Verkauf und das Engineering zusammenarbeiten könnten, wurde auf die Einsatzflexibilität grossen Wert gelegt. Die gewählte Lösung basiert auf der *www*-Technologie. Der lokale Einsatz, wie derjenige in einer Intra- oder Internet-Umgebung ist problemlos und ohne Anpassungen möglich. Der Browser dient dabei als Mensch-Maschine-Schnittstelle, ist einer grossen Mehrheit der Benutzer vertraut und meist auf dem Rechner bereits vorhanden.

Als Entwicklungsumgebung wurde ein *Web Application Server* gewählt. Es handelt sich dabei um eine verhältnismässig günstige, verbreitete und kommerzielle

Lösung, die auf Standards aufbaut und auf einer klassischen Client/Server Architektur basiert.

Das K- & V-Matrix-System besteht aus folgenden Komponenten (siehe Bild 48):

- einem Eingabetool zur digitalen Erfassung, Darstellung und Berechnung der Daten der K- & V-Matrix,
- einer relationalen Datenbank zur Speicherung dieser Daten und
- einem Abfragetool zur Nutzung der Daten für den Verkaufsprozess (im Sinne einer Produktkonfiguration).

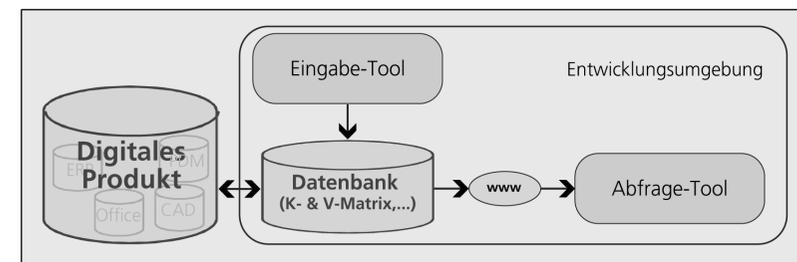


Bild 48: K- & V-Matrix als System

Die Architektur ist durch den *Web Application Server* charakterisiert, der dafür sorgt, dass der Datenaustausch zwischen der Datenbank und dem Interface der Applikation (Eingabe- und Abgabewerkzeug) stattfindet.

Die Datenbank hat eine relationale Struktur und enthält:

- die Matrizendaten,
- Daten über jede Konfiguration und
- administrative Daten für die Applikationssteuerung.

Neben einer Reihe vorhandener Umgebungs-Klassen zur Gestaltung der jeweils zu bewältigenden Aufgaben ist die Anwendung mit einer Serie von applikationsspezifischen Klassen vervollständigt worden (vgl. Bild 49). Diese Klassen erweitern den Standard-Funktionsumfang wie folgt:

- mit optionalen Funktionalitäten, welche in Zusammenhang mit dem unternehmerischen Szenario aufgeschaltet werden können,
- mit der Steuerung des Interface; die nötigen Interface-Bausteine werden durch diese Klassen gesteuert. Das ermöglicht eine schnelle Generierung der Bedienungsschnittstelle ohne grossen Programmieraufwand. Die Steuerungsparameter befinden sich in der Datenbank und können bei erstmaligem Starten der

Anwendung im Eingabetool eingelesen werden.

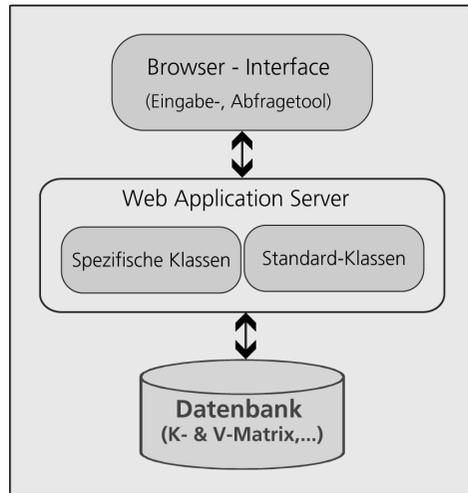


Bild 49: Die Software-Architektur des K- & V-Matrix-Systems

Die Definition von Schnittstellen zu anderen Systemen ermöglicht die Steuerung des Datenflusses von und zum K- & V-Matrix-System. Auf diese Art und Weise können bereits vorhandene Daten übernommen werden und erzeugte Daten weitergegeben werden.

Wie im Fall der Methode besitzt das User-Interface einen generischen Kern, der dessen Gestaltung auch prägt. Jede Anwendung teilt mit allen Anderen eine Serie von graphischen Elementen. Dadurch muss die Frage der benutzergerechten Gestaltung der Bedienoberfläche im generischen Kern nur einmal beantwortet werden. Weiter wird die Zeit der Inbetriebnahme einer neuen Anwendung in einem unternehmerischen Szenario verkürzt. Bei kommerziellen Konfiguratoren nimmt diese spezifische Tätigkeit mehrere Stunden in Anspruch (Heiderscheit und Skovgaard 1999).

Die Anwendung ermöglicht die Definition verschiedener User-Profile. Da das K- & V-Matrix-System eine in sich geschlossene Anwendung ist, mit Eingabe- und Abfragetool, kann mit der Angabe von Rechten der Zugang zu bestimmten Daten gesperrt oder zugelassen werden. In diesem Zusammenhang wird eine strikte Unterteilung zwischen Matrizendaten und Konfigurationen vorgenommen (siehe Bild 50):

- der User 3 hat Zugang zu allen Daten: Matrizendaten und Konfigurationen,
- der User 2 kann die Konfigurationen bearbeiten: Durchführen von neuen Konfigurationen, ändern und löschen von bestehenden Konfigurationen und
- der User 1 kann nur neue Konfigurationen durchführen.

Die Beteiligten, welche die Rollen der User-Profile einnehmen, können je nach Unternehmensszenario unterschiedlich sein.

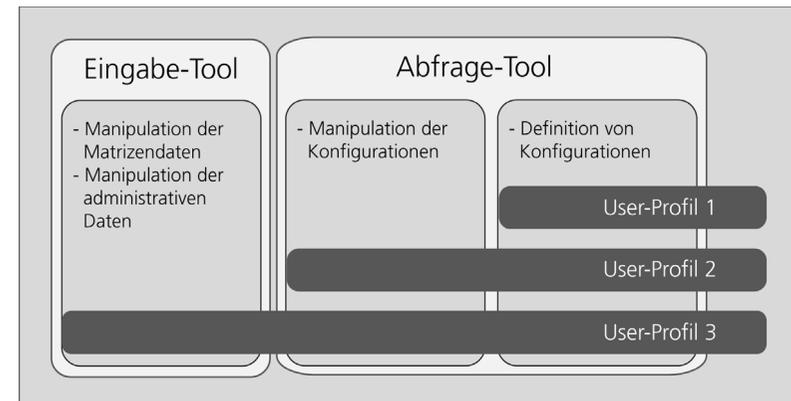


Bild 50: Verschiedene Benutzer-Profile in der gleichen Anwendung

6.2 Eingabetool

Das Eingabetool dient einerseits der Eingabe, Pflege und Verwaltung der Daten basierend auf der K- & V-Matrix. Andererseits werden Bedienungsschnittstellen zur Steuerung des Interface zur Verfügung gestellt. Diese werden insbesondere bei der Definition der Anwendung im unternehmerischen Kontext benutzt.

Das Interface des Eingabetools besteht im wesentlichen aus zwei Masken: eine für die erstmalige Bedienung der Anwendung und eine andere für die Manipulation der Matrizendaten, die von den Entwicklungsteams vorgenommen wird. Dabei werden zwei Gruppen von Funktionalitäten unterschieden: Eine zur direkten Manipulation der Matrizendaten und eine Andere für die Analyse von Daten, wie z.B. der Datenkonsistenz in den Matrizen. Wie der Baum der wichtigsten Funktionen des Eingabetools aufgebaut ist, zeigt die Bild 51.

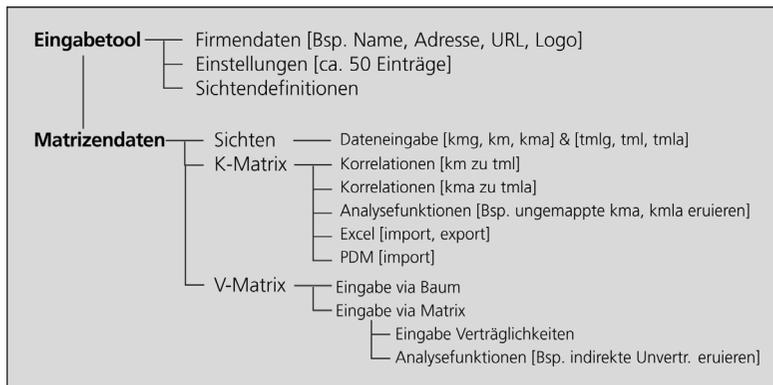


Bild 51: Funktionsbaum des Eingabetools. Eigenständige Fenster sind fett angegeben

6.3 Abfragetool

Ziel des Abfragetools ist es, die Daten der K- & V-Matrix für eine Konfiguration des Produktes nutzen zu können. Dies kann insbesondere für den Verkaufsprozess von Bedeutung sein. Wie beim Eingabetool wurde das Ziel eines möglichst einfach und intuitiv zu bedienenden Interfaces verfolgt, damit die Akzeptanz von Methodik und System möglichst gross ist.

Der Funktionsumfang im Abfragetool ist grösser als im Eingabetool. Der Kern der Funktionalitäten besteht - neben der Selektion von Ausprägungen in beiden Sichten der Matrizen - aus:

- dem Aufrufen und Löschen bestehender Konfigurationen und
- der Zusammenfassung der Konfiguration und Kontaktaufnahme mit der Institution, welche die Daten pflegt und veröffentlicht.

Weiter wurden bei diversen implementierten Anwendungen, die eine oder andere Funktionalität hinzugefügt. Diese können jederzeit aufgeschaltet werden und sind bei jeder Anwendung in den spezifischen Klassen integriert, welche über die Einstellungen im Eingabetool gesteuert werden können. Eine Übersicht des Umfanges der Hauptfunktionalitäten des Abfragetools ist in Bild 52 dargestellt.

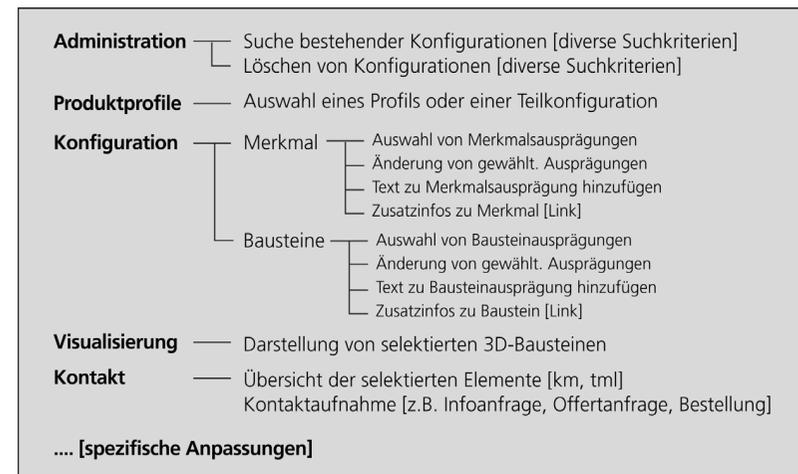


Bild 52: Funktionsbaum des Abfragetools. Eigenständige Fenster sind fett angegeben

6.3.1 Auswahl von Merkmalen und Bausteinen

Das Abfragetool gewährt viele Freiheiten bezüglich der Vorgehensweise bei der Produktkonfiguration. Diese Freiheiten sind als Standardwerte vorgegeben und können bei jedem Einsatz in einem bestimmten unternehmerischen Kontext eingeschränkt oder umgestaltet werden.

Beispielweise sieht das Abfragetool die zwei üblichen Sichten vor. Weisen jedoch die Matrizen eines Unternehmens drei Sichten (vgl. Kap. 5.3.1 "Anzahl Sichten in der K- & V-Matrix") auf, kann dies per Steuerungselement im Eingabetool erweitert werden. Dasselbe gilt für die Reihenfolge der Konfiguration: Die *Defaulteinstellung* sieht vor, dass der Benutzer in einer der beiden Sichten ein beliebiges Merkmal auswählen und die entsprechende Ausprägung dazu bestimmen kann. Dies kann jedoch nach Bedarf eingeschränkt werden.

Die Auswahl von Merkmalen oder Bausteinen und die Selektion der entsprechenden Ausprägungen kann in jeder Sicht und zu jedem Zeitpunkt vorgenommen werden. Dabei arbeitet der Benutzer immer in einer Sicht und wählt die entsprechenden Elemente aus. Bei jeder Auswahl werden die gewählte Ausprägung eingeblendet und die restlichen noch wählbaren Ausprägungen der anderen Elemente angezeigt.

Diese Vorgehensweise ist einer sukzessiven Einschränkung des Lösungsraumes gleichzustellen. Vorausgesetzt, dass die Matrizendaten konsistent sind, steht zu Beginn der Konfiguration der ganze Lösungsraum zur Verfügung. Dies entspricht der Gesamtheit der kombinierbaren Lösungen. Nach jeder Auswahl scheidet nicht verträgliche, unmögliche Kombinationen aus. Der Lösungsraum wird entsprechend reduziert und führt automatisch zur Fokussierung auf eine oder eine kleine Menge an Lösungen.

Diese Art der Verträglichkeitsprüfung hat den Vorteil, die Ausprägungsauswahl immer im möglichen Kombinationsraum vorzunehmen. Gleichzeitig bedingt diese Art der Prüfung eine gezielte, überlegte Vorgehensweise bei der Auswahl von Merkmalen und Bausteinen.

Hierbei sollte der Benutzer, wenn die kontextuelle Lage es erlaubt, die aus seiner Sicht wichtigsten und relevantesten Merkmale definieren, da diese einen wichtigen Einfluss auf das weitere Vorgehen haben. Die relevantesten Merkmale sollten zu Beginn selektiert werden. Dadurch wird gewährleistet, dass die Auswahl der einflussreichen Merkmale nicht diejenige der relevantesten Merkmale verunmöglicht. Auf diese Art und Weise kann mit der Bestimmung einiger, aus Benutzersicht wichtiger Elemente die Konfiguration in die richtige Richtung gelenkt werden.

Wie die Auswahl der Ausprägungen in den Sichten mit den Matrizendaten zusammenhängt, wird im nächsten Abschnitt diskutiert.

6.3.2 Zusammenhang Matrizen-Tool

Ein Ziel des K- & V-Matrix-Systems ist der enge Zusammenhang zwischen den Matrizen und dem Tool. Da die graphische Notation der Methode eine Brücke zur Externalisierung des impliziten Konfigurationswissens darstellt, soll dieses Wissen in der Anwendung steuerbar sein. Die Steuerung der eingeblendeten Daten soll durch deren Manipulation in den Matrizen nachvollziehbar sein. Nur dadurch kann der ursprünglichen Idee der einfachen und verständlichen Handhabung des Konfigurationswissens nachgekommen werden.

Da das Abfragetool jeweils nur die Selektion einer Ausprägung eines Elementes [km oder tml] in einer Sicht zulässt, werden nach jeder Auswahl die Verträglichkeiten in derselben Sicht überprüft. Nach der Abfrage wird die Spalte oder Zeile in der V-Matrix ausgewählt, welche die vom Kunden selektierte Ausprägung enthält. In dieser Zeile sind die Verträglichkeiten mit den anderen Ausprägungen beschrieben. Die Unverträglichkeiten werden dabei ausgeschlossen (siehe Bild 53 unten links oder oben rechts).

Findet eine zweite Auswahl statt, wird dieses Vorgehen mit den verbleibenden, verträglichen Ausprägungen wiederholt.

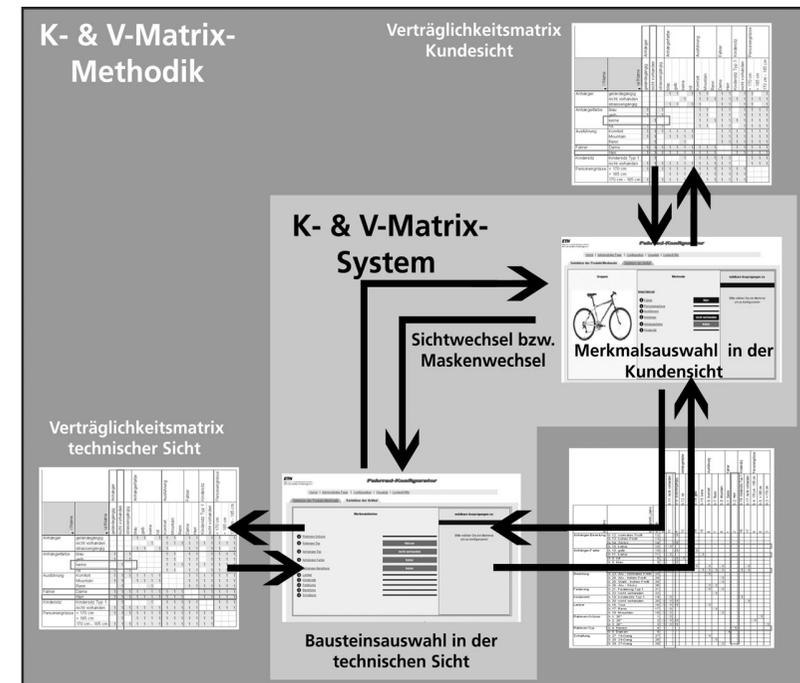


Bild 53: Zusammenspiel zwischen den Daten in den Matrizen und dem System

Möchte der Benutzer von der Kundensicht in die technische Sicht oder umgekehrt wechseln, kann er dies jederzeit tun. Im Hintergrund findet das Mapping zwischen den beiden Sichten bei jedem Sichtwechsel statt (siehe Bild 53 in der Mitte).

Die Auswahl in der neuen Sicht wird aufgrund der bereits erfolgten Selektionen eingeschränkt sein. Bei einer Ausprägungsauswahl in der neuen Sicht wird die restliche, mögliche Verträglichkeitsmatrix überprüft und entsprechend reduziert.

Im Extremfall enthält der Lösungsraum eine Ausprägung für jedes Merkmal bzw. für jeden Baustein. Dieser Zustand kann entweder am Ende einer Konfiguration oder im theoretischen Grenzfall auch nach der Auswahl einer einzigen Ausprägung eintreffen.

Dieser enge und einfache Zusammenhang mit den Matrizendaten vereinfacht auch die Überprüfung der Daten selbst. Tritt während einer Konfiguration ein Fehler auf, kann dies direkt in den Matrizendaten nachvollzogen werden. Dies geschieht mittels Prüfung jeder Auswahl mit den Matrizen. Wird eine Ausprägung ausgewählt, wird die Verträglichkeitsmatrix überprüft; findet ein Sichtwechsel statt, wird die Konfigurationsmatrix betrachtet.

Im Kap. 6.1.1 "Lösung" ist bereits angedeutet worden, dass eine der auszeichnenden Eigenschaften des K- & V-Matrix-Systems das zum grossen Teil generische Interface ist. Diese Charakteristik der Bedienungsschnittstelle kommt insbesondere im Abfragetool zum Tragen, wo die Anzahl an für den Benutzer wählbaren Elementen in jeder Anwendung unterschiedlich ist.

Das Interface stellt somit auch eine der Besonderheiten der Anwendung dar und unterstützt die gesteckten Ziele nach einem einfachen und intuitiv zu bedienenden Interface. Die zentrale Wichtigkeit dieser Aspekte wird von (Wüpping 2001a) ebenfalls unterstrichen. In der Tat gehört aus Anwendersicht die Bedienfreundlichkeit der Konfigurationsanwendung zum entscheidenden Faktor für die spätere Akzeptanz. Die Optimierung der Funktionalität und die Anwenderfreundlichkeit sind entscheidend als Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz als Vertriebswerkzeug.

In den nächsten Kapiteln werden die Aspekte der Interfacegestaltung in einer www-Umgebung untersucht und es wird diskutiert, wie das Interface im Kontext des Projektes konzipiert und implementiert worden ist.

Kapitel 7

Interfacegestaltung: eine Einführung

7.1 Einleitung

Durch die sich immer deutlicher abzeichnende Offenheit der Computer-Systeme ist auch der Ruf nach einer weltweiten Vereinheitlichung der Mensch-Rechner-Schnittstellen lauter geworden. So sind in den letzten Jahren Normen und Richtlinien entwickelt worden, die dieser Forderung nachkommen. Darüber hinaus gibt es eine ganze Reihe von Bestrebungen seitens der Hersteller, ihre Produkte benutzergerecht nach bestimmten Grundsätzen und Regeln zu gestalten. Die vollständigste und international anerkannte Norm im Bereich der Bildschirmarbeit ist die ISO-Norm 9241 (ISO9241 1992-2000).

Im Allgemeinen sind drei Aspekte der Ergonomie bei der Gestaltung einer Anwendung zu berücksichtigen: die Funktionalität, die Attraktivität und die Individualität (Felix 1997). Unter der Funktionalität wird die Übereinstimmung der einzelnen Funktionen mit der zu erfüllenden Aufgabe und die Einfachheit, mit der die Aufgabe erfüllt werden kann, verstanden.

Unter Attraktivität kann das spontane Gefallen am Produkt verstanden werden. Es ist bekannt, dass Kaufentscheidungen nicht allein von der Funktionalität des Produktes bestimmt werden.

Individualität steht für die Tatsache, dass die Schnittstelle zum Benutzer dessen Fähigkeiten, die Vorbildung und die Einsatzbereitschaft berücksichtigen muss. Deshalb müssen einfache Handlungen als solche auch "einfach" umgesetzt werden; sie dürfen nicht in beliebig viele Teilschritte zerlegt werden.

7.1.1 Handlungsweise des Benutzers

Um die richtigen Handlungen beschreiben zu können, ist es für den Gestalter von Vorteil, wenn er sich ein konzeptionelles Modell der Aufgabe erstellt. Dadurch analysiert er die Aufgabe unter Berücksichtigung der Benutzeranforderungen. Denn das konzeptionelle Modell muss für den Benutzer angemessen sein und die wichtigsten Aspekte der Bedienung enthalten. Im Idealfall sind das konzeptionelle und das Benutzermodell identisch (Norman 1988). Dasselbe Ziel wird mit einer ähnlichen Vorgehensweise im ontologischen Ansatz in (Bonsiepe 1995) verfolgt.

Bei der Entwicklung von interaktiven Systemen ist zu berücksichtigen, dass der Benutzer nicht in Operationen, sondern in Zielen handelt und denkt. Steht er vor einer Aufgabe, sind die Werkzeuge von geringerer Bedeutung, und Operationen, die nicht direkt zum Ziel führen, erfordern einen erheblichen Lernaufwand und werden schnell vergessen.

Konzepte unterstützen die Erstellung des Benutzermodells, da diese eine effektive Auseinandersetzung mit der Umwelt voraussetzen und ausschlaggebend für das Erreichen eines Zieles sind (Krueger 1998). Je besser und klarer die abzubildende Welt ist, desto einfacher wird der Benutzer mit dem System interagieren können. Einige typische Symptome einer gestörten Interaktion manifestieren sich nach (Preece 1993) in: einer eingeschränkten Produktivität, schlechter Arbeitsqualität und mühevoller Verwaltung und Übersicht der Aufgaben.

Bei der Entwicklung von interaktiven Systemen sollte das bereits bestehende Benutzerwissen unterstützt werden. Die Fertigkeiten des Benutzers sollten bei der Konzipierung der zu lösenden Aufgabe sowie der Interaktionsmittel berücksichtigt werden. Menschen interpretieren sämtliche wahrgenommenen Ereignisse und Objekte in einem bestimmten Kontext und zwar entsprechend ihres individuellen Wissens und ihrer Erfahrung (Stary 1996). Deswegen sollte grundsätzlich auf bekannten Konzepten aufgebaut werden, zum Beispiel auf den klassischen Interaktionsbausteinen (z. B. Buttons, Pop-Up-Listen, Browser usw.).

7.1.2 Interaktion im Internet

In den ersten Jahren der Verbreitung des Internets wurden viele Seiten nach Belieben entworfen, ohne die grundlegenden Bestimmungen und Normen zu beachten. Dadurch muss sich der Benutzer bei jeder Anwendung ein neues Modell der Interaktion aufbauen. Dieser Umstand verschärft sich bei E-Commerce-Anwendungen, da die Einhaltung von Richtlinien in diesem Kontext von zentraler Bedeutung ist. Ihre Verletzung führt oft dazu, dass der Benutzer die Anwendung verlässt, was einen direkten Kundenverlust darstellt.

7.1.2.1 Modelle technischer Anwendungen

Obwohl der starke Zuwachs des E-Commerce um die Jahrtausendwende eine grosse Anzahl von Anwendungen hervorgebracht hat, hat sich dabei kein überragendes Modell durchgesetzt, das eine anerkannte Struktur einer Applikation beschreibt. Im Gegenteil, verschiedene Anwendungen sind aufgrund der schlechten Bedienungsschnittstelle kläglich gescheitert (siehe (N.N. 2000) und (Felix 2000a)). Im Internet sind heute noch wenige Vorläufer für anspruchsvollere Anwendungen zu finden, darunter fallen beispielsweise Konfiguratoren von Autos, E-Shops oder E-Banking-Anwendungen.

Eines der zentralen Probleme bei der Interfacegestaltung liegt in den eingeschränkten Platzverhältnissen. Die Gestaltung der Benutzeroberfläche nimmt somit eine noch wichtigere Rolle ein. Diese soll nicht nur die Funktionalität und die Aufgabenerfüllung unterstützen, sondern auch ein Mittel für die Priorisierung und die Gewichtung der Information auf dem Bildschirm darstellen, die sich schliesslich mit der Lenkung der Aufmerksamkeit (Abschnitt "Die Objektwahrnehmung") beim Benutzer offenbart. Tufte beschreibt in treffender Art und Weise die Interaktion zwischen Information und Gestaltung:

Confusion and clutter are failures of design, not attributes of information. And so the point is to find design strategies that reveal detail and complexity- rather than to fault the data for an access of complication. Or, worse, to fault viewers for a lack of understanding (Tufte 1990) auf Seite 53.

Ein gutes Beispiel für eine gut strukturierte, dichte Informationsdarstellung stellt eine typographische Landkarte dar. Durch die Schichtung von verschiedenen, klar unterscheidbaren Ebenen ergibt sich die Typographie jeder beliebigen Landschaft. Die Landkarte zeigt eindrücklich die praktische Umsetzung eines weiteren Prinzips (Tufte 1990):

Information consists of differences that make a difference (Seite 65).

In diesem Kontext scheint klar, dass sich noch keine Modelle für technische Anwendungen im Internet durchgesetzt haben. Mögliche Vorbilder sind im breiten Bereich der Wissenschaften, die sich mit der Information und der Kommunikation beschäftigen, zu suchen.

Dieses einleitende Kapitel dient als eine Einführung in die Interfacegestaltung und ist als Beitrag zu verstehen, um die in der Literatur breit verstreuten Richtlinien der Interfacegestaltung im spezifischen Fall des Internets zusammenzuführen.

7.2 Richtlinien zur Gestaltung interaktiver Systeme

Die wichtigste internationale Norm, die sich im weitesten Sinn mit der Bildschirmarbeit auseinandersetzt, ist die ISO 9241 (ergonomics requirements for office work with visual display terminals). Diese kann als Dachnorm für jegliche interaktive Systeme betrachtet werden. Dem Anspruch nach einer allgemeingültigen Aussage wird diese gerecht, indem die einzelnen Kapitel einen hohen Abstraktionsgrad bewahren. Im Teil 10 der ISO 9241 (ISO9241-Teil10 1996) werden sieben Kriterien zur benutzerfreundlichen Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle definiert (vgl. auch (Felix 2000b) S.44ff, (Ilg 1999) S.30ff und (Stary und Riesenecker-Caba 1999) S.139ff), die im spezifischen Fall auf die Gestaltung von Web-Anwendungen übertragbar sind.

Weitere Faktoren, die bei der Gestaltung sowie bei der Benutzung eines Systems eine Rolle spielen, sind in den *Styleguides* der bedeutendsten Software-Hersteller (Apple, Microsoft, IBM, Sun u.v.a.) festgehalten. Darin werden jedoch nur die klassischen Elemente der Interfacegestaltung von Softwares beschrieben. Internet-spezifische Faktoren sind in unzähligen Büchern über die Gestaltung von Web-Sites veröffentlicht worden.

In den nächsten Absätzen werden einige ausgewählte Richtlinien dargestellt, die aus den allgemeinen Kommunikationswissenschaften stammen. Dabei werden folgende drei Gruppen unterschieden:

- strukturelle Aspekte der Seitengestaltung, wie z.B die Vernetzung, die Struktur und die Orientierung,
- formale Aspekte, wie z.B. formale Metaphern, die Farben, die Zeichenwahl und
- visuelle Aspekte, wie der Erstkontakt und die Aufmerksamkeitslenkung des Benutzers.

7.2.1 Strukturelle Aspekte

• Seitenvernetzung

Die Menge an Daten, die im Allgemeinen in einer Anwendung darzustellen sind, übersteigt die menschliche Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses, das nur einige Seiten speichern kann (Wandmacher 1993). Deswegen muss die gesamte Information in kleine Portionen unterteilt werden. Die Organisation der Information soll nach Themen und nach der Priorisierung der Inhalte realisiert werden und einer hierarchischen Struktur folgen. Diese Struktur ist als *Top down* zu verstehen: Generelle Information sind in den oberen und spezifische Inhalte in den unteren Hierarchie-Ebenen zu finden. Diese inhaltliche Unterteilung in Themen schafft eine strukturelle Übersicht und erleichtert den Umgang (suchen, lesen, wiederfinden) mit den Daten.

Zumal im Internet eher kurze Seiten und kurzgefasste Texte gelesen werden, ist kleinen Informationsportionen eine noch grössere Bedeutung zuzuschreiben. Die hierarchische Gliederung ist dabei mit der Informationsdichte korreliert. Je tiefer die Position in der Hierarchie ist, desto kleiner sollte die relative Komplexität dergleichen sein. D.h. tiefer positionierte Seiten sollten sich durch den Inhalt und nicht durch die Darstellung von organisatorischen Themen auszeichnen (Lynch 2000).

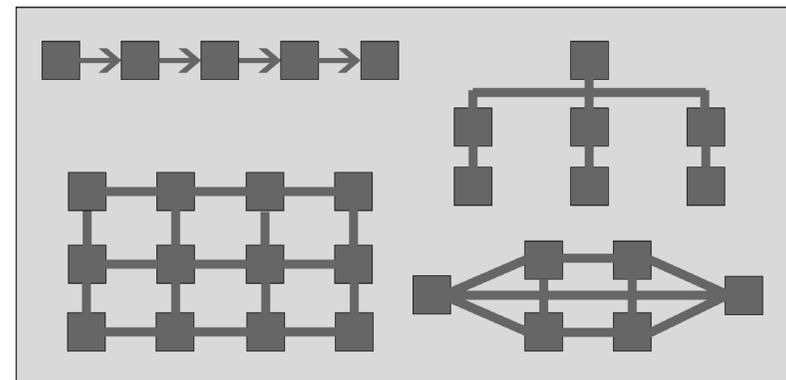


Bild 54: Sequenzielle (oben links), netzartige (unten links), hierarchische (oben rechts) und rasterartige (unten rechts) Seitenvernetzung

Es bestehen vier eindeutig erkennbare Arten, um eine Vernetzung einer Internet-Anwendung zu gestalten (vgl. Bild 54):

- über eine Sequenzierung; das ist die einfachste Methode, die sich durch eine

lineare Abfolge von Seiten auszeichnet. Diese Art von Vernetzung eignet sich zur Darstellung zeitlicher Abfolgen, Erzählungen, Sequenzen von Handlungen und Indizes.

- mit Hilfe einer Netzstruktur; dabei erfolgt die Vernetzung zwischen den Seiten auf gleichen bzw. verschiedenen Hierarchiestufen. Dieser Aufbau wird vor allem bei Themen angewendet, die untereinander in Verbindung stehen.
- mit einem Raster; diese Art der Informationsstrukturierung erlaubt die Bestimmung zweier Schwerpunkte bei der Einordnung der Inhalte.
- über den hierarchischen Aufbau; dieser ist für das gedankliche Modell am einfachsten nachzuvollziehen und wird vor allem von unerfahrenen Benutzern geschätzt. Die Hierarchiestufen spielen dabei eine wichtige Rolle. Generell kann gesagt werden, dass eine Hierarchiestruktur mit einer breiten Verflechtung benutzerfreundlicher ist, als eine tiefe hierarchische Anordnung der Inhalte (Larson und Czerwinski 1998).

Oft werden diese Arten von Seitenvernetzungen auch kombiniert. Dabei ist insbesondere einer einfachen Logik Beachtung zu schenken.

Nicht alle Arten von Seitenvernetzung eignen sich in gleichem Masse für die Darstellung von Information. Die sequentielle oder lineare Vernetzung ist die einfachste Art der Seitenvernetzung, da diese der bestens vertrauten Buchnarration nahekommt. Die Komplexeste hingegen ist die rasterartige Seitenvernetzung. Die Gründe hierfür sind die schwer vermittelbare Seitenstruktur und die starke Verlinkung der Inhalte. Eine Übersicht der Seitenvernetzungsarten ist in Bild 55 dargestellt.

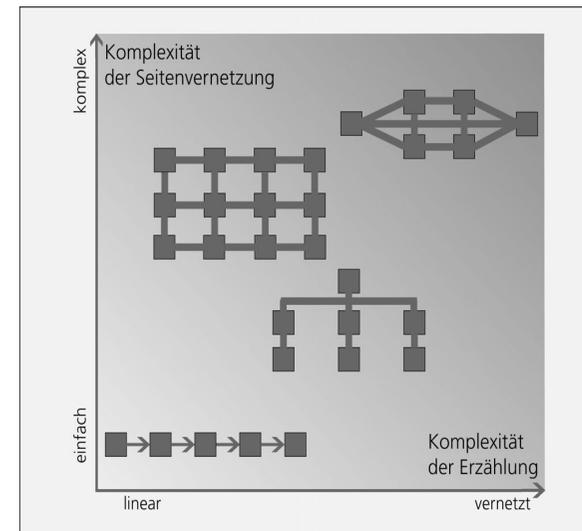


Bild 55: Einordnung der Seitenvernetzungsarten (in Anlehnung an (Lynch 2000))

• Seitenanordnung

Die Seitenanordnung beschreibt die Position der Hauptelemente in einer Anwendung: des Titels, der Navigation/Orientierung und des Inhalts. Diese Elemente sollten immer in der gleichen Bildschirmposition erscheinen, damit der Benutzer sein "inneres" Bild oder Modell der Anwendung bilden kann.

Wenn der Benutzer eine Seite betrachtet, nimmt er zuerst eine grobe Struktur von Formen und Farben wahr, erst später wird auf die einzelnen Elemente fokussiert (Lynch 2000). Eine klare Struktur schafft Ordnung, nicht nur auf dem Bildschirm, sondern auch im Benutzermodell (inneres Modell).

Folgende Bestimmungen gelten für die Gestaltung der Seitenanordnung:

- Interessantes und Wichtiges sollte im oberen Teil der Seite erscheinen.
- Information kann auf kurzen Seiten schneller gefunden werden. Zudem ist bei kürzeren Seiten der Wartungsaufwand kleiner und die Ladezeit geringer.
- das *Scrollen* kann unter Umständen zu Probleme bezüglich der Orientierung und Aufnahmebereitschaft führen.
- das horizontale *Scrollen* sollte unbedingt vermieden werden, da es sehr störend

wirkt.

- sofern eine Aufspaltung der Information nicht möglich oder nötig ist, soll in der Kopfleiste längerer Seiten ein Überblick der angebotenen Information, mit Sprüngen zu den jeweiligen Stellen, dargestellt werden.
- sind Daten auf mehrere Seiten verteilt, sollte ein Link zu einem druckfähigen Objekt mit dem vollständigen Inhalt (z.B. pdf-File) vorhanden sein.

• Navigation und Orientierung

Die Einsicht in einzelne, nicht sequentiell angeordnete Seiten ist eine der Eigenschaften, die das Web von anderen Kommunikationsarten (Buch, Zeitung, TV usw.) unterscheidet. Die Navigation spielt im Kontext des WWW eine zentrale Rolle. Sie gibt die Position und die Navigationsmöglichkeiten in der Anwendung an. Neben der Navigation übernimmt die Orientierung innerhalb einer Seite die Rolle der "Landkarte". Die Orientierung beschreibt die relative Position der Elemente auf einer Seite.

Eine gute Navigation zeichnet sich durch folgende Merkmale aus (Thissen 2000):

- Die Navigation funktioniert intuitiv und ist nicht dominant.
- Die Navigationsbausteine sind vorzüglich in Spalten und nicht in Reihen anzuordnen (Nygren und Allard 1996). Diese sind am besten lesbar, wenn sie mit Aufzählungszeichen aufgelistet werden (Spain 1999).
- Die Begriffe der Navigationsleiste sind konsistent, d.h. sie ziehen sich einheitlich durch die gesamte Anwendung.
- Die Navigation soll visuell, konzeptionell und sprachlich klar sein (Galitz 1997).
- Die Information ist nach dem Inhalt und den Benutzeranforderungen gegliedert (Bernard 1999).
- Die Navigation bietet dem Benutzer alternative Wege, um zum Ziel zu gelangen.
- Bei komplexeren Seiten sind zusätzliche Funktionen vorhanden, welche die Navigationsleiste unterstützen: beispielsweise Übersichten, Landkarten, Hyperbolic-Trees oder Suchfunktionen.

Eine gute Orientierung zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Der Kopf der Seite gibt Auskunft über die Information, die auf der Seite zu finden ist.
- Die Seite hat einen eindeutigen und wiedererkennbaren Titel.
- Die lokale Position in der Hierarchie ist angezeigt.
- Die Links geben Auskunft über die Navigationsmöglichkeiten, zeigen den Standpunkt in der Homepage und geben an, welche Seiten schon besucht wor-

den sind.

Die Wichtigkeit der Navigations- und Orientierungsaspekte ist in einigen Untersuchungen dokumentiert (siehe (Projekt-Merian 2000) und (Poynter-Institute 2000)). Die Ergebnisse zeigen zum einen, dass sich Internet-Benutzer sehr stark mit textueller Information auseinandersetzen. In der Tat spielt der Text eine überragende Rolle (ca. 40% zeitlicher Gesamtanteil) gefolgt von Headlines, Bildern und am Schluss Animationen, die keine grosse Aufmerksamkeit wecken. Zum anderen setzt sich der Benutzer ca. 40% der Zeit mit den Navigationsdaten auseinander.

7.2.2 Formale Aspekte

• Metaphern

Im User-Interface-Bereich wird unter einer Metapher ein graphisches Element verstanden, welches ein Objekt (eine Geometrie) der realen Welt und dessen Funktion abbildet. Eine der weit verbreiteten Metaphern ist der Papierkorb auf dem Desktop, der das Entsorgen von Dateien darstellt. Wie das reale Objekt erlaubt der Papierkorb das Wiederherstellen von entsorgten Dateien und ist nicht dem Löschen gleichzustellen.

Die Verwendung solcher Objekte soll dem Benutzer die Funktionalität eines Elementes mittels bildlicher Darstellung erklären und dessen Interaktion vereinfachen. Diese Analogie mit der realen Welt unterstützt den Benutzer nicht nur bei der Erkennung der Funktion, sondern auch bei der Aufnahme und Speicherung derselben.

Die Wirksamkeit solcher Objekte ist weit bekannt und der Einsatz ist entsprechend beliebt bei Interfacegestaltern. Die Wahl einer Metapher soll jedoch sorgfältig erfolgen, denn diese sollte klar ins gedankliche Modell des Anwenders passen. Trifft dies nicht zu, wird die gewünschte Wirkung verfehlt und die Metapher wird zum Hindernis (vgl. (Lynch 2000), (Thissen 2000), (N.N. 1995), (N.N. 1992) und (Weinschenk und Yeo 1995)).

• Farben

Nebst physiologischen und kulturellen Faktoren, welche bei der Auswahl der Farben bestimmend sind, stehen bei der Erstellung einer Anwendung logisch-funktionale Faktoren in Vordergrund: Farben werden vor allem zur Betonung, Gruppierung und Differenzierung von Information eingesetzt (Morland 1983) (vgl. Bild 56).

Die Wahl der Farben soll der CI (Corporate Identity) entsprechen, in das Gesamtkonzept der Anwendung passen (die Farbe folgt der Funktion und wird kohärent gehandhabt) und auf dem Bildschirm (Kontrast) gut sichtbar sein. Falls die Farben

eine funktionale Bedeutung haben, sollte auf den ästhetischen Einsatz derselben weitgehend verzichtet werden.

Die Farbe im Interface sollte den Benutzer hauptsächlich bei der Fokussierung der Teilaufgaben unterstützen und nicht die Aufmerksamkeit auf das Interface selbst lenken. Sie muss, wie im Produktdesign, begründet werden können (Breiing 2001) und sollte in den Anwendungen die Anzahl von fünf bis sieben nicht übersteigen (Macaulay 1995) und (Marcus 1992). Imhof, der eines der wichtigsten Werke zur Kartenauslegung verfasst hat, schreibt im Zusammenhang mit der Farbdosierung:

Reine, leuchtende oder sehr kräftige Farben wirken schreiend, unerträglich, wenn sie unvermittelt und grossflächig nebeneinander stehen. Doch gelangen sie bei sparsamer Dosierung auf oder zwischen gedämpften Grundtönen zu ausserordentlicher Wirkung.

Grossflächige Grund- und Basisfarben wirken am ruhigsten, und sie lassen die kleineren bunten Flächen um so leuchtender und klarer hervortreten, je gedämpfter, graugemischter oder neutraler sie sind. (Imhof 1965), Seite 83.

Normalerweise werden Farbkontraste durch die Kombination einer Primärfarbe (rot, gelb und blau) mit der Komplementärfarbe oder Ergänzungsfarbe (grün, orange oder violett) erzeugt (Breiing 2001). Eine solche Farbkombination wirkt lebendig und sorgt für Spannung. Die Verwendung verwandter, d.h. naheliegender Farben (z.B. blau und grün) wirkt ruhiger und ausgeglichener (Thissen 2000) Seite 128.

Farben mit grosser spektraler Distanz sollten nicht kombiniert werden, da sie eine unterschiedliche Akkomodation des Auges erfordern. D.h. das Auge kann diese Farben nicht oder nur mit entsprechender Mühe gleichzeitig fokussieren (z.B. blau und rot) (Jackson, MacDonald et al. 1994).

Bei gleichzeitiger Verwendung verschiedener ähnlicher Farbtöne empfiehlt sich die Benutzung dünner Konturen, damit die Flächeninformation schärfer wahrgenommen werden kann (vgl. Bild 56, rechts). Diese Technik der Kartographie wird von Untersuchungen im Bereich der visuellen Wahrnehmung bekräftigt. Diese besagen, dass die menschliche kognitive Wahrnehmung oft eine entscheidende Bedeutung der Konturinformation zumisst (Tuftte 1990) Seite 94 und (Marr 1982) Seite 215-233.

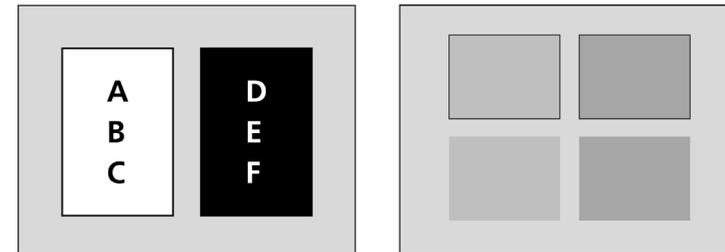


Bild 56: Einige Beispiele für den Einsatz der Farbe

Das Auge besitzt nur wenige Blaudetektoren (~2%), was die Fokussierung von benachbarten Blautönen erschwert, mehr Gründetektoren (~34%) und am meisten Rotdetektoren (~64%) (vgl. (Thissen 2000) Seite 125). Die Farbwahrnehmung ist ausserdem subjektiv: 9% der Männer und 2% der Frauen leiden unter einer Form von Farbblindheit. Die grösste Mehrheit dieser Menschen kann grün und rot schwer oder überhaupt nicht unterscheiden. Deswegen wird davon abgeraten, grüne und rote Töne gleichzeitig und mit einem wichtigen funktionalen Hintergrund einzusetzen.

Abschliessend ist jedoch anzufügen, dass ein gut gestaltetes Interface gerade im schwarz-weißen Ausdruck seine Qualitäten zum Vorschein bringt (Macaulay 1995), (Weinschenk und Yeo 1995) (siehe auch Bild 56 als einfaches Beispiel). Denn wichtige Information ist hier nicht über die Farbgebung, sondern gerade über ihre Redundanz (z.B. fette Schrift, Kontrast) ersichtlich.

- **Zeichen und Lesen**

Am Bildschirm wird im Gegensatz zum Lesen eines gedruckten Dokumentes nicht sequentiell entziffert. Die Seiten werden von den meisten Benutzern zuerst gescannt. Dabei wird nur etwa 50% der Information, dafür in dreifacher Lesegeschwindigkeit, wahrgenommen. Beachtet werden in erster Linie Überschriften, Listen und Graphiken (Nielsen 1999-2001). Erst in einer zweiten Phase werden Texte in herkömmlicher Art und Weise gelesen (Lynch 2000). Allerdings wird das sequenzielle Lesen von Texten am Bildschirm (Kathodenstrahler) als mühsam empfunden. Die Lesegeschwindigkeit ist um 25-30% langsamer als auf Papier (Thissen 2000).

Die Texte auf dem Bildschirm sollen aus diesem Grund kurz und prägnant sein. Bei längeren Texten sollte eine kurze Zusammenfassung unter dem Titel einen ersten Einblick über den Inhalt geben.

Das Lesefeld soll eine angemessene Breite aufweisen - auf keinen Fall soll ein horizontales *Scrolling* nötig sein und höchstens so viele Zeichen pro Zeile enthalten wie eine gewöhnliche A4 Seite. Der Kontrast zwischen der hintergründigen Lesefläche und der Schriftfarbe soll maximiert werden, damit die Zeichen optimal wahrgenommen werden können.

Die Leserichtung erfolgt von links nach rechts bzw. von oben nach unten und mit dieser ist auch die zeitliche Achse verknüpft. Die Zukunft liegt sozusagen rechts bzw. unten.

Die Zeichengröße sollte mindestens 10-Punkte betragen. Die Grössenvielfalt der Zeichen ist ebenfalls zu minimieren. Jede Größe hat eine bestimmte Funktion und muss über die ganze Anwendung, im Sinne einer Formatvorlage, konsequent eingehalten werden. Ausserdem sollten serifenlose Schriften (z.B. Arial oder Verdana) verwendet werden, da die Serifen am Bildschirm eine Lesehinderung darstellen (vgl. auch (Bernard und Mills 2000)).

Um gewisse Begriffe hervorzuheben, sollen Farben und die Einstellung **fett** verwendet werden; die Einstellung unterstrichen und *kursiv* sind nicht geeignet. Vor allem die Einstellung unterstrichen kann im Internet leicht mit einem Link verwechselt werden.

7.2.3 Visuelle Aspekte

• Erstkontakt

Bekanntlich ist der erste Eindruck unvollständig, z.T. ungenau, jedoch spielt er eine nicht zu unterschätzende Rolle: Er prägt die erste Meinung, die später nur mit verhältnismässig grossen Anstrengungen korrigiert werden kann.

Für den Internet-Benutzer beginnt der Erstkontakt mit der Seite in dem Augenblick, in dem der Browser die Daten auflädt. Schon in diesen Momenten beginnt der Benutzer die Seite zu bewerten. Alles, was während des Aufbaus der ersten Seite geschieht, trägt zum Erlebniswert einer Homepage bei und sollte bei der Gestaltung berücksichtigt werden. Es wird die Qualität (angenehm und unangenehm), die Bekanntheit und die Relevanz (wichtig und unwichtig) bewertet (Wirth 2001). Dieser Faktor ist auch bei mehreren im Bereich des E-Commerce durchgeführten Untersuchungen hervorgehoben worden (vgl. (Forit GmbH 2000), (Cerci 2001) und (Nielsen 1999-2001)). Nach (Nielsen 1999-2001) ist *das Aufladen der Seite* die am häufigsten verletzte Richtlinie im Web-Design.

Neben kurzen Ladezeiten können weitere gute Ansätze die Gestaltung des Erst-

kontakts positiv beeinflussen, beispielsweise ein prägnantes Logo, angenehme Farben oder eine Begrüssungsformel.

• Die Objektwahrnehmung

Die Wahrnehmung eines Objektes im Gehirn läuft stufenweise ab und besteht aus einer ersten Stufe, der präattentiven Verarbeitung und einer zweiten Stufe, der aufmerksamkeitsgerichteten Verarbeitung (Goldstein, Ritter et al. 1997).

In der ersten Phase wird das Reizmuster in seine Elementarbestandteile zerlegt. Diese Verarbeitung läuft unbewusst, sehr rasch und automatisch ab; gerichtete Aufmerksamkeit ist dabei nicht nötig und ist nach ca. 300 bis 500 Millisekunden abgeschlossen. Diese Art der Verarbeitung zeichnet sich durch einen grossen Informationsdurchfluss und eine hohe Verarbeitungskapazität aus. Solche präattentiven Verarbeitungsprozesse arbeiten wie parallel geschaltete Prozessoren, die alle wahrgenommenen Reize aufnehmen. In (Goldstein, Ritter et al. 1997) werden die Elementarbestandteile vorgestellt, darunter sind speziell: Linienendpunkte, Farben, geschlossene Flächen, Kontrast und Helligkeit für die Interfacegestaltung von Bedeutung.

Während der präattentiven Verarbeitung bleibt die Kontrolle dem Bewusstsein überlassen, solange keine signifikanten Bedeutungen erkannt werden. Tritt ein signifikanter Reiz auf, wird dieser von den präattentiven Prozessen automatisch registriert; sie übernehmen die Kontrolle, unterbrechen das Denken und es tritt die zweite Stufe der aufmerksamkeitsgerichteten Verarbeitung ein. Dabei werden die Elementarmerkmale zu einem Ganzen verknüpft. D.h. das Objekt wird wahrgenommen, mit gespeicherten Repräsentationen verglichen und identifiziert (vgl. Bild 57).

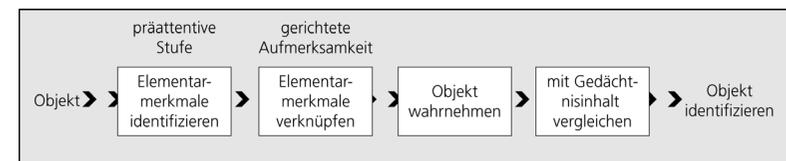


Bild 57: Flussdiagramm mit den Verarbeitungsstufen der Objektwahrnehmung (in Anlehnung an (Goldstein, Ritter et al. 1997))

Die Auslöser solcher Reize in der präattentiven Verarbeitung sind teilweise auch Gewohnheiten, die sich nicht beliebig verändern und steuern lassen:

- Biologisch programmierte Gewohnheiten, die Gestaltungsgesetze genannt werden.

Es handelt sich dabei um Prinzipien, welche die Wahrnehmung beim Auftreten bestimmter Reizbedingungen beschreiben und von universeller Gültigkeit sind (vgl. (Goldstein, Ritter et al. 1997) und (Thissen 2000)).

- Gelernte Gewohnheiten, wie z.B. die Blickreihenfolge von links oben nach rechts unten.
- Internetspezifische Gewohnheiten, wie zum Beispiel das Querlesen.

Hieraus lässt sich eine wichtige Grundregel für die Gestaltung von Web-Applikationen ableiten: je einfacher die Struktur der Seite ist, je weniger Information gleichzeitig dargestellt und je deutlicher diese visuell artikuliert wird, desto eher kann die Aufmerksamkeit der Benutzer gesteuert und kontrolliert werden (Wirth 2001). Gleichzeitig wird der kognitive Aufwand in Grenzen gehalten. Dies offenbart sich in Form von Motivation und Gefallen am interaktiven Medium.

Kapitel 8

Interface-Gestaltung des K- & V-Matrix-Systems

Die klassische Vorgehensweise, die bei der Entwicklung interaktiver Systeme verbreitet ist, richtet sich nach dem Wasserfall-Modell (Sommerville 1994), dem zyklisch gebauten Spiralenmodell (Boehm 1988) (siehe Bild 58) oder der (ISO13407 1999). Alle Modelle sind für die Software-Entwicklung geeignet, weil sie als geschlossene Sequenz von Aktivitäten dargestellt werden, welche - je nach Bedarf - mehrmals durchlaufen werden können.

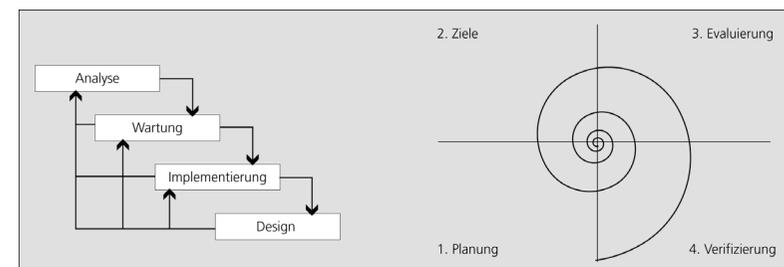


Bild 58: Das Spiralen- und das Wasserfallmodell nach Boehm bzw. Sommerville

Die Modelle sehen eine erste analytische Phase vor, aus der eine Zielsetzung abgeleitet wird. In der dritten Phase werden die konzeptionellen Gedanken in Code

umgesetzt und schliesslich werden in der vierten Phase die Resultate nach ihrer Gültigkeit verifiziert. Diese Vorgehensweise wurde auch bei der Entwicklung des K- & V-Matrix-Systems angewendet.

Während der Applikations-Entwicklung wurde neben dem Vier-Phasen-Modell auch das Prinzip des *Rapid Prototyping* angewendet. Zwar wurden die vier Phasen immer durchlaufen, jedoch in kurzen Zeitabständen und mit Teilaufgaben, die schnell verifiziert werden konnten. Diese Vorgehensweise ermöglicht einerseits die Sammlung wertvoller Erfahrung im Umgang mit einem bis anhin unbekanntem software-technischen Umfeld und andererseits können mögliche Schwachstellen unmittelbar erkannt werden. Die Funktionalität und die Bedienbarkeit der Prototypen wurden mit den Anwendern im Sinne des *Rapid Prototyping* verifiziert und kontinuierlich verbessert.

In den folgenden Abschnitten werden die Grundgedanken der Anwendung erläutert. Dabei werden zuerst die formalen Elemente vorgestellt, welche die Anwendung charakterisieren, dann werden die spezifischen Eigenschaften des Eingabe- bzw. des Abfragetools diskutiert.

8.1 Konzept des Interfaces

Das Ziel des Konzeptes ist die Erstellung einer Struktur für das Interface, das, unabhängig von der abzubildenden Aufgabe, in einem eigens vordefinierten Rahmen implementiert werden kann. Eine Art formaler und strukturbezogener Werkzeugkasten ist zu erstellen, welcher einerseits bestimmte anwendungsfunktionale Entscheidungen unterstützt und andererseits dem Interface ein typisches Profil verleiht. Dieses Profil sollte die Aufmerksamkeit des Benutzers gezielt lenken und das Interface mit einem ästhetischen, wahrnehmbaren Charakter auszeichnen. Dieser wiederum soll einfach sein, um die relativ komplexe Aufgabe der Konfiguration nicht zu gefährden.

Ausserdem soll die Struktur - neben der genauen Darstellung des Konfigurationsablaufes - zugleich auch genug Freiräume für firmenspezifisches Customizing zulassen.

8.1.1 Formale Entscheidungen

- **Form**

Die meist im Hintergrund der Anwendung liegenden, viereckigen Flächen unter-

stützen die gezielte Aufteilung des Arbeitsbereiches und dienen der Gruppierung ähnlicher Elemente. Kommen mehrere, teilweise überlappte Flächen gleichzeitig zur Anwendung, werden diese mittels Grau-Kontrasten voneinander unterschieden. Geschachtelte Flächen kennzeichnen in der Anwendung bestimmte Zustände: z.B. eine Hierarchie, eine Untermenge, eine 1:N-Beziehung oder eine Zugehörigkeit.

Diese Flächen können situationsbedingt mit einem Rand bekräftigt werden. Dies ermöglicht eine eindeutigere visuelle Erkennung der Flächen, sowie der Zugehörigkeit einzelner Elemente auf der Fläche (siehe Bild 59, links). Diese Technik wird von Theorien der visuellen Wahrnehmung bekräftigt, die besagen, dass der kognitive Prozess den Rändern einen beträchtlichen bis entscheidenden Wert zuweist (Marr 1982).

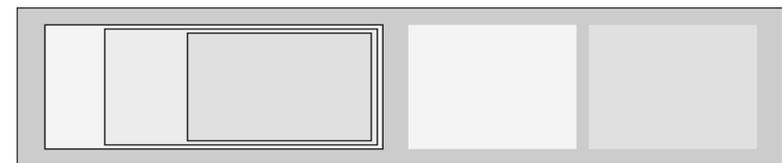


Bild 59: Zwei Arten von Formen: die Zugehörigkeit und die Gruppierung als Hintergrundflächen

- **Farben**

Die Farben spielen vor allem im Zusammenhang mit den Formen eine Rolle, da diese die jeweilige Bedeutung der Formen unterstützen sollen. Als Hintergrundfarben der Flächen werden abgestufte Grau-Töne verwendet. Die Hintergrundfarbe der Seite ist weiss. Diese schafft den nötigen Kontrast zu den grau-getönten Flächen (vgl. Bild 60).

Für die Navigation werden zwei Farben verwendet (vgl. Bild 60):

- für die Seiten- und für die Produktnavigation wird das klassische Hyperlink-Blau eingesetzt
- für die Selektion von Hyperlink-Gruppen bei der Produktnavigation werden dunkelblaue Links verwendet.

Die Wahl von üblichen Farben für Hyperlinks ist der Komplexität der Aufgabe zuzuschreiben, die mit einer einfachen funktionalen Bedeutung einzelner Elemente unterstützt werden muss. Dadurch kann das innere Bild der Anwendung beim Benutzer schneller aufgebaut werden. Werden nicht-standardisierte Farben angewendet, werden die Wahrnehmung der Seitenstruktur und die Orientierung unmit-

telbar geschwächt (Nielsen 1999).

Die Blau-Töne unterscheiden sich in der Sättigung und im Farbton, sodass sie einfach zu unterscheiden und ohne Anstrengungen vom Augen erfasst werden können (vgl. Kapitel 7.2.2 "Formale Aspekte").

Die dunkelblaue Farbe wird auch für Überschriften, Ränder und hervorgehobene Flächen angewendet und nimmt eine charakterisierende Rolle für die ganze Anwendung ein. Stark hervorgehobene Flächen sind meist dunkelblau mit weisser Schrift (vgl. Bild 61).

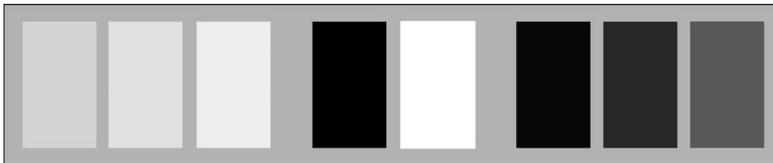


Bild 60: Die verwendete Farbpalette: grau für die Hintergrundflächen (drei Farbtöne), schwarz und weiss für die Schriften und drei Blau-Töne für die Hervorhebungen (links), die Hyperlinks (Mitte) und die automatisch bestimmten Ausprägungen (rechts)

Schliesslich wird in der Anwendung eine blau-graue Farbe für die Ausprägungsauswahl eingesetzt. Dieser Farbton dient zur Unterscheidung zwischen den vom User selektierten Ausprägungen (siehe Bild 61, Hervorhebung) und den vom System, aufgrund der Überprüfung der V-Matrix, automatisch eingeblendeten Ausprägungen (siehe Kapitel 6.3.2 "Zusammenhang Matrizen-Tool" und Bild 69, die gewählte Ausprägung *Modell erstellbar*).

- **Schrift**

Die verwendete Schriftart ist Arial mit einer kontextabhängigen Schriftgrösse von 10 oder 12 Punkten. Diese Schriftart ist eine der klassischen und gängigsten im Internet und wird von jedem Browser unterstützt, zumal sie auch gut lesbar ist (vgl. Kapitel 7.2.2 "Formale Aspekte").

Links werden immer unterstrichen dargestellt (siehe Bild 61, Eintrag Link). Hiermit sollten die Navigationsmöglichkeiten, sowohl auf der Ebene der Anwendung als auch bei der Selektion des Produktes immer deutlich ersichtlich sein.

Der Lauftext wird schwarz und die Überschriften fett geschrieben. Dadurch werden der maximal mögliche Kontrast zu den Hintergrundfarben und eine klare Unterscheidung zu den Navigationselementen erzielt.

Hervorgehobene Texte, wie beispielsweise Seitenüberschriften oder Ausprägungen, werden in weisser Schrift mit dunkelblauem Hintergrund dargestellt.

Überschrift - Lauftext - Links-Gruppe - Link - **Hervorhebung**

Bild 61: In der Applikation verwendeten Schriftkombinationen

8.1.2 Strukturelle Eigenschaften des Interface

- **Seitenvernetzung**

Die Sequenz ist die einfachste Art, um Seiten einer Web-Anwendung miteinander zu vernetzen (vgl. Abschnitt "Seitenvernetzung" auf Seite 121). Auch aus diesem Grund ist die Gesamtaufgabe der Konfiguration in verschiedene, sequenziell angeordnete Teilaufgaben (vgl. Bild 52, auf Seite 113) aufgeteilt worden (siehe Bild 62). Ausserdem können einzelne Teilaufgaben wiederum in einzelne Aktivitäten aufgesplittet werden.

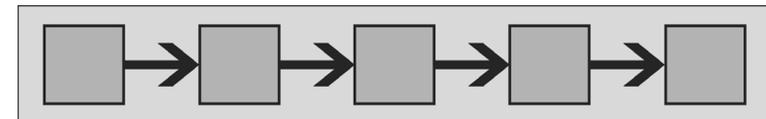


Bild 62: Sequentielle Seitenvernetzung

- **Navigation**

Die für das K- & V-Matrix-System gewählte Seitenvernetzungsort (Sequenz) soll in der Navigation sichtbar gemacht werden und klar verständlich sein.

Zwar wird in der Literatur davon abgeraten, die Navigationselemente horizontal anzuordnen (Nygren und Allard 1996), aber im Zusammenhang mit einem (Prozess-) Ablauf spielt der zeitliche Aspekt eine wichtige Rolle und kann durch die horizontale Anordnung unterstützt werden.

Die Navigation sieht formal wie folgt aus: Ein einfacher grauer Balken bildet den Hintergrund einer Reihe zentriert angeordneter Hyperlinks. Wird ein Hyperlink selektiert, erscheint dieser im Lauftext fett markiert (siehe Bild 63). Dadurch wird die Orientierung in der Anwendung unterstützt.

Home > Selection / Configuration > Contact / Offer > Exit

Bild 63: Die Navigationsleiste der Anwendung mit der Hervorhebung der selektierten Seite

Im Kapitel 6.1 "Software-Anwendung" wurde die Möglichkeit zur Erstellung verschiedener Benutzerprofile erwähnt. Zwischen diesen Benutzerprofilen kann die Anzahl der Einträge in der Navigationsleiste variieren bzw. kann der Zugang zu gewissen Teilanwendungen durch die Ausblendung nicht zugelassener Hyperlinks gesperrt werden.

Die Teilanwendungen können je nach der Komplexität der Aufgabe ihrerseits eine lokale Navigation aufweisen, die mit der sequenziellen Hauptnavigation abgestimmt ist.

- **Die Seitenanordnung**

Die Seitenanordnung baut auf dem Top-down Prinzip auf: Information, die für das Corporate Identity (CI) relevant ist, wie z.B. das Firmenlogo, wird im oberen Teil der Seite eingeblendet (siehe Bild 64, Punkt 1).

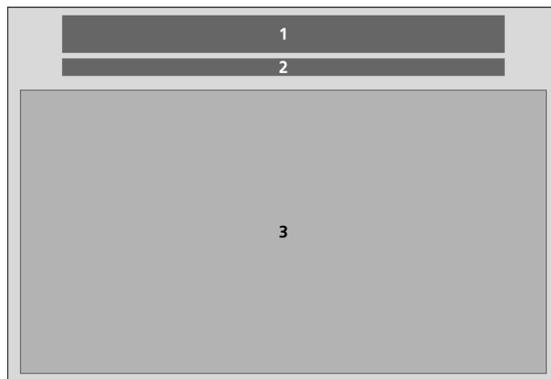


Bild 64: Die Seitenanordnung mit deren Bestandteilen: der CI-Bereich (1), die Hauptnavigation (2) und der Arbeitsbereich (3)

Eine Ebene tiefer, im oberen Drittel des Bildschirmes ist die Navigationsleiste angeordnet (siehe Bild 64, Punkt 2). Zusammen mit der Firmeninformation bilden diese

den invarianten Teil der Anwendung, d.h. sie werden beim Aufrufen jeder Seite in gleicher Form erscheinen.

Der dritte Teil ist der sogenannte Arbeitsbereich (siehe Bild 64, Punkt 3): Dieser Bereich dient der Lösung einer Teilaufgabe und kann in Abhängigkeit zum Kontext sehr unterschiedlich gestaltet sein. Mögliche Ausprägungen des Arbeitsbereiches werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

8.2 Interface des Eingabetools

Mit dem Eingabetool soll ein Werkzeug entwickelt werden, welches die Eingabe und Pflege:

- der Parameter des K- & V-Matrix-Systems und
- der Daten der K- & V-Matrix

ermöglicht. Im Vergleich zum Abfragetool ist der Benutzerkreis beschränkt und die Anwendungshäufigkeit geringer. Der Benutzer des Eingabetools ist eine für diese Aufgabe ausgebildete Person, die über gute Kenntnisse der Methode verfügt.

In der unternehmerischen Praxis sind verschiedene Modelle denkbar, wie die Matrixdaten im Digitalen Produkt erfasst und verwaltet werden. Bei der Erstellung der K- & V-Matrix sollen vorhandene Daten auch aus anderen Systemen exportiert und über eine Schnittstelle im Eingabetool importiert werden können.

Zur Bewältigung der Datenerfassung sind zwei Masken entworfen worden, die in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden.

8.2.1 Einstiegsseite

Wie bereits in Bild 51 auf Seite 112 dargestellt, werden in der Einstiegsseite alle Daten festgehalten, die für das erstmalige Starten des K- & V-Matrix-Systems benötigt werden. Dazu zählen:

- beschreibende Firmendaten, wie der Name, das Logo oder die Adresse,
- Einstellungen für die Anwendung, wie z.B. die Seitenabfolge im Abfragetool und
- die Benennung der Sichten der K- & V-Matrix.

Der formale Aufbau der Seite sieht die Aufteilung der Information in drei Spalten (vgl. Bild 65) vor, die der oberen Auflistung folgen. Die Spalten sind zur Trennung eingerahmt und besitzen je eine hervorgehobene Titelzeile. In den jeweiligen Spalten können die entsprechenden Daten mittels Befehlseingabe editiert werden.

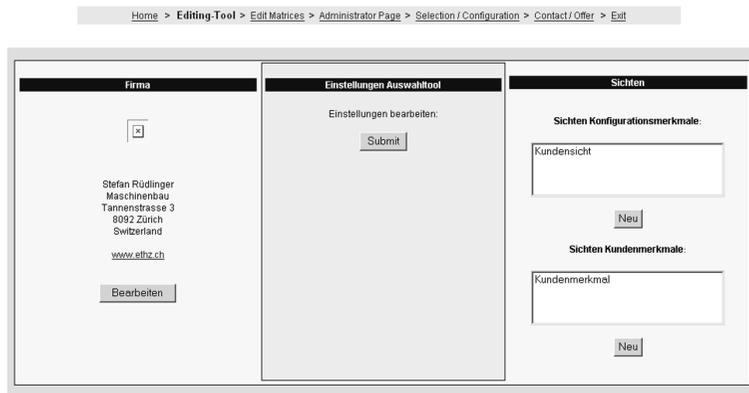


Bild 65: Die Einstiegsseite mit den einstellbaren Parametern. Nach der Auswahl erscheinen die für die Bearbeitung der Parameter nötigen Eingabefelder.

8.2.2 Eingabe der Matrizendaten

Die Eingabe der Daten muss in gezielte Teilaufgaben unterteilt werden, da einerseits die Bildschirmfläche beschränkt ist und andererseits die zu bewältigende Aufgabe zu komplex ist, um in einer Maske dargestellt zu werden.

Ausgehend vom Aufbau der Matrizen und der im Laufe der Zeit gewonnenen Erfahrungen konnten drei Hauptaufgaben identifiziert werden:

- Die Beschreibung der Elemente. Damit sind insbesondere die Bausteine bzw. die Merkmale und deren Ausprägungen gemeint.
- Ausfüllen der Korrelationsfelder in der K-Matrix.
- Ausfüllen der Korrelationsfelder in der V-Matrix (2x).

Für die Eingabe der K- & V-Matrix-Daten ist eine zusätzliche Navigation notwendig. Diese befindet sich auf der linken Seite des Bildschirms (Bild 66, Punkt 4). Im Gegensatz zur Hauptnavigation baut die Navigationsebene der K- & V-Matrix auf einer bildlichen Darstellung auf. Bei der Selektion eines dieser Elemente werden die entsprechenden Funktionsgruppen im Feld 5 in Bild 66 eingeblendet.

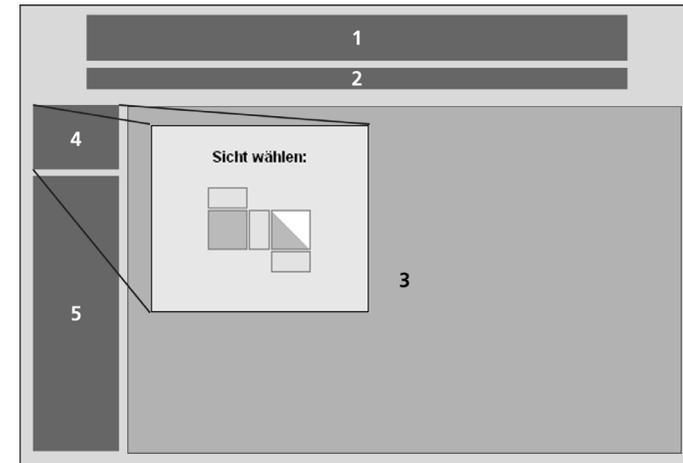


Bild 66: Die Seitenanordnung in der Maske der Manipulation der Matrizendaten. Im Vordergrund ist die visuelle Navigation dargestellt.

- **Die Beschreibung der Elemente in den Sichten**

Als Basis für die Beschreibung der Elementenbeziehungen in den Sichten dient das Datenmodell: Hier werden die Bausteingruppen [tmlgs], die Bausteine [tmls] und deren Ausprägungen [tmlas] sowie die Merkmalsgruppen [kmsg], die Merkmale [kms] und die entsprechenden Ausprägungen [kmas] definiert (vgl. Kapitel 5.2.2.3 auf Seite 66).

Als abstrahierte Darstellung für die Datenmodellstruktur und zur Visualisierung der 1:N-Beziehungen, wurden drei unterschiedlich grosse, grau hinterlegte und geschachtelte Flächen gewählt (siehe Bild 67). Diese unterstreichen die Zugehörigkeit der Objekte auf der kleineren Fläche zu derjenigen auf der grösseren Fläche. Die Elemente einer tieferen Hierarchie-Ebene werden erst bei der Selektion der entsprechenden Objekte der nächst höheren Ebene eingeblendet (vgl. Bild 67, rechts). Dadurch soll an das Prinzip der Baumnavigation angeknüpft werden. Dies wird in der Anwendung so gelöst, dass mit der Selektion eines Objektes nicht nur die Objektnavigation nach unten erweitert, sondern auch die Editierbarkeit des selektierten Objektes selbst ermöglicht wird.

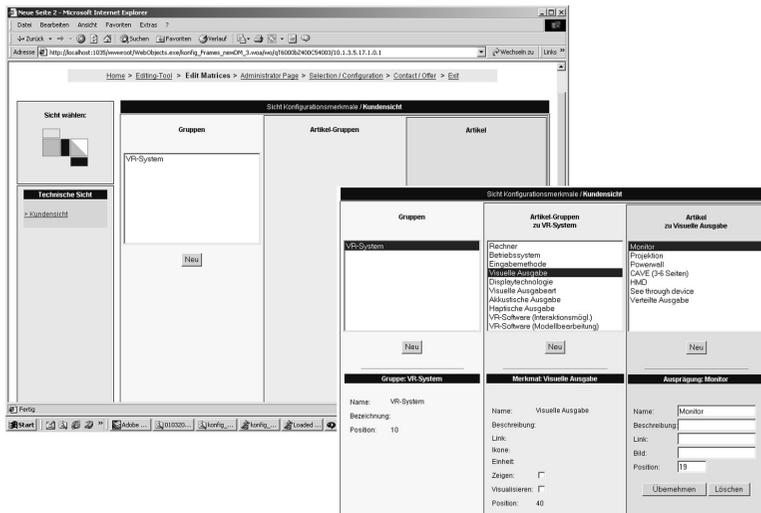


Bild 67: Das Eingabefeld einer Sicht. Im Hintergrund zu Beginn der Eingabe, im Vordergrund während einer Session.

• **Die Korrelationen in der K-Matrix**

Die Eingabe der Daten in der Konfigurationsmatrix kann sowohl in der Maske des K- & V-Matrix-Systems durchgeführt werden, wie auch aus Fremdsystemen importiert werden.

Manchmal erweist es sich als sinnvoll, die Matrizendaten in einem Tabellenkalkulationsprogramm zu editieren, weil die Arbeitsfläche in solchen Anwendungen besser variierbar ist. Ausserdem verwenden gewisse PDM-Systeme das Sachmerkmal-Leisten-Prinzip (siehe Kapitel 5.2.2.1 "Sachmerkmal-Leisten und Merkmale") zur Objektbeschreibung und -klassifizierung. Dies ermöglicht prinzipiell auch die Definition und Verwaltung der K-Matrix in solchen Systemen.

Wird die K-Matrix in der Anwendung editiert, wird das Problem einer beschränkten Arbeitsfläche mit der Aufteilung der Zugehörigkeiten in zwei Hierarchie-Ebenen gelöst.

Dieser Ansatz entspricht der im Kapitel 5.4 "Erstellung der K- & V-Matrix" vorgeschlagenen Vorgehensweise zur Erstellung der K-Matrix. Die Aufteilung sieht die Bestimmung der Matrizenfelder in zwei Schritten vor, wie es in Bild 68 dargestellt ist:

- Definition der Korrelationen auf der Ebene der Bausteine und Merkmale [tml-km].
- Definition der Zugehörigkeiten auf Ausprägungsebene [tmla-kma] in den zuvor, auf der oberen Ebene [tml-km], ausgewählten Feldern.

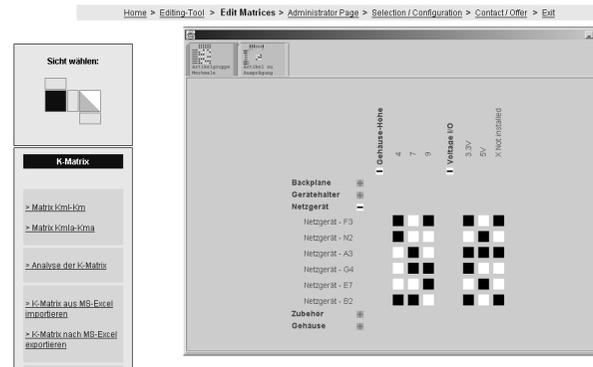
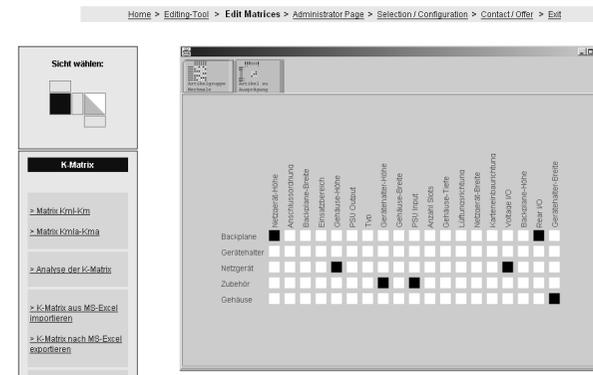


Bild 68: Eingabefeld für Baustein-Merkmal (oben) und Bausteinausprägungen-Merkmalausprägungen (unten)

Diese Vorgehensweise ermöglicht eine grobe Selektion unabhängiger Elemente auf der Ebene der Bausteine und Merkmale [tml-km]. In der zweiten Ebene werden nur Ausprägungen miteinander verglichen, die auch eine potentielle Abhängigkeit zueinander aufweisen. Dies fördert die Übersicht am Bildschirm und dient der Senkung der Fehleranfälligkeit bei der Editierung.

• Die Korrelationen in der V-Matrix

Im wesentlichen können drei Vorgehensweisen zur Bestimmung der Verträglichkeiten in der V-Matrix beschrieben werden:

- in Form eines Baums, in dem die verträglichen Bausteine hierarchisch miteinander verknüpft werden,
- in der klassischen Matrixform, mit dem gegenseitigen Vergleich der einzelnen Ausprägungen oder
- mit einer Definition von Unverträglichkeiten, wenn Produkte sehr stark modularisiert sind und deswegen nur wenige Einschränkungen in Form von Unverträglichkeiten beschrieben werden müssen.

In der Regel wird die Eingabe der Verträglichkeiten in der Matrix angewendet, weil die meisten Produkte relativ viele Unverträglichkeiten beinhalten und die Matrixform die verständlichste und intuitivste Form der Eingabe ist. Die Baumstruktur setzt eine grössere Abstraktion voraus und eignet sich weniger für Gelegenheits-Benutzer.

Wie im Fall der K-Matrix können die Daten im Eingabetool editiert oder aus einem Tabellenkalkulationsprogramm importiert werden.

Eine Reihe von analytischen Funktionen, welche z.B. für die Berechnung von indirekten Unverträglichkeiten der K- oder V-Matrix eingesetzt werden, runden den Funktionsumfang der V-Matrix ab und werden in einer eigenen Maske aufgeführt. Die Bedienung dieser Funktionen setzt jedoch ein vertieftes Verständnis für die Methode voraus. Der Umfang dieser Funktionen ist in (Puls 2003) detailliert beschrieben.

8.3 Interface des Abfragetools

Die Gestaltung des Abfragetools soll einer breiten Palette von potentiellen Benutzern die Möglichkeit geben, Abfragen über die in der Datenbank gespeicherten Daten durchzuführen. Potentielle Benutzer des Abfragetools sind:

- Techniker, welche in der Konstruktion Fragen über die Varianten klären möchten,
- Auszubildende, die mit der Variantenstruktur arbeiten, sei es in der Technik, im Verkauf oder in der Produktion,
- Verkäufer, die ein Produkt bestimmen möchten, und
- Kunden, die eine Konfiguration durchführen möchten.

Nicht alle Benutzer des Abfragetools haben dasselbe Vorwissen über die zu konfi-

gurierenden Variantenprodukte. Deswegen sollen verschiedene Wege zur Bewältigung der Konfigurationsaufgabe begangen werden können. Diese Anforderung ist in der Literatur diskutiert (vgl. (Mertens, Breuker et al. 1994), (Heiderscheit und Skovgaard 1999), (Totz und Riemer), (Haag 1998)) und von (Tiihonen, Soininen et al. 1996) treffend beschrieben worden:

The distance from customer requirements to the specifications and to the final configuration varies considerably. Some customer requirements can be given as a functional specification, while some other requirements are best formulated as low-level component-by-component selections. A system should be able to support this spectrum of specifications given at different levels of abstraction. In some cases, a combination of different abstraction level of specifications might be preferable.

Der generische Kern der Matrizen soll auch im Abfragetool erhalten bleiben: D.h. das System soll sich dynamisch an die Eigenschaften der jeweils abgebildeten Variantenprodukte (Bausteine und Merkmale) anpassen und die grösstmögliche Flexibilität bei der Interaktion mit den Daten gewährleisten. Nur so können die Anpassungen minimiert werden und gleichzeitig eine möglichst breite Palette an potentiellen Benutzern angesprochen werden.

Neben dem generischen Kern besteht das Abfragetool aus einer Serie von zusätzlichen Seiten, welche weitere Funktionalitäten im Bereich der Konfiguration enthalten (siehe Bild 52, auf Seite 113). Einige Beispiele dafür sind:

- eine Kontakt-Seite mit der Firma, falls die Anwendung online geschaltet ist,
- eine Login Seite, um unerwünschten Besuchern den Zugang zu sperren, oder
- eine Visualisierungsseite für die Darstellung von und Interaktion mit 3D-Objekten.

Die Abfolge der Seiten ist vom Einsatzszenario abhängig. D.h. jedes Unternehmen besitzt eine eigene Abfolge der Seiten, die über das Eingabetool beeinflusst werden kann.

8.3.1 Abbildung der K- & V-Matrix

Bei der Abbildung der K- & V-Matrix geht es in erster Linie um die Gestaltung der Interaktion mit den Matrizen. Im „worst case“ eines gelegentlichen Benutzers muss die Interaktion mit den Matrixdaten so einfach gestaltet werden, dass der Benutzer die Aufgabe - unabhängig von der Produktkomplexität - lösen kann. In diesem Zusammenhang ist eine möglichst einfache, funktionale Oberfläche von zentraler

Bedeutung (Wüpping 2001a). Nebst den eindeutigen Interaktionselementen bedeutet dies, dass die Menge der eingeblendeten Daten immer überblickbar sein sollte. Auch aus diesem Grund wurden zwei ähnliche Masken entworfen, die dem Benutzer die Abfrage der Daten in einer der beiden Sichten (vgl. Kapitel 5.2.1 auf Seite 62) ermöglicht. Der Sichtwechsel ist dabei jederzeit möglich. Somit wird die Menge an gleichzeitig eingeblendeter Daten eingeschränkt, und mögliche Sichtverwechslungen und Orientierungsprobleme können vermieden werden.

Um dieses Konzept auf die Oberfläche abbilden zu können, wurde auf eine oft verwendete Metapher zurückgegriffen, welche die Eigenschaften einer mehrschichtigen Informationsdarstellung aufweist und gleichzeitig keine Einschränkungen bezüglich der Frequenz des Sichtwechsels hat: die Reiter. Die Reiter weisen im Kontext der Anwendung folgende Vorteile auf:

- Sie stellen die obere Navigationsebene des Produktes dar: Die Reiter verkörpern die in der K- & V-Matrix-Methode angewendeten Produktsichten.
- Dadurch, dass diese Interaktionselemente nebeneinander angeordnet werden, fällt jede hierarchische Information weg und veranschaulicht den Grundgedanken der K- & V-Matrix im Bezug auf die Produktstruktur (vgl. Kapitel 5.4.4.2 "Varianten-Darstellungsarten in der K- & V-Matrix").
- Die Reiter stellen keine Einschränkungen bezüglich der Anzahl der Produktsichten dar.

Die auf einem Reiter dargestellte Kundensicht ist wie folgt organisiert: Die Oberfläche ist in drei Spalten aufgeteilt, wobei die Mittlere als Untermenge der Linken und die Rechte als Untermenge der mittleren Spalte dargestellt werden (siehe Bild 69).

Auf der linken Spalte werden Daten zum Gesamtprodukt eingeblendet, wie beispielsweise eine Abbildung oder eine erklärende Graphik des Produktes. In der mittleren Spalte sind die Merkmalsgruppen [kmg] (siehe Bild 69, Link Anwendung) und entsprechende Merkmale [kms] (siehe Bild 69, Links Anwender, Anwendungsort usw.) in Form von Links aufgelistet. Aus Platzgründen werden jeweils nur die Merkmale [kms] einer selektierten Merkmalsgruppe [kmg] eingeblendet. In der rechten Spalte wird das jeweils selektierte Merkmal [km] mit den zum Zeitpunkt der Selektion noch auswählbaren Ausprägungen [kmas] (siehe Bild 69, Auswahlfenster mit Büro, Mobil usw.) eingeblendet.

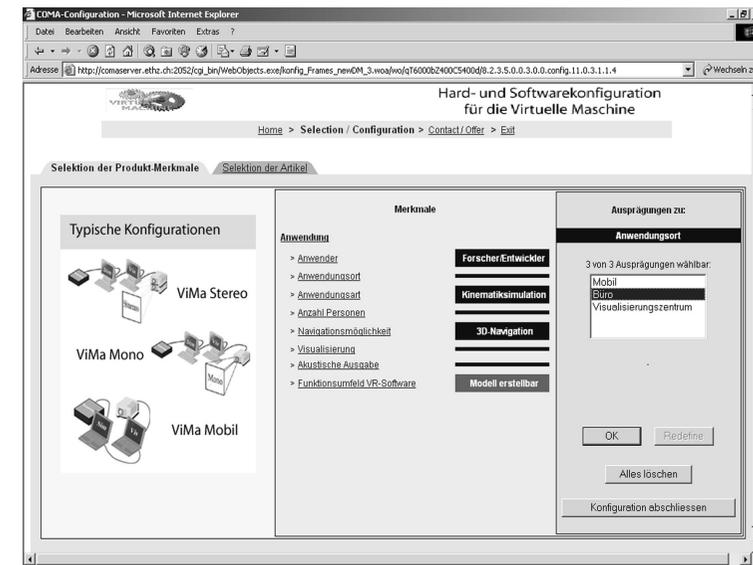


Bild 69: Ein Beispiel der Kundensicht auf der Bedienoberfläche

Die Ausprägungen erscheinen einem Auswahlfenster, das im Gegensatz zu anderen ähnlichen GUI-Elementen wie den *Pop-Up-Fenstern* oder den *Radio-Buttons*, keine Einschränkungen bezüglich Anzahl dargestellter Elemente aufweist und gleichzeitig die nötige Selektionsübersicht gewährleistet. Jede Selektion wird mit einem Button (OK) bestätigt und anschliessend neben dem entsprechenden Merkmal in der mittleren Spalte dargestellt. Soll eine bereits selektierte Ausprägung geändert werden, muss das entsprechende Merkmal selektiert und mittels Button-Betätigung (*Redefine*) gelöscht werden. Danach kann wie zuvor neu gewählt werden.

Bleibt während diesem Ausscheidungsverfahren eine einzige Ausprägung bei einem Baustein übrig, dann wird die Lösung ebenfalls eingeblendet. Die Hintergrundfarbe der automatisch definierten Ausprägung ist in diesem Fall blau-grau, um die Information der Auswahl durch Ausscheidung zu vermitteln (siehe Bild 69, letzter Eintrag in der mittleren Spalte).

Die Maske der technischen Sicht auf dem zweiten Reiter ist ähnlich aufgebaut wie diejenige der Kundensicht. Der Bildschirm ist hier jedoch nur in zwei Spalten vor (vgl.

Bild 70) aufgeteilt. Die Produktübersicht ist nicht mehr eingeblendet, da in der technischen Sicht oft Baugruppen dargestellt werden, die gemeinsam das gesamte Produkt beschreiben. Hier besteht die Möglichkeit, direkt bei jeder Bausteinausprägung [tm] ein Bild zu hinterlegen.

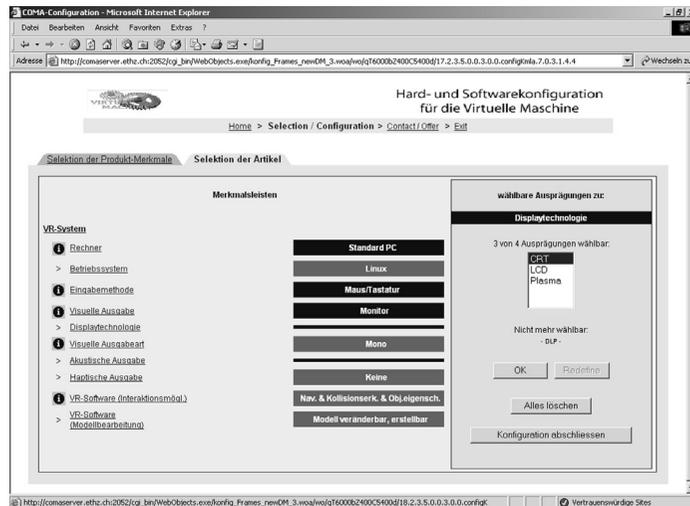


Bild 70: Ein Beispiel der Bedienoberfläche der technischen Sicht

Jedes Element (Merkmal oder Baustein) kann mit einem Info-Button (siehe Bild 70, links) ausgestattet werden, mit der Möglichkeit, zusätzliche Information zum Thema, zum Baustein oder zu einzelnen Ausprägungen zu hinterlegen.

Im nächsten Kapitel wird der generische und dynamische Teil der Anwendung aus dem Blickwinkel der Interface-Gestaltung geprüft. Dieses Kapitel dient der Verifizierung der Validität der vorgestellten Konzepte.

Kapitel 9

Verifizierung des Interface

Die Verifizierung der Anwendung hat nicht erst mit den abschliessenden Entwicklungsphasen begonnen, sondern ist immer wieder von potentiellen Benutzern getestet worden.

(Brinck, Gergle et al. 2002) unterscheidet zwischen einer frühen und späten Evaluation, wobei die frühe Evaluation der Validitätsidentifizierung konzeptueller Gedanken dient. Spezifische Aufgaben und Detailfragen können in dieser Phase nicht identifiziert werden, sondern erst in der späten Evaluation. Dementsprechend ist auch die Bedienoberfläche in einem speziellen Labor, dem sogenannten *Usability Lab* der ETH Zürich, mit einem induktiven Benutzungstest (vgl. (Rauterberg, Spinax et al. 1994)) getestet worden. Hierbei soll die wissenschaftliche Belegung der Validität des GUI mittels gezielter Aufgaben dargestellt werden. Darüber hinaus sollen die Benutzungstests zur Gewinnung von Gestaltungs- und Verbesserungsvorschlägen bzw. zur Analyse von Schwachstellen in der Benutzbarkeit dienen.

9.1 Verifizierung der Anwendung

Bezüglich der Bedienbarkeit und des intuitiven Verständnisses, ist das Abfragetool die Anwendung, welche die strengeren Anforderungen an das System stellt, da der potentielle Benutzerkreis auch unerfahrene Unternehmenskunden umfasst. Die

Anforderungen sind auch durch das dynamische Verhalten der Daten am Bildschirm verursacht: Jedes Produkt weist eine unterschiedliche Anzahl an beschreibenden Merkmalen, Ausprägungen und Bausteinen auf, die eingeblendet werden müssen. Ausserdem verändert sich nach jeder Auswahl (Selektion) die Menge an Daten, die am Bildschirm dargestellt werden. Dabei soll die Grundidee hinter den Sichten der Matrizen dem Benutzer einfach und intuitiv vermittelt werden können.



Bild 71: Der Funktionsbaum mit Wertigkeiten (9 wichtig - 1 unwichtig)

Aus den obengenannten Gründen ist der Fokus speziell auf die Untersuchung der Validität des Interface-Konzeptes für die Funktionalitäten des Abfragetools gelegt worden.

In Bild 71 ist der Funktionsbaum mit der vom Entwicklungsteam festgelegten Gewichtung entsprechender Funktionsgruppen dargestellt.

Alle Szenarien der Tests haben die Funktionen um die Abfragen der Matrixdaten überprüft. Abwechslungsweise wurde ausserdem auch die Validität anderer Funktionsgruppen nach der Wertigkeitsverteilung (Bild 71) jeweils in einem Szenario getestet. Für die Tests wurden drei Szenarien von Anwendungen mit jeweils drei bis fünf Aufgaben erarbeitet (siehe Anhang C).

9.1.1 Verifizierungskriterien

Nach der Bestimmung der zu verifizierenden Funktionalitäten wird nun definiert,

nach welchen Kriterien die Seiten überprüft werden sollen. Solche Verifizierungskriterien werden in der Literatur beispielsweise in (Brinck, Gergle et al. 2002), (Nielsen 1999-2001) und (Galitz 1997) oder in der im Kap. 7.2 "Richtlinien zur Gestaltung interaktiver Systeme" erwähnten ISO9241-Teil10 behandelt:

- **Visuelle Gestaltung**

Gutes Design verkörpert Leistung, Funktionalität und Einfachheit mit einem gefälligen Aussehen. Die Hauptelemente der Seite sollen klar und deutlich erkennbar sein und der visuelle Fluss der Seite sollte dem Ablauf der Aufgabe folgen.

- **Einfachheit**

Einer der Grundsätze des User-Interface ist die möglichst einfache Gestaltung der Abläufe. Ein Ziel, im Sinne einer Funktionsausführung, sollte möglichst schnell und einfach erreicht werden: d.h. mit einer minimalen Anzahl an Befehlseingaben.

- **Navigation**

Die Übersichtlichkeit der Navigation soll garantiert werden. Der Benutzer soll immer wissen, wo die Navigation auf der Seite ist und wo er sich selbst in der Seitenstruktur gerade befindet. Dabei soll den verschiedenen Navigationsebenen sowie möglichen Navigationslücken besondere Beachtung geschenkt werden.

- **Ladegeschwindigkeit**

Die Geschwindigkeit, mit der eine Seite geladen wird, ist massgebend für die Akzeptanz der Seite. Deshalb soll die Anwendung auch unter Verwendung langsamerer Verbindungen mit einer angemessenen Geschwindigkeit geladen werden.

- **Aufgabenstruktur**

Die Aufgabe des Benutzers sollte immer klar sein und die Seite sollte die Benutzer-aufgabe unterstützen. Dies unterstützt die Lösung der Aufgabe und vereinfacht die Erlernbarkeit des Systems. Ein Benutzer sollte immer wissen was er tut, wann er was tut und wieso er einen Befehl ausführt.

- **Kontrolle**

Der Anwender muss zu jedem Zeitpunkt die Interaktion kontrollieren können. Die Aktivitäten der Anwendung sollen immer nach expliziten Befehlseingaben durch den Benutzer ausgeführt werden und zu jedem Zeitpunkt unterbrechbar sein.

Ausserdem soll der Anwender ein Feedback erhalten, was das System gerade ausführt und/oder gerade ausgeführt hat. Falls ein Befehl nicht wunschgemäss abgelau- fen ist, soll das System eine kurze, prägnante und hilfreiche Antwort liefern.

9.2 Vorgehensweise

Das Ziel der Durchführung von Tests im *Usability Lab* ist die gezielte Beobachtung von Benutzern bei der Problemlösung; sowie die strukturierete Erfassung von möglichen Fehlern. Dabei werden die Vorgehensweise sowie das Verhalten der Probanden erfasst und ausgewertet.

9.2.1 Versuchstests im Usability Lab

Die spezifische Einrichtung des Versuchsraums, der mit verschiedenen Kameras aus unterschiedlichen Blickwinkeln bestückt ist, ermöglichen die Erfassung jeder Bewegung der Versuchsperson. Ausser den technischen Einrichtungen ist der Versuchsraum isoliert, hell und ruhig, sodass sich die Versuchsperson entspannen kann und - bei der Problemlösung - sich nicht von der Aussenwelt stören lässt.

Die Besonderheit von solchen Test ist die aufmerksame und fachspezifische Beobachtung der Handlungen der Versuchspersonen. Dabei gilt die gezielte, funktionsbezogene Aufbereitung der Testszenarien als zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Durchführung.

Während der Tests wird jede mögliche Unsicherheit der Probanden schriftlich aufgenommen. Somit wird jede einzelne Funktionalität sozusagen „seziert“ und einzeln unter die Lupe genommen. Am Ende der Tests wird ein Bericht verfasst, der alle möglichen Beobachtungen von jeder einzelnen Funktionalität enthält. Auf der Basis dieses Berichtes lassen sich Rückschlüsse auf jeder Ebene des Interface ziehen:

- Auf einzelnen Funktionen, die Mängel aufweisen oder zweideutig sind.
- Auf der Seitenstruktur und -orientierung, z.B. Erkennung der Navigation.
- Auf der Ebene der Aufgabenlösung, wie z.B. Mängel oder Verwirrungen im Aufgabenfluss.
- Auf inhaltlicher, produktbezogener Ebene, wie z.B. ungeeignete Begriffe, zu fachspezifisch.

Aufgrund dieser Erkenntnisse, können gezielte Verbesserungsmaßnahmen eingeleitet werden.

Aus der Durchführung einer Serie von drei bis sechs Tests können in der Regel die größten Unklarheiten und Inkonsistenzen im Interface einer Anwendung eruiert werden. Die Zeitspanne für die Ausführung eines Versuches beträgt 60 bis 90 Minuten.

Für die Verifizierung des K- & V-Matrix-Systems wurden vier Versuche durchgeführt, wobei bei jedem Versuch jeweils zwei Szenarien durchgespielt worden sind. Die drei ausgearbeiteten Szenarien mit den Aufgaben sind im Anhang C aufgeführt.

Die vier Versuchspersonen stammten aus verschiedenen internen Bereichen der Unternehmung (Technik und Verkauf), sowie aus externen Bereichen (potentielle Käufer). Der Alter hat zwischen 30 und 55 Jahre variiert und alle Versuchspersonen haben regelmässig das Internet benutzt, z.T. schon um Ware zu bestellen.

9.2.2 Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung

Eine sorgfältige Aufbereitung sowie die Probeausführung der Szenarien ist eine feste Voraussetzung für eine erfolgreiche Durchführung einer Untersuchung dieser Art. Unmittelbar vor der Durchführung werden folgende Daten erfasst:

- Information über die prüfenden Personen
- Erfahrungen der Testpersonen mit dem Informationsmedium Internet

Wie bereits erwähnt, werden während der Tests die Beobachtungen durchgeführt.

Nach dem Test wird folgendes eruiert:

- Informationen über die Erfahrungen der Probanden. Solche Erfahrungen werden nach dem Test in einer lockeren Diskussionsrunde mit dem Fachpersonal des *Usability Lab* besprochen. Das dient unter anderem auch der Bestätigung oder der Ablehnung der gewonnenen Eindrücke während der jeweiligen Tests. Solche Informationen fliessen ebenfalls in den abschliessenden Bericht ein.

Um gezielte Verbesserungsmaßnahmen treffen zu können, werden die erfassten Beobachtungen und mögliche Fehler klassifiziert. Dabei können verschiedene Arten von Fehlern erkannt werden:

- Individuelle Fehler: Fehler, die nur von einem Probanden einmalig begangen werden.
- Betätigungsfehler: Fehler, die im Zusammenhang mit der Betätigung von einzelnen Funktionalitäten begangen werden.
- Konzeptionelle Fehler: Fehler, die aufgrund der Strukturierung zu Missverständnissen, Unklarheiten und Verwirrungen im Interface führen.

9.3 Resultate

Die Auswertung hat ergeben, dass gewisse individuelle Fehler vernachlässigt werden können, da die Gestaltung davon nicht direkt beeinflusst wird. Die anderen Fehlerarten sind analysiert und gemäss der in Kap. 9.1.1 vorgestellten

Verifizierungskriterien diskutiert worden:

- **Visuelle Gestaltung**

Die visuelle Gestaltung der Seite konnte ohne grosse Probleme von den Testpersonen erfasst werden. Die wichtigsten Elemente konnten richtig gedeutet werden und passten ins innere Bild des Benutzers. Einige sekundäre Inkonsistenzen konnten jedoch festgestellt werden.

In diesem Zusammenhang wurden graphische Elemente, die einen Hyperlink darstellen, mit einem blauen Rahmen bestückt. Somit ist das Unterscheiden eines aktiven von einem statischen Bild erleichtert. Ein Beispiel dazu ist in Bild 70 bzw. in Bild 75 bei der Darstellung des *Info*-Buttons neben einigen Merkmalen gegeben.

- **Einfachheit**

Die Funktionsausführung konnte in der Regel ohne Probleme gestartet werden. Im spezifischen Fall der Interaktion mit den Matrizen Daten war die *Redefine*-Funktion in zu viele Schritte aufgeteilt worden. Die meisten Benutzer wussten nach der Betätigung des *Redefine*-Buttons nicht mehr, wie es weitergeht, weil sich die Erwartungen nicht mit dem eingeblendeten Bild deckten. Das konnte durch das Vereinen zweier Funktionen in einem Befehl behoben werden (siehe Bild 72).

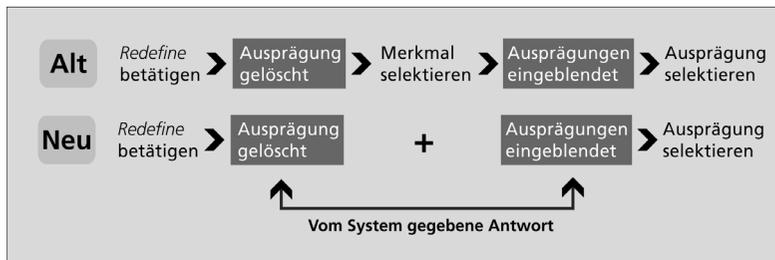


Bild 72: Verbesserung der Befehlssequenz bei der Betätigung des Redefine-Buttons

- **Navigation**

Die Navigation konnte die gesteckten Ziele aufgrund eines Überlegungsfehlers in der Konzeptionsphase nicht erreichen. In den Interviews mit den Testpersonen konnte festgestellt werden, dass die Navigation zu wenig wahrgenommen wurde.

Die Gründe waren: die unauffällig ausgefallene visuelle Gestaltung der Navigationsleiste und deren Elemente sowie die Position am Bildschirm. Die Lage der Navigationsleiste war nahe derjenigen der CI-Elemente. Somit wurden diese zwei Objekte

auch als zusammengehörig wahrgenommen. Dadurch, dass die Logos meistens bunt und grösser als die Navigationselemente waren, konnten die Navigation schlecht oder gar nicht wahrgenommen werden.

Die verbesserte Navigationsleiste befindet sich in der Seitenanordnung aufgeschlossen zum Arbeitsbereich (Bild 73, Punkt 3) und weist die gleiche Breite auf (vgl. Bild 73). Somit schafft die Navigation eine klarere visuelle Trennung zwischen dem invarianten CI-Bereich und dem dynamischen Arbeitsbereich.

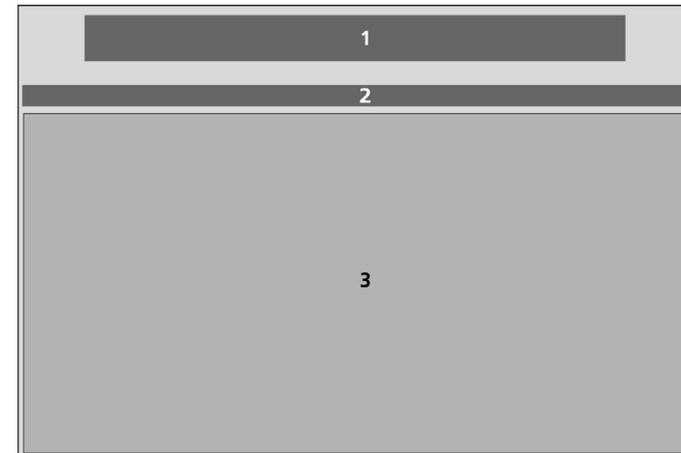


Bild 73: Verbesserte Seitenstruktur

Die Navigationselemente selbst wurden ebenfalls hervorgehoben, um dem Erscheinungsbild ein kräftigeres, eindeutigeres Profil zu verleihen. Selektierbare Hyperlinks sind mit grauen Flächen hinterlegt und die jeweils aktuelle Seite in der Navigationsleiste wird zusätzlich hervorgehoben, wie in Bild 61 auf Seite 135 und in Bild 74 dargestellt.



Bild 74: Die neue Navigationsleiste

Die Produktnavigation wurde ebenfalls mit einem kräftigeren Profil versehen. Die Reiter sind mit einem Rahmen hervorgehoben worden, was die Unterscheidung des

selektierten Reiters von den Anderen vereinfacht (vgl. Bild 75 und Bild 77).

Ausserdem wurden die teilweise langen Listen mit Merkmalen und Bausteinen visuell unterstützt. Jede Ausprägung ist mit einer zusätzlichen, breiteren Hintergrundfläche versehen, die die Zugehörigkeit zum entsprechenden Merkmal oder Baustein visuell betont (vgl. Bild 75 und Bild 77). Dadurch wird die Wahrnehmung der Zugehörigkeit Merkmal-Ausprägung oder Baustein-Ausprägung in den langen Listen vereinfacht.

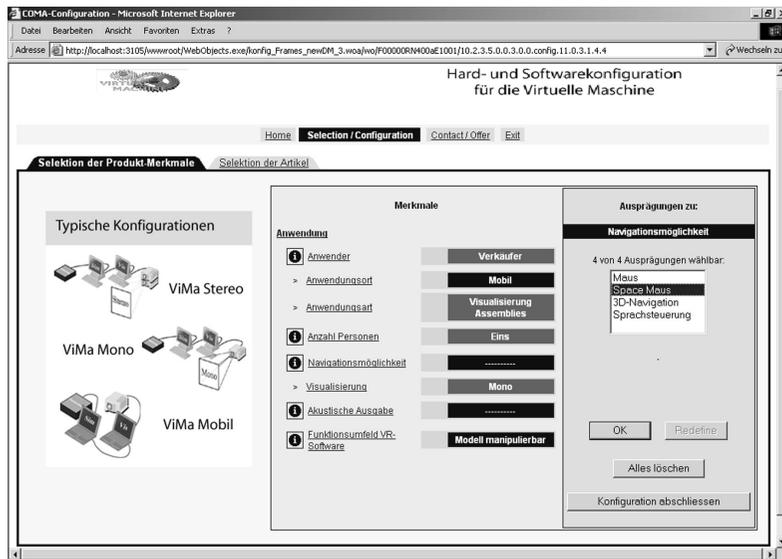


Bild 75: Die aktualisierte Maske der Kundensicht

• **Ladegeschwindigkeit**

Die Ladegeschwindigkeit ist im Kontext dieser Anwendung kein Problem, da die Interaktion immer in HTML-Seiten stattfindet und die ausgetauschte Datenmenge relativ gering ist.

• **Aufgabenstruktur**

Die Aufgabenstruktur wurde mit einer zusätzlichen Seite erweitert, die zu jedem Zeitpunkt von der Selektionsseite aufgerufen werden kann. Diese gibt eine Übersicht der bis zu diesem Zeitpunkt selektierten Ausprägungen beider Sichten (vgl. Bild 76)

und dient auch als Zeichen für den Abschluss der Selektionsaktivitäten. Durch das Einblenden des Konfigurationsresultates wird dem Benutzer auch bestätigt, dass die selektierten Ausprägungen von der Anwendung gespeichert wurden.

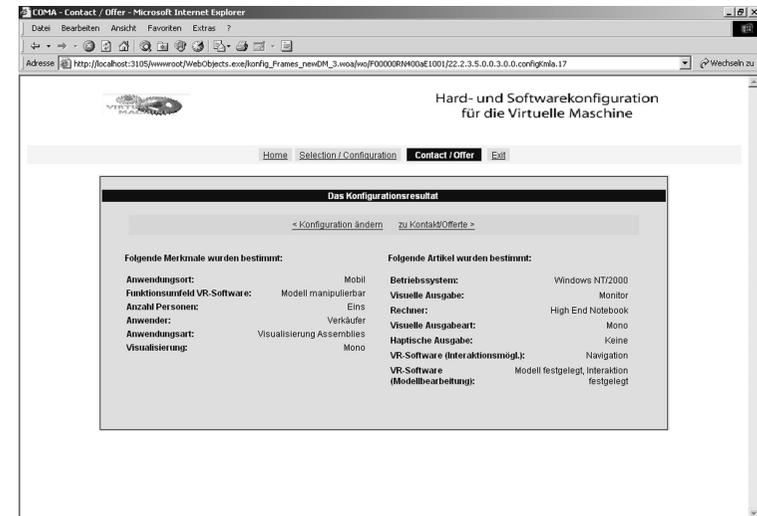


Bild 76: Eine Zusammenfassung der gewählten Objekte

• **Kontrolle**

Dieser Einflussfaktor hat keine massgebliche Rolle in der Anwendung gespielt. Durch die Verwendung üblicher Interaktionsbausteine und deren Eigenschaften, sind diese aus Benutzersicht erwartungskonform ausgefallen.

Ein weiterer Aspekt, der während der Tests speziell beobachtet wurde, ist das Verständnis für den Mechanismus der Sichten (Kundensicht und technische Sicht, vgl. Kapitel 5.2.1 auf Seite 62) in den Masken. Alle Testpersonen haben keine Mühe mit dieser Darstellung der Information bekundet.

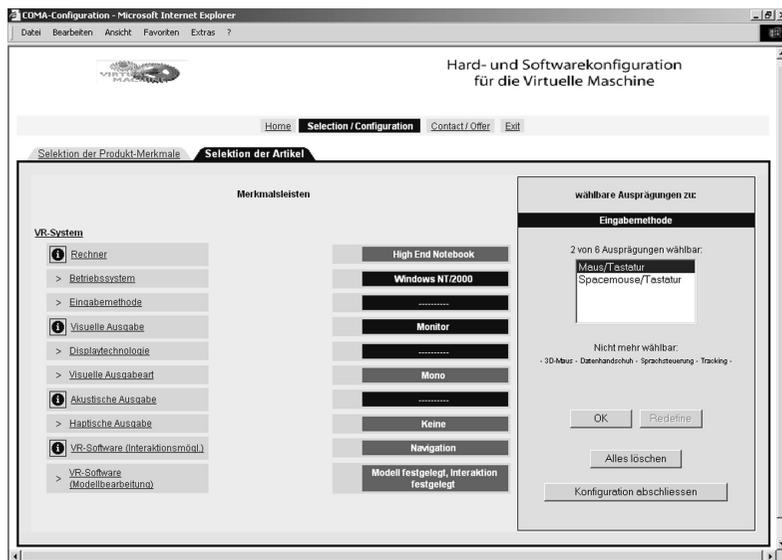


Bild 77: Die überarbeitete Maske der technischen Sicht

Die Tests haben die Validität der Konzeption sowie der Implementierung des Interfacekonzeptes belegt. Jedoch konnten diese Versuche auch einzelne, wichtige Schwachstellen aufdecken, die nach der Auswertung der Resultate gezielt verbessert worden sind. Dadurch wurde das visuelle Profil der Anwendung verstärkt zum Ausdruck gebracht, was insbesondere für gelegentliche Benutzer eine praktische Hilfe darstellen soll.

Kapitel 10

K- & V-Matrix und die Konfiguration

Obwohl die Produktkonfiguration im Entwicklungsprozess definiert wird, muss sie zwecks Verifizierung in den alltäglichen Kontext des Verkaufsprozesses gestellt werden. In Abhängigkeit vom Komplexitätsgrad des Produktes sowie des Vertriebsprozesses kann die Konfiguration einfach oder komplexer und mehrstufig gestaltet werden. Deswegen wird im nächsten Unterkapitel eine Typisierung der möglichen Vertriebsarten mit Einbezug der vor- und nachgelagerten Prozesse - wie die Lagerverwaltung oder die Produktion - vorgenommen. Im zweiten Teil des Kapitels wird für jede Typisierung je ein Verifizierungsbeispiel der Methode und der Anwendung vorgestellt. Dabei steht zur Diskussion, wie weit die K- & V-Matrix für die jeweilige Typisierung geeignet ist.

10.1 Konfiguration im Spannungsfeld der Produkt- und Vertriebskomplexität

Wie bereits in Kapitel 4 diskutiert, werden die Inhalte der Konfiguration schon während der Produktentwicklung in groben Zügen definiert. Weiter wird die Konfiguration durch die Integration in die Prozesskette der Wertschöpfung ergänzt und vervollständigt. Um die Produkt- sowie auch die Prozesskonfiguration zu charakteri-

sieren, müssen die Produkt- sowie die Vertriebskomplexität miteinbezogen werden.

10.1.1 Produktkomplexität

Nach (Göpfert 1998) wird die Komplexität in Beziehungs- und Elementvielfalt eines Systems unterteilt. Im Fall eines modularen Produktes bleibt die Beziehungsvielfalt in den Modulen (Subsysteme), gegenüber anderen Produktarchitekturen, unverändert. Jedoch wird sie zwischen den Modulen reduziert bis - im Idealfall - sogar minimiert. Die Elementvielfalt eines Produktes kann in Variabilität (Arten von Elementen) und Teilezahl (Anzahl Elemente) unterteilt werden. In (Ehrlenspiel 1995) und (Koller 1994) wird in diesem Zusammenhang Folgendes festgestellt: Mit der steigenden Zahl der Teile steigt auch die Komplexität des technischen Systems. Aufgrund dieser Aussage wird im Folgenden die Anzahl der Teile als darstellende Grösse für die Komplexität des Produktes benutzt (vgl. Bild 78).

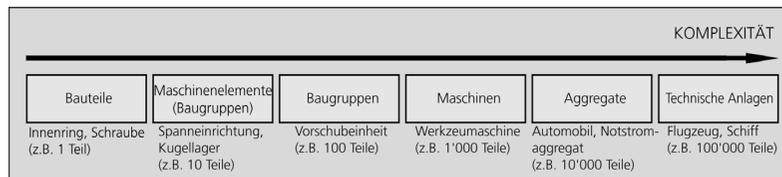


Bild 78: Die Komplexitätsskala der Produkte nach (Ehrlenspiel 1995) und (Koller 1994)

10.1.2 Vertriebskomplexität

Die Vertriebskomplexität zeichnet sich durch die Art und Weise aus, wie die Kundenwünsche mit einem Produkt in Verbindung gebracht werden.

In diesem Sinne kann der Abwicklungsprozess zum einen einstufig sein, wenn der Kunde unmittelbar ein Produkt auswählt (z.B. Normteile oder Haushaltgeräte). Zum anderen ist ein mehrstufiger Abwicklungsprozess gegeben, wenn die Kundenanforderungen erst über eine mehrstufige Interaktion zwischen den Beteiligten (Kunde, Verkauf und Engineering) zu einem Produkt führen. Dies tritt bei stark individualisierbaren Produkten auf, wie beispielsweise bei Werkzeugmaschinen oder Flugzeugen. (Göpfert 1998) nennt mögliche Ursachen für den mehrstufigen Abwicklungsprozess: die Komplexität (des Produktes), die Neuartigkeit, die Dynamik und die Zielunklarheit.

10.1.3 Typisierungen der Gestaltung der Auftragsabwicklung

Im Bereich der Logistik, Produktionsplanung und *Customer Relationship Management* (CRM), das auch die Konfiguration enthält, werden vier charakteristische Typisierungen zur Beschreibung möglicher Auftragsabwicklungsarten unterschieden (vgl. (Schönsleben 2000), (Marbacher 2001), (Veen 1992) und (Verho und Salminen 1993)): Make-to-Stock (MTS), Assemble-to-Order (ATO), Make-to-Order (MTO) und Engineer-to-Order (ETO) ((Hoekstra und Argelo 1992) und (Sari 1981) sehen auch eine fünfte Typisierung vor, die im Kontext dieser Arbeit jedoch nicht weiter verfolgt wird).

Das massgebende Unterscheidungsmerkmal ist dabei der sogenannte *Order Penetration Point* (OPP), auch *Customer Order Decoupling Point* (CODP) genannt, welcher den Zeitpunkt der Entstehung einer kundenindividuellen Variante in der Wertschöpfungskette angibt (vgl. Bild 79). Die kundenspezifischen Anforderungen beeinflussen einerseits das Produkt und andererseits die Auslegung der gesamten Prozesskette vom ersten Kundenkontakt bis zur Lieferung. Diese Betrachtungsweise ähnelt derjenigen in Bild 19 auf Seite 50. Je früher die Kundenanforderungen in die Wertschöpfungskette einfließen, desto grösser sind die möglichen ausgeübten Einflüsse an derselben und desto detaillierter sind die anzubringenden Änderungen an die Produkte. Im MTS-Fall werden nur Gesamtprodukte beeinflusst; hingegen im ETO-Fall werden sogar einzelne Features vom Kunden direkt bestimmt.

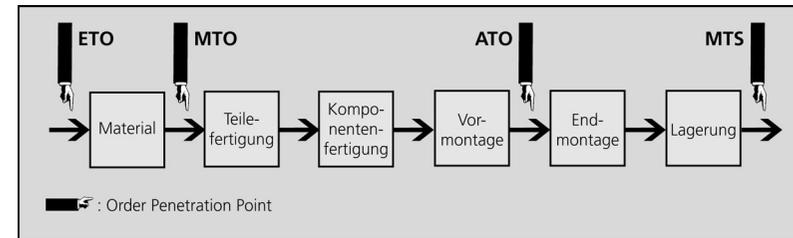


Bild 79: Typisierung der Auftragsabwicklung in Abhängigkeit der unterschiedlichen order penetration points (In Anlehnung an (Ley 2001) und (Wortmann, Muntslag et al. 1997))

10.1.4 Make-to-Stock (MTS)

In der *Make-to-Stock*-Umgebung findet der Verkauf der Produkte ab Lager statt. Es handelt sich hierbei um eine einfache Auswahl fertiger Produkte: Der Kunde wählt

das gewünschte Produkt aus der Produktpalette aus (vgl. (Wüpping 2000)).

Die Produktionsplanung steht im Dienste der Belieferung der Lagerbestände und die Bevorratung findet auf der Ebene der Endprodukte aufgrund von Nachfragehochrechnungen statt (Jiao, Tseng et al. 1999), (Schönsleben 2000). Zugleich ist die Variabilität dieser Produkte ziemlich beschränkt (Erens 1996), wobei die Loyalität der Kunden hauptsächlich auf günstigen Preisen basiert.

Einige Beispiele für *Make-to-Stock* sind Haushaltgeräte (z.B. Waschmaschine, TV usw.) oder allgemeine Baureihenprodukte (z.B. Schrauben).

10.1.5 Assemble-to-Order (ATO)

Im *Assemble-to-Order* werden Baugruppen oder Module auftragsneutral vorgefertigt. Aufgrund einer Kundenbestellung (Konfiguration) wird das gewünschte Produkt aus den bereits hergestellten Modulen montiert (Marbacher 2001). Im Falle des ATO werden gut durchdachte Produktfamilien beschrieben, welche Kundenanforderungen innerhalb eines bestimmten Spektrums abdecken. Typische Beispiele aus der Praxis sind Computer (z.B. Dell) oder herkömmliche Serien-Fahrzeuge, die vielfach direkt vom Kunden konfiguriert werden können.

10.1.6 Make-to-Order (MTO)

Produktfamilien im Bereich des *Make-to-Order* besitzen immer noch eine vordefinierte und klar abgegrenzte Produktvariabilität. Alle Materialien, Teile und Komponenten dieser Endprodukte, sowie die dazugehörigen Produktionsabläufe sind bestimmt, einzig der Zeitpunkt der Bestellung und die Bestellmenge sind unbekannt (Marbacher 2001). Der Hauptunterschied zu einer *Assemble-to-Order*-Umgebung liegt in der Tatsache, dass nicht nur der Endmontageprozess, sondern auch vorgelagerte Prozesse - wie die Fertigung oder die Vormontage von Halbzeugen - von den Kundenwünschen beeinflusst werden.

Aufgrund der spezifischen Konfiguration des Produktes stehen für den Kunden eher kurze Lieferzeiten als tiefe Preise im Vordergrund.

10.1.7 Engineer-to-Order (ETO)

Bei *Engineer-to-Order* wird nicht unbedingt auf ein Produkt fokussiert, sondern es stehen meistens, neben dem eigentlichen physischen Produkt, eine Reihe von Dienstleistungen wie Anpassungen im Engineering, die Inbetriebnahme und die Wartung mit im Vordergrund. Das Gesamtpaket (Produkt und Dienstleistungen) wird nach

Kundenspezifikationen entwickelt und anschliessend hergestellt.

Vielfach entsteht das neue Produkt auf der Basis einer Evolution abgeschlossener Aufträge, die an die neuen, ähnlichen Rahmenbedingungen angepasst werden (vgl. (Veen 1992) und (Zwicker 2001)).

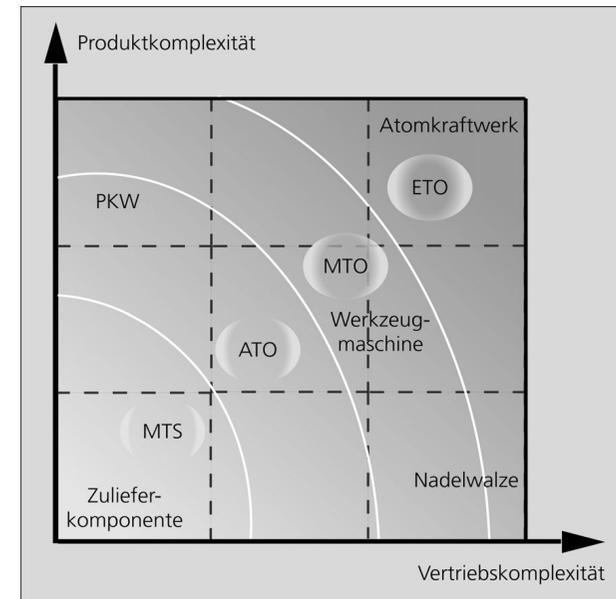


Bild 80: Das Spannungsfeld der Vertriebs- und Produktkomplexität (in Anlehnung an (Wüpping 2000))

Die Matrix in Bild 80 dient als Synthese der zur Klassifizierung des Verkaufsprozesses relevanten Aspekte. Aus dem Vergleich der qualitativen Werte der beiden Achsen und dem Inhalt der oberen Abschnitte lässt sich unschwer erkennen, dass sich die Typisierungen in der Diagonale positionieren lassen. Vom Ursprung aus in Richtung Produkt- bzw. Vertriebskomplexität werden MTS, ATO, MTO und ETO angeordnet.

10.2 Beispiele aus der Praxis

In Anlehnung an die oben vorgestellte Klassifizierung werden in den folgenden

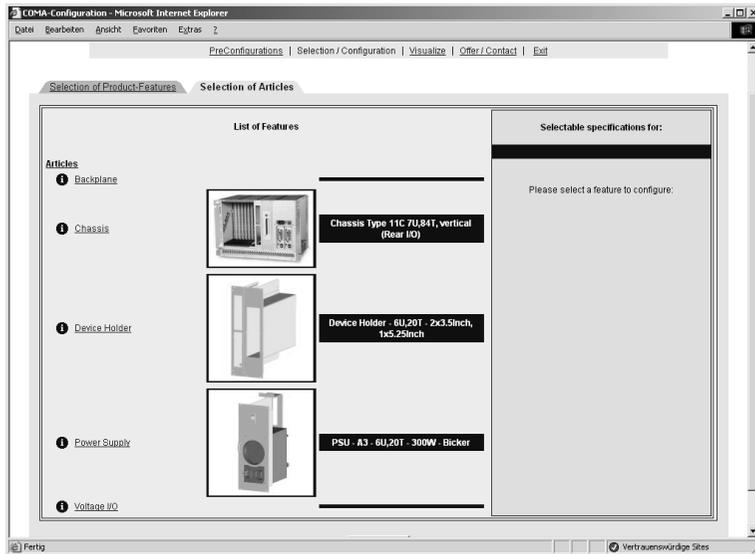


Bild 83: Die technische Sicht auf dem Interface des K- & V-Matrix-System

10.2.3 Make-to-Order und die K- & V-Matrix

Im Gegensatz zum ATO-Fall enthält der MTO-Fall Ausprägungen, die kundenspezifische Parameter verkörpern.

Ein Beförderungselement einer Müllereianlage wurde mit der Methode modelliert und in das System abgebildet. Die technische Sicht besteht ähnlich wie im ATO-Fall aus der Auflistung der Variantenbaugruppen oder Variantenteile der Beförderungsanlage. Diese werden zum grossen Teil über das Mapping der Merkmale und über Ausprägungen bestimmt, die in der Kundensicht abgebildet sind.

Zusätzlich ist eine Serie von kundenspezifischen Features in der Kundensicht definiert (siehe Bild 84, Punkt 1), welche zur Berechnung verschiedener Parameter des Produktes benötigt werden, wie zum Beispiel das Feature *Länge des Beförderungselementes*. Solche Features beeinflussen direkt die Parametrik der Baugruppe. Da sie jedoch nicht diskretisiert werden können und in Reihen von ordinalen Werten abbildbar sind, werden sie in Form von kardinalen Werten erst zu Beginn der Konfiguration durch den Benutzer festgelegt (siehe Bild 84, Punkt 2). In der Kundensicht werden

diese Features zwar als Kundenmerkmale aufgeführt, jedoch besitzen sie keine Ausprägungen. Die Ausprägungen werden direkt im System verwaltet und dienen als Eingangsgrößen zur Auslegung gewisser Parameter in der Baugruppe und beeinflussen andere Kundenmerkmale.

Ausserdem ist eine Reihe von Erfahrungswerten in tabellarischer Form abgelegt (siehe Bild 84, Punkt 3). Solche Werte sind nicht in der Kundensicht aufführbar, da diese nicht direkt vom Kunden definiert werden. Sie dienen mit den kardinalen Werten der Auslegung von einzelnen Bauteilen.

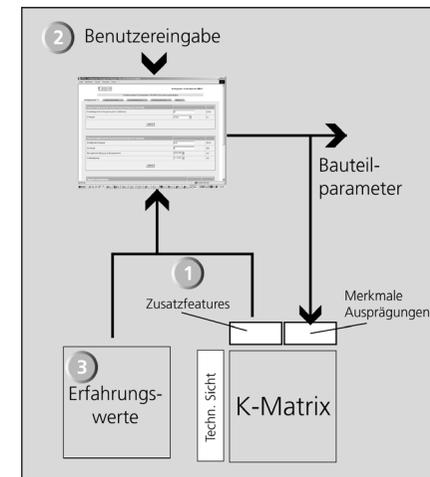


Bild 84: Das Zusammenspiel zwischen System und Methodik im MTO-Fall

Zur Veranschaulichung des Regelwerks für die Auslegung des Beförderungselementes wird ein Flussdiagramm herangezogen, das eine graphisch-textuelle Verbindung zwischen der K-Matrix und den Tabellen herstellt (vgl. Bild 85).

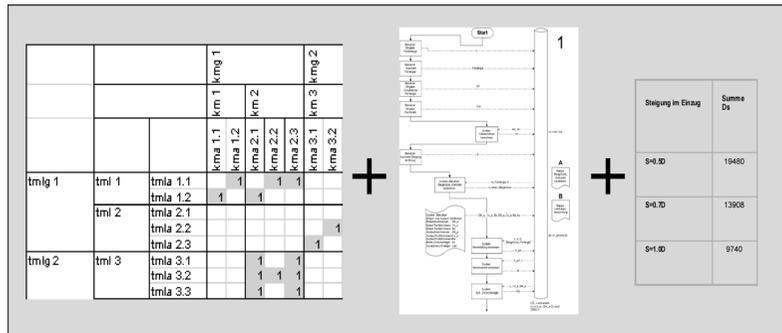


Bild 85: Die Abbildung der für die Konfiguration relevanten Daten erfolgt in den Matrizen, in Flussdiagrammen und Tabellen

Die Software-Anwendung sowie die Datenbank müssen ebenfalls angepasst und erweitert werden. Eine Serie von fallspezifischen Klassen bilden die Formeln, die ausserhalb der Matrix festgehalten sind, ab. Die Datenbank wird mit den Erfahrungswerten erweitert.

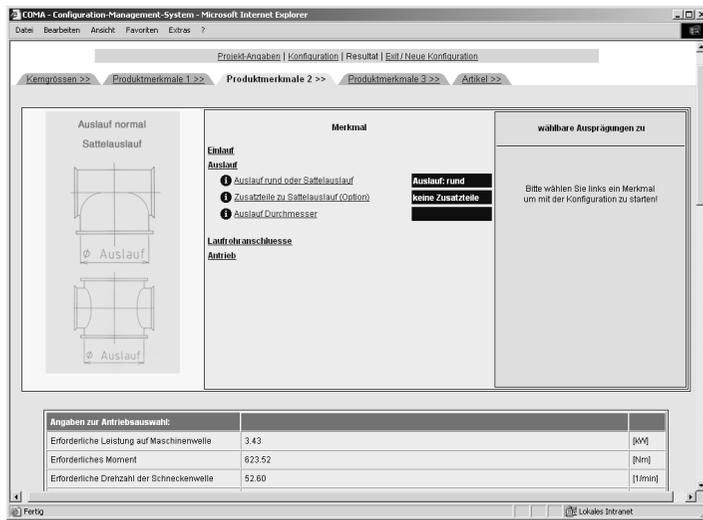


Bild 86: Eine für die Anwendung angepasste Maske

Der Ablauf der Konfiguration wird in vier sequentiell angeordneten Teilschritten dargestellt, die auf entsprechenden Reitern im Interface abgebildet sind.

10.2.4 Engineer-to-Order und die K- & V-Matrix

In diesem Fall kann im engeren Sinn gar nicht von Konfiguration die Rede sein, sondern eher von einer systematischen Erfassung von Anforderungen, welche die Voraussetzungen für die spätere Produktentwicklung bzw. -anpassung schaffen sollen.

Die Methode und das System sind am Beispiel einer Nadelwalze verifiziert worden. Das Produkt selbst ist sehr einfach, jedoch führen die unterschiedlichen Anwendungsgebiete (Separierung, Perforation, Fibrillierung usw.) und die unterschiedlichen zu bearbeitenden Materialien (Holz, Metalle, Nonwoven usw.) zu einer hohen Auftragsvielfalt. Ausserdem muss jeder Auftrag im Engineering bearbeitet werden.

Die Matrix ist mit dem Ziel erstellt worden, die ersten Schritte des mehrstufigen, iterativen Abwicklungsprozesses zu unterstützen. Die Kundensicht besteht aus einer Serie von Daten, welche das Einsatzgebiet der Walze, die Leistungsmerkmale sowie die geometrischen Merkmale beschreiben. Die technische Sicht besteht aus den Einzelteilen, welche mit verschiedenen spezifizierenden Merkmalen, wie dem Material, der Baugeometrie, den Oberflächeneigenschaften oder der Nadelanordnung beschrieben werden. Das Mapping in der K-Matrix ist in den meisten Fällen relativ diffus, d.h. sie enthält viele Korrelationen.

Die Merkmalsauswahl in der technischen und in der Kundensicht dient der systematischen Erfassung der Daten für die Entwicklung des Produktes. Am Ende einer Auswahl bleiben meistens mehrere mögliche Lösungen übrig, die dem Engineering das Spannungsfeld der zukünftigen Entwicklung zeigen.

Weiter müssen die geometrischen Merkmale, ähnlich wie im MTO-Fall, ebenfalls parallel erfasst werden, da die Erfassung kardinaler Werte in der Methode nicht vorgesehen ist.

Das System ist ebenfalls mit einer zusätzlichen, fallspezifischen Seite (Reiter) für die Erfassung der geometrischen Daten erweitert worden.

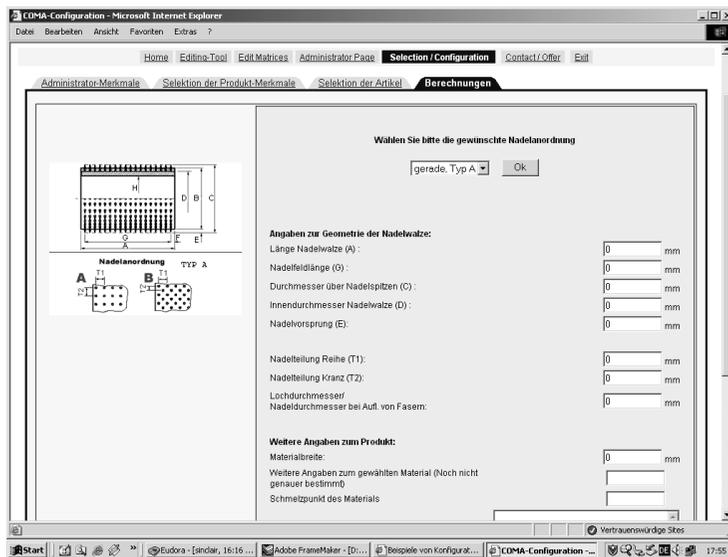


Bild 87: Maske zur Erfassung kardinaler Werte

10.3 Schlussfolgerungen

Die Methodik und die Anwendung eignen sich sehr gut für Produkte der Typisierungsart MTS und ATO, weil im Allgemeinen klar strukturierte Produkte mit wenig Beziehungswissen vorliegen. Die Grenzen der Methodik und des Tools kommen zum Vorschein, sobald das Beziehungswissen des Produktes mit Formeln und komplexen Regeln beschrieben wird.

Die Beispiele zeigen jedoch, dass mit einer geschickten Kombination der Matrixform mit anderen Darstellungsweisen - wie Flussdiagrammen oder Tabellen - das gesamte Wissen graphisch repräsentiert werden kann. Dasselbe gilt für die Anwendung: Falls der generische Kern und die Matrizendaten nicht ausreichen, müssen fall-spezifische Lösungen dazu programmiert werden.

Kapitel 11

Diskussion und Ausblick

Das zu Beginn definierte Ziel der Entwicklung eines Ansatzes zur strukturierten Beschreibung von Konfigurationswissen wurde mit der K- & V-Matrix-Methode, sowie mit dessen softwaretechnischer Unterstützung angegangen. Dabei lassen sich die Kerneigenschaften der Methode wie folgt beschreiben:

- einfach zu verstehen und zu lernen,
- bildet einen wichtigen Teil des Konfigurationswissens ab,
- eignet sich für Variantenprodukte,
- kann nach der Definition der Produktstruktur je nach Bedarf immer erstellt und eingesetzt werden,
- kann keine komplexen Regeln und Formeln abbilden und
- kann keine offenen Baukästen sinnvoll modellieren.

Diese Eigenschaften der Matrix-Methode und die im Zusammenhang mit der Verifizierung gesammelten Erfahrungen zeigen, dass der Einsatz der Methode problemlos in der Technik und im Verkauf erfolgen kann. Dies aufgrund der einfachen Darstellung der Produktsichten sowie der verhältnismässig eingeschränkten Aussagemöglichkeiten in den Matrizenfeldern, die nur auf eine Zugehörigkeit (K-Matrix) oder auf eine Kombinierbarkeit (V-Matrix) mit einem binären Wertebereich (0,1) beschränkt sind. Diese Einfachheit erhöht die Akzeptanz und ermöglicht die Anwendbarkeit der Methode auf eine Serie von Aktivitäten im Bereich der Primär-

und Sekundärentwicklung, sowie während des Verkaufsprozesses:

- im Produktentstehungsprozess, um die Leistungsmerkmale der Produktfamilie mit den geplanten Werten zu überprüfen,
- bei Pflege- und Modifikationsaktivitäten im sekundären Entwicklungsprozess im Sinne einer Bestandesaufnahme und
- bei der Einführung eines Configurators.

Im primären Entwicklungsprozess erlaubt die Methode das erstmalige Erfassen von Konfigurationswissen. Die Methode muss jedoch nicht isoliert betrachtet werden, sondern soll in den Kontext des gesamten Prozesses gestellt werden. Die Kombinierbarkeit der K- & V-Matrix mit anderen Methoden, die einen Beitrag zur Entscheidungsunterstützung für modulare Produktarchitekturen leisten, stellt einen gesamtheitlichen, vollständigen Ansatz zur Entwicklung von variantenreichen, konfigurierbaren Produkten dar. Die K- & V-Matrix unterstützt dabei die Betrachtung von konfigurationsrelevanten Aspekten und bildet die nötige Information über die Variantenvielfalt ab, welche im Verlauf des Verkaufsprozesses benötigt wird.

Dieser Ansatz ist im Kontext dieser Arbeit auf theoretischer Ebene diskutiert worden. Weitere Untersuchungen und Forschungsarbeiten sollten nun die Validierung dieses Ansatzes anhand von praktischen, industrienahen Erfahrungen belegen. Ziel ist eine strukturierte Vorgehensweise bei der Entwicklung variantenreicher, modularer Produkte zu definieren, welche zu einer gemäss den unternehmerischen Zielen optimalen Produktarchitektur führen kann.

Der Einsatz der Methode im sekundären Entwicklungsprozess ist insbesondere im Tätigkeitsbereich Produktstrukturierung dargestellt worden. Die Validität des Ansatzes ist an verschiedenen Beispielen belegt worden. Die Anwendung der Methode ist insbesondere bei der Einführung des Digitalen Produktes in Unternehmen unabdingbar. In diesem Prozess ist die Analyse eine der ersten und wichtigsten Tätigkeiten, um das Spektrum der abgebildeten Produkte zu eruieren. Der Einsatz der K- & V-Matrix ermöglicht eine einfache Darstellung sowie die Analyse der Informationen und dient als kommunikative Brücke zwischen den beteiligten Bereichen (Engineering, Verkauf und Informatik).

Die im Kap. 5.4.1 "Erstellung der K- & V-Matrix im sekundären Entwicklungsprozess" diskutierte Vorgehensweise wurde bereits in der industriellen Praxis verifiziert. Weitere Untersuchungen sollen die Aussagen in diesem Ansatz erhärten. Insbesondere ist eine tiefere Integration mit anderen Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Einführung des Digitalen Produktes anzustreben.

Ausserdem soll die Vorgehensweise zur Erstellung der Methodik im sekundären Entwicklungsprozess auf einen möglichen Einsatz als Schulungsunterlage für die K- & V-Matrix untersucht werden. Dies soll im Hinblick auf die Verwendung der Methode im primären Entwicklungsprozess durchgeführt werden.

Bei der Entwicklung der Methode sind Aspekte wie die Einfachheit und die Erlernbarkeit aufgrund der gegebenen Randbedingungen im Vordergrund gestanden. In weiteren Untersuchungen soll jedoch der Optimierungsgrad zwischen der einfachen Erlernbarkeit und den komplexen Regeln sowie Formeln überprüft werden, mit dem Ziel, weiteres komplexeres Wissen in einfacher Art abzubilden.

In diesem Zusammenhang ist eine erste partielle Antwort im Abschnitt 10.2.3 auf Seite 164 skizziert: Der Ablauf der Konfiguration ist mit Hilfe eines mit den nötigen Formeln versehenen Flussdiagramms erweitert worden. Obwohl es sich um ein einzelnes Beispiel handelt, kann dies auf eine allgemeingültige Aussage untersucht werden, sowie als Startpunkt dienen, um Lösungen für die Abbildung von komplexerem Wissen - wie zum Beispiel komplexe Regeln oder Formeln - im Kontext der K- & V-Matrix zu finden. Ziel dabei ist die Methode mit anderen, einfachen graphischen Mitteln zu erweitern, welche einen möglichst grossen Teil des Konfigurationswissens abbilden können. Dabei soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass Ansätze daran gescheitert sind, die Gesamtheit des Wissens darzustellen, weil die praktische Anwendung zu kompliziert und anwenderfremd geworden war.

Das K- & V-Matrix-System versteht sich als Ergänzung zur Methode und ist zugleich als Festforderung für die Positionierung der Methode in den Kontext des Digitalen Produktes zu betrachten. Die Eigenschaften und die Vorteile sind insbesondere im Zusammenspiel mit der Methode ersichtlich:

- flexibler, umgebungsunabhängiger (Internet, lokal) Einsatz der Software,
- schnelle Anpassung der Software für die Verifizierung der Matrizendaten,
- Sammlung von Erfahrungen mit konfigurationsrelevanten Daten,
- einfach zu bedienendes, ergonomisches und dynamisches Interface der Anwendung,
- baut auf Softwarestandards auf,
- bescheidene Lizenzkosten des Application Servers und
- bildet die Sprache des Kunden und des Ingenieurs ab

Die besondere Eigenschaft der Anwendung ist die Abbildung des allgemeingültigen Prinzips der Methode auf dem Interface. Somit kann der Charakter einer schnell-

len Verifizierung der Daten der K- & V-Matrix beibehalten und in der Praxis umgesetzt werden. Eine Reihe von Tests haben die Validität dieses Ansatzes belegt und einige Schwachstellen aufgedeckt. Einige punktuelle Verbesserungen haben zur Beseitigung dieser bedienungstechnischen Unklarheiten geführt.

Obwohl das Interface des Abfragetools bereits mit Tests belegt worden ist, sollen nun weitere spezifische Untersuchungen zur Optimierung des Ansatzes führen. Weitere Forschungsarbeiten sollten sich auf sekundäre Funktionalitäten des Abfragetools und insbesondere auf den Funktionsumfang des Eingabetools fokussieren und die einfache, benutzerfreundliche Bedienung weiterhin verbessern.

Gleichzeitig sollen zur Erweiterung der Methode mit der Abbildung von komplexerem Wissen auch Ansätze entwickelt werden, wie das Interface und dessen generische Struktur erweitert werden können. Diesbezüglich sind im Gegensatz zur Methode noch keine Untersuchungen getätigt worden.

Im Kap. 6.3.1 "Auswahl von Merkmalen und Bausteinen" wurde die Art und Weise, wie die Merkmale ausgewählt werden, vorgestellt. Dabei wurde erwähnt, dass der Benutzer zu Beginn einer Auswahl die Merkmale im Kopf mit einer Priorität versehen sollte. Anhand dieser Priorisierung soll gewährleistet werden, dass auch diejenigen Ausprägungen zuerst gewählt werden, die für den Benutzer von Bedeutung sind und zu einem anforderungsgerechten Produkt führen können. Dieser Vorgang könnte mit dem Interface unterstützt werden, indem die Möglichkeit gegeben wird, in einem einführenden Schritt die Merkmale mit einer Wertigkeit zu versehen, welche die Reihenfolge der Merkmale am Bildschirm bestimmen würde.

Die Verifizierung der Methode im Bereich der Konfiguration hat bestätigt, dass die Methode und die Anwendung problemlos bei einfachen Produkten (MTS, ATO) einsetzbar sind. Die Grenzen offenbaren sich bei komplexeren Produkten (MTO, ETO), da mathematische Formeln und Zusammenhänge höheren Grades den Auswahlprozess prägen. Die Methode kann solche Abhängigkeiten nicht abbilden und die Anwendung muss durch produktspezifische Programmierung angepasst werden, wenn eine vollständige Konfiguration durchgeführt werden soll. Die Anwendung der Methode ist trotz lückenhafter Wissensabbildung dann sinnvoll, wenn sie als Analyse- und Entscheidungsgrundlage dienen soll. Ausserdem kann die Matrix mit weiteren graphischen Mitteln ergänzt werden. Hingegen ist der Programmieraufwand, aufgrund der Standardfunktionalitäten von kommerziellen Konfiguratoren, die komplexere Regeln und Formeln abbilden können, oft nicht gerechtfertigt.

Im Allgemeinen kann die K- & V-Matrix während der Evaluationsphase eines Konfigurators herangezogen werden. Die K-Matrix ist für jedes Produkt unabdingbar, weil sie ein systematisches und vollständiges Werkzeug ist, um Produkte aus zwei unterschiedlichen Sichten (technische Sicht und Kundensicht) zu beschreiben. Diese Eigenschaft der K-Matrix wird von (Wüpping 2001a) als wichtigste Grundlage und verbindendes Element eines Konfigurators betrachtet.

Die V-Matrix kann für eine Analyse sowie eine schnelle Verifizierung der Abhängigkeiten in der Produktfamilie definiert werden, damit ein erster, teilweise rudimentärer Konfigurator erstellt werden kann. Hiermit kann jedes Unternehmen erste Szenarien aufstellen und vor allem erste Erfahrungen sammeln, um das spätere Pflichtenheft für die Beschaffung eines Konfigurators zu erstellen (vgl. Bild 88). Die Erfahrung hat bei verschiedenen Implementierungen gezeigt, dass der Einsatz des Systems eine Unterstützung für die Definition des Einsatzszenarios und der entsprechenden Anforderungen für Entscheidungsträger darstellt.

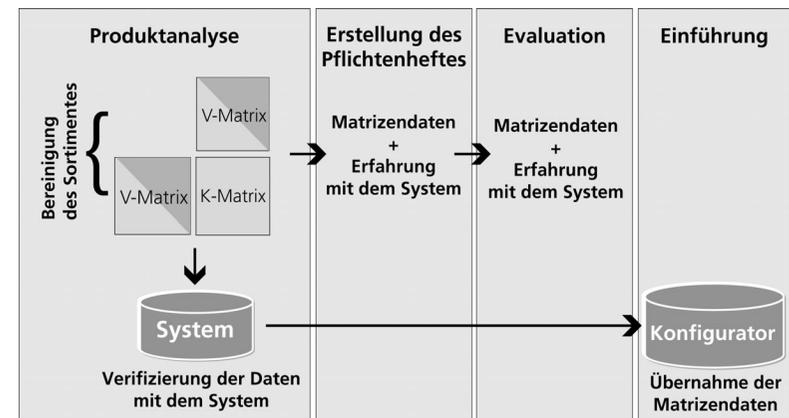


Bild 88: Der Evaluationsprozess für den Einsatz eines Konfigurationssystems aus dem spezifischen Blickwinkel der Verwendung der K- & V-Matrix-Methode und des -Systems

Die Daten der K- & V-Matrix können später von allen gängigen Konfigurationssystemen übernommen werden, da die Abhängigkeiten in Form von einfachen Constraints oder Regeln abgebildet werden.

Weitere Forschungsarbeiten in diesem Gebiet sollten den Einfluss der Methodendaten auf die Erstellung des Pflichtenheftes sowie auf die Evaluation untersuchen und ein Weg aufzeigen, wie diese Daten in einer strukturierten Vorgehensweise integriert werden könnten. Das Ziel dabei sollte die Erstellung eines Frameworks für die Einführung eines Konfigurationssystems sein, der nicht von der jeweiligen Anwendung (Produkte und Firmenumgebung) abhängig ist. Hilfreich wäre zudem eine klare Positionierung der Methode und des Systems innerhalb dieses Frameworkes.

Auf der Ebene des K- & V-Matrix-Systems wäre eine schnelle Überführung der Daten in einen kommerziellen Konfigurator sehr hilfreich.

Anhang A
Abkürzungsverzeichnis

ATO: Assemble-to-Order
AVOR: Arbeitsvorbereitung
B2B: Business to Business
CAD: Computer Aided Design
CAE: Computer Aided Engineering
CI: Corporate Identity
CI-R: Coupling Index-Receiving
CI-S: Coupling Index-Supplying
CRM: Customer Relationship Management
DfC: Design for Configuration
DfV: Design for Variety
DSM: Design Structure Matrix
ERP: Enterprise Resource Planning
ETO: Engineer-to-Order
GUI: Graphical User Interface
GVI: Generational Variety Index
HofQ: House of Quality
HTTP: Hypertext Transfer Protocol
IT: Informationstechnologien
km: Konfigurationsmerkmal entspricht einem funktionalen Merkmal
kma: Ausprägung zu [km] ist eine Ausprägung eines Merkmals
kmg: Gruppe von Konfigurationsmerkmalen
KMU: Klein- und Mittelunternehmen
K- & V-Matrix: Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrix
MFD: Modular Function Deployment
MIM: Module Indication Matrix
MM: Modularity Matrix
Mrt-Leist.prozess: Markt-Leistungsprozess
MTO: Make-to-Order
MTS: Make-to-Stock
SML: Sachmerkmal-Leiste
PDM: Product Data Management
QFD: Quality Function Deployment
tml: technische Sachmerkmal-Leiste
tmla: Ausprägung zu [tml] ist eine Ausprägung einer SML
tmlg: Gruppe von technischen Sachmerkmal-Leisten
URL: Uniform Resource Locator
VMEA: Variant Method and Effects Analysis

Anhang B
Methodenbeispiel

B.1 Abgebildetes Beispiel

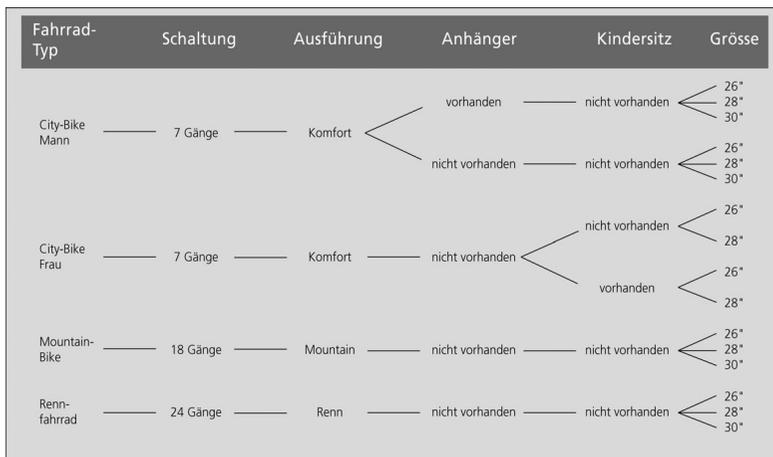
Jede der Methoden, die in den nächsten Abschnitten vorgestellt werden, basieren auf einer Fahrradfamilie. Diese Produktfamilie besteht aus folgenden Komponenten:

- Vier Rahmentypen: City-Frau, City-Mann, Mountain und Renn.
- Jeder Rahmentyp ist in drei Grössen (26", 28" und 30") verfügbar, ausser City-Frau, der nur in zwei Grössen (26" und 28") erhältlich ist.
- Für jede Anwendung (City, Mountain, Renn) ist je ein Bremssystem, eine Lenkung, eine Schaltung und ein Sattel vorgesehen.
- Nur die Ausführung Mountain besitzt eine Federung.
- Optional kann für City-Frau ein Kindersitz und für City-Mann ein Anhänger bestellt werden.

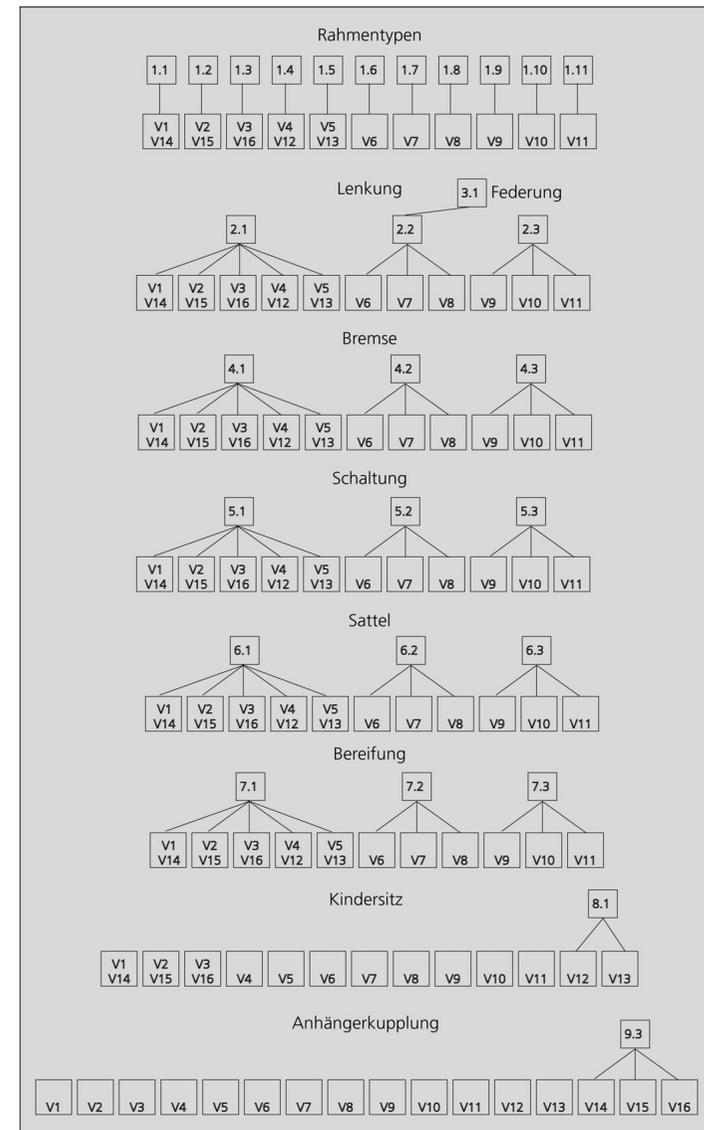
In den nächsten Abschnitten werden die Hauptdarstellungsarten der Methoden, die im Kapitel 3 vorgestellt worden sind, anhand des obigen Beispiels dargestellt. Das QFD wird in diesem Zusammenhang nicht vorgestellt, da die ersten zwei *Houses of Quality* im DfV benutzt werden. Die anderen zwei *Houses of Quality* sind im Kontext dieses Beispiels von geringerer Bedeutung und werden deswegen nicht behandelt.

B.2 VMEA

• Der Merkmalsbaum



• Der Variantenbaum



Legende:

Rahmentyp	City-Mann 26"	1.1
	City-Mann 28"	1.2
	City-Mann 30"	1.3
	City-Frau 26"	1.4
	City-Frau 28"	1.5
	Mountain 26"	1.6
	Mountain 28"	1.7
	Mountain 30"	1.8
	Renn 26"	1.9
	Renn 28"	1.10
	Renn 30"	1.11
Lenkung	Tour	2.1
	Mountain	2.2
	Renn	2.3
Federung	Typ 1	3.1
Bremsen	Rücktrittsbremse hinten, Backenbremse vorne	4.1
	Scheibenbremse vorne, Backenbremse hinten	4.2
	Backenbremssystem	4.3
Schaltung	7-Gang	5.1
	18-Gang	5.2
	24-Gang	5.3
Sattel	gefederter Sattel komfort	6.1
	Sattel komfort	6.2
	Rennsattel	6.3
Bereifung	28 Zoll Trekking	7.1
	26 Zoll Leichtmetall, breites Profil	7.2
	26 Zoll Leichtmetall, Slicks	7.3
Kindersitz	Typ 1	8.1
Anhängerkupplung	Typ A	9.1

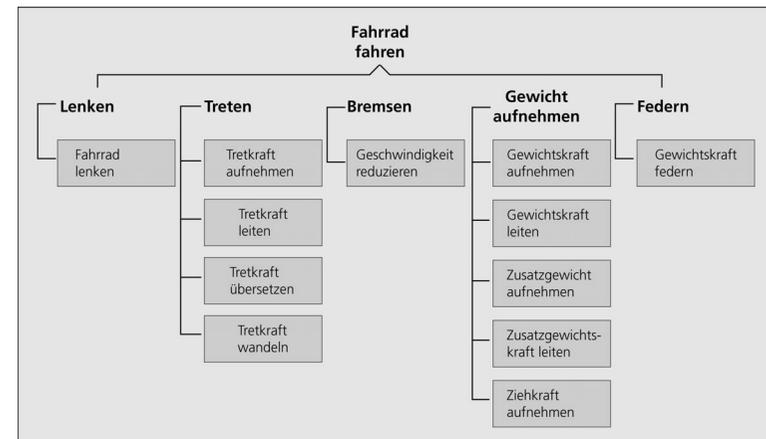
B.3 MFD

In der Methode des MFD spielen einerseits das mit einer besonderen Spalte erweiterte erste *House of Quality* eine Rolle und die MIM, die als Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Modularisierung dient.

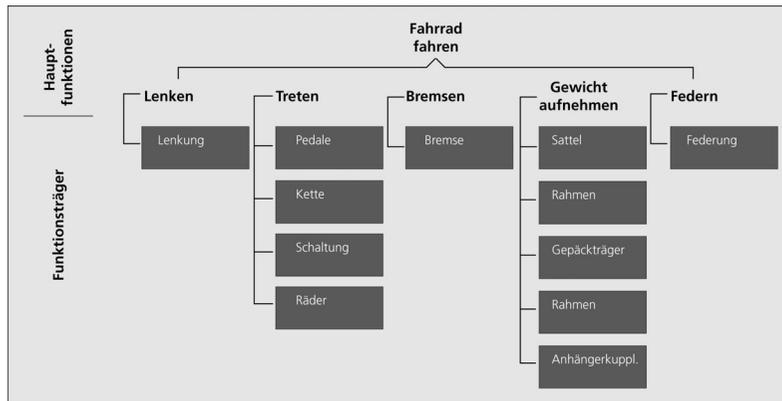
• **erweiterte Hauptmatrix des ersten House of Quality**

	Anzahl Gänge	Rahmengröße	Rahmenwerkstoff	Gewicht	Bremstechnik	Kosten	Sattel	Modularisierung
Komfortabel	1	3		1	3		9	3
Angemessener Preis						9		3
Robust			9					
Leichte Schaltvorgänge	9							
Sicheres Bremsen					9			1
Leicht			3	9				

• **Hierarchische Funktionsstruktur**



• Funktionsträger



• Module Indication Matrix

	Rahmen	Sattel	Schaltung	Pedale	Kette	Räder	Lenkung	Bremsen	Federung	Gepäckträger	Anhängerkuppl.
Produktentwicklung		3		9	9	9	9	3		3	3
Carry over											
technologische Evolution	9		3			1		3	3		
geplante Änderungen in der Konstr.	9							3			
Varietät			3	3	3	3	3		1		
Varietätsvert. in der Produktstruktur											
Produkt-Gestaltung	1		1						1		
Produktion		3		3	9	3	3	1		3	3
Standard-, Normteile											
Wiederverwendung Proz. /Org.				3	3					3	3
Qualität		1	3				1	9	3		
Funktionsprüfung											
Einkauf		3	9	9	9	9				9	9
Komponenten											
Service		3	9				3	9	9		
Wartung											
Upgrading der Systeme			3					3	3		
Firmenspezifisch	9					1				3	
Recycling											
Strategie	9							3	3		
Finanzielle Lage	9								3		
Finanzielle Lage											
Normen und Gesetze	3							3	3		
Normen und Gesetze											
Summe	49	13	31	27	27	26	18	37	29	21	18

B.4 DfV

Im DfV werden zwei Parameter bestimmt: das GVI und das CI. Dazu ist die Erstellung der ersten zwei Houses of Quality sowie die C-Index-Matrix nötig.

• erweiterte Hauptmatrix des ersten House of Quality

	Anzahl Gänge	Rahmengröße	Rahmenwerkstoff	Gewicht	Bremstechnik	Kosten	Sattel	Veränderung des Kaufverhaltens
Komfortabel	1	3		1	3		9	gering
Angemessener Preis						9		medium
Robust			9					gering
Leichte Schaltvorgänge	9							medium
Sicheres Bremsen					9			medium
Leicht			3	9				gross

heutiger Markt (City-Bike)	7	3 Gr.	Alu	12 kg	Backen	1200.-	gefedert
zukünftiger Markt 1	12	8 Gr.	Alu	11 kg	ABS	1200.-	gefedert
zukünftiger Markt 2	15	10 Gr.	Ti-Leg	8 kg	ABS	1500.-	gefedert

• Hauptmatrix des zweiten House of Quality

	Rahmen	Sattel	Schaltung	Lenkung	Bremsen	Federung	Gepäckträger	Anhänger
Anzahl Gänge			9					
Rahmengröße	9							
Rahmenwerkstoff	9							
Gewicht	9	1	1	3	1	3	3	3
Bremstechnik					9			
Kosten	9	1	9	3	3	9	1	3
Sattel		9						

• GVI-Index-Berechnung (in den Feldern des zweiten House of Quality)

	Rahmen	Sattel	Schaltung	Lenkung	Bremsen	Federung	Gepäckträger	Anhänger
Anzahl Gänge			9					
Rahmengrösse	9							
Rahmenwerkstoff	9							
Gewicht	9	1	1	3	1	6	3	6
Bremstechnik					9			
Kosten	9	1	9	3	6	9	1	6
Sattel		6						
GVI	36	8	19	6	16	15	4	12

• C-Index-Matrix

	Rahmen	Sattel	Schaltung	Lenkung	Bremsen	Federung	Gepäckträger	Anhänger	CI-S
Rahmen		Form und Grösse des Profils	9	Fixierung der Lenkung	1	3	Festhalten des Bremssystems	1	
Sattel			Fixierung der Schaltung	1					
Schaltung				Aufnahme der Schaltgriffe	1				
Lenkung					Aufnahme der Schaltgriffe	1	Form und Grösse des Profils	6	8
Bremsen									
Federung									
Gepäckträger									
Anhänger									
CI-S			9	2	3	2	6	3	3

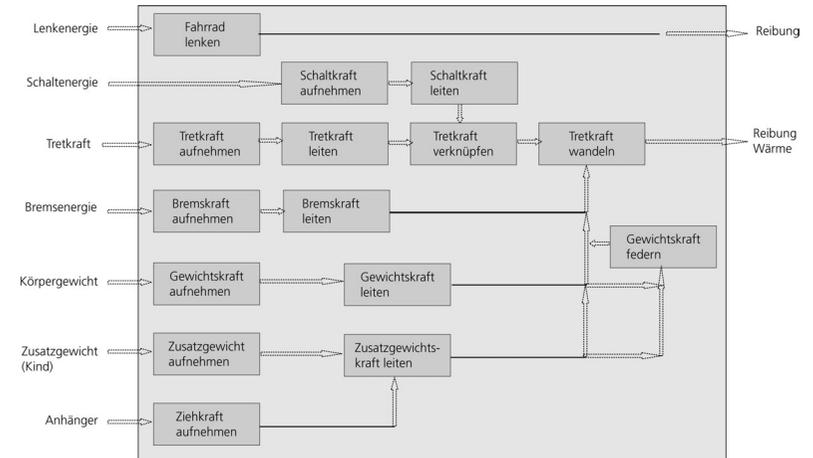
B.5 Modular Product Architecture

In der *Modular Product Architecture* sind zwei Darstellungsweisen von zentraler Bedeutung für die Entscheidungsunterstützung im primären Entwicklungsprozess: die übergreifende Familienfunktionsstruktur und die Modularity-Matrix (MM).

• Vielfalt der Ausprägungen pro Merkmal

Merkmal	Ausprägungszielwerte					
Fahrradtyp	City Mann	Mountain	Renn	City Frau		
Rahmengrösse	26"	28"	30"			
Schaltung	7 Gänge	18 Gänge	24 Gänge			
Anhänger	Typ A					
Kindersitz	Typ 1					

• übergreifende Familienfunktionsstruktur



• Modularity Matrix

	Citybike Comfort für Frau mit Kindersitz	Citybike Comfort für Mann mit Anhänger	Mountainbike	Rennfahrrad
Fahrrad lenken	Tour	Tour	Mountain	Renn
Schaltkraft aufnehmen	Schalthebel	Schalthebel	Schalthebel	Schalthebel
Schaltkraft leiten	Kabel	Kabel	Kabel	Kabel
Tretkraft aufnehmen	Pedal	Pedal	Clipp-Pedal	Clipp-Pedal
Tretkraft leiten	Kette	Kette	Kette	Kette
Tretkraft verknüpfen	Nabenschaltung	Nabenschaltung	Zahnkranz /Schaltung	Zahnkranz/Schaltung
Tretkraft wandeln	28 Zoll Trekking	28 Zoll Trekking	26 Zoll Leichtmetall, Slicks	26 Zoll Leichtmetall, breites Profil
Bremskraft aufnehmen	Bremshebel	Bremshebel	Bremshebel	Bremshebel
Bremskraft leiten	Rücktrittsbremse hinten, Backenbremse vorne	Rücktrittsbremse hinten, Backenbremse vorne	Scheibenbremse vorne, Backenbremssystem	Backenbremssystem
Gewichtskraft aufnehmen	gefederter Sattel komfort	gefederter Sattel komfort	Sattel komfort	Rennsattel
Gewichtskraft leiten	Alu-Rahmen	Alu-Rahmen	Alu-Rahmen	Alu-Rahmen
Gewichtskraft federn	----	----	Gabel vorne	----
Zusatzgewicht aufnehmen	Gepäckträger und Kindersitz	Gepäckträger	----	----
Zusatzgewichtskraft leiten	Gepäckträger-Verstrebungen, Rahmen	Gepäckträger-Verstrebungen, Rahmen	----	----
Ziehkraft aufnehmen	----	Anhängerkupplung	----	----

B.6 K- & V-Matrix

• K-Matrix

		Fahrer		Personengrösse		Ausführung			Anhänger	Kindersitz
		Dame	Heir	< 170 cm	170 cm - 185 cm	> 185 cm	City-Bike	Renn		
									vorhanden	nicht vorhanden
Bremse	Rücktrittsbremse hinten, Backenbremse vorne Scheibenbremse vorne, Backenbremssystem Backenbremssystem						1		1	
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A nicht vorhanden							1	1	1
Bereifung	26 Zoll Leichtmetall, breites Profil 26 Zoll Leichtmetall, Slicks 28 Zoll Trekking							1	1	
Federung	Federung Typ 1 nicht vorhanden							1	1	
Kindersitz	Kindersitz Typ 1 nicht vorhanden							1	1	1
Lenker	Mountain Renn Tour								1	
Rahmen-Grösse	26" 28" 30"			1						
Rahmen-Typ	Damen Herren	1								
Schaltung	7-Gang 18-Gang 24-Gang							1		1
Sattel	gefederter Sattel komfort Sattel komfort Rennsattel							1		1

• V-Matrix der technischen Sicht

	kmName2	kmName2	Bremse	Anhänger-Typ	Bereifung	Federung	Kindersitz	Lenker	Rahmen-Grösse	Rahmen-Typ	Schaltung	Sattel
Bremse	Rücktrittsbremse hinten, Backenbremse vorne Scheibenbremse vorne, Backenbremssystem Backenbremssystem	Rücktrittsbremse hinten, Backenbremse vorne Scheibenbremse vorne, Backenbremssystem Backenbremssystem										
Anhänger-Typ	Anhänger Typ A nicht vorhanden	Anhänger Typ A nicht vorhanden										
Bereifung	26 Zoll Leichtmetall, breites Profil 26 Zoll Leichtmetall, Slacks	26 Zoll Leichtmetall, breites Profil 26 Zoll Leichtmetall, Slacks										
Federung	Federung Typ 1 nicht vorhanden	Federung Typ 1 nicht vorhanden										
Kindersitz	Kindersitz Typ 1 nicht vorhanden	Kindersitz Typ 1 nicht vorhanden										
Lenker	Mountain Renn Tour	Mountain Renn Tour										
Rahmen-Grösse	26" 28" 30"	26" 28" 30"										
Rahmen-Typ	Damen Herran	Damen Herran										
Schaltung	7-Gang 18-Gang 24-Gang	7-Gang 18-Gang 24-Gang										
Sattel	24-Gang gefederter Sattel komfort Sattel komfort Rennsattel	24-Gang gefederter Sattel komfort Sattel komfort Rennsattel										

• V-Matrix der Kundensicht

		Fahrer	Personengrösse	Ausführung	Anhänger	Kindersitz
		Dame Herr	< 170 cm 170 cm - 185 cm > 185 cm	City-Bike Renn Mountain	vorhanden nicht vorhanden	vorhanden nicht vorhanden
Fahrer	Dame Herr					
Personengrösse	< 170 cm 170 cm - 185 cm > 185 cm					
Ausführung	City-Bike Renn Mountain					
Anhänger	vorhanden nicht vorhanden					
Kindersitz	vorhanden nicht vorhanden					

Anhang C
Unterlagen für die GUI-Verifizierung

C.1 Usability-Test vom Abfragetool

Vielen Dank, dass Sie sich für diesen Test zur Verfügung gestellt haben. In dieser Einleitung geben wir Ihnen einen kurzen Überblick über den Test.

- **Hintergrund**

Der Usability-Test der Konfiguratorseiten von Abfragetool ist einer der letzten Projektpakete vom Eureka-Projekt COMA (CONfiguration MAnagement) und dient dazu, die Benutzungsfreundlichkeit der in den letzten zwei Jahren entwickelten Anwendung zu bewerten. Sowohl Schwachstellen als auch positive Aspekte sollen identifiziert werden. Sie werden die Aufgaben online lösen.

- **Szenario**

Auf den folgenden Seiten sind die Aufgaben in Form eines Szenarios aufbereitet. Versuchen Sie, sich so gut wie möglich in die geschilderten Situationen hinein zu versetzen. Arbeiten Sie die Aufgaben der Reihe nach durch. Wenn Sie Fragen haben oder beim Lösen der Aufgaben Probleme auftauchen, wenden Sie sich ungeniert ans Untersuchungsteam. Wir helfen Ihnen gerne weiter.

Wichtig: Nicht Sie werden getestet, sondern die Konfiguratorseiten von COMA. Wenn Sie also eine Aufgabe nicht lösen können, liegt der Fehler nicht bei Ihnen sondern bei der getesteten Anwendung!



C.2 Vor-Test Fragebogen

1. Geschlecht:

Männlich	Weiblich
----------	----------

2. Alter: Jahre

3. Beruf:

4. Wie würden Sie Ihre Internet-Kenntnisse einstufen?

Anfänger	Durchschnittsbenutzer	Profi
----------	-----------------------	-------

5. Internet-Erfahrung: Jahre Monate

6. Haben Sie schon Produkte im Internet konfiguriert?

Ja	Nein
----	------

Falls ja, welche?

.....

6. Haben Sie schon Produkte im Internet gekauft?

Ja	Nein
----	------

Falls ja, welche?

.....

C.3 Fall ELMA

C.3.1 Ausgangslage

Sie sind der technische Leiter einer mittelständigen Firma im Mittelland. Einer ihrer Mitarbeiter, der für die Verwaltung elektronischer Komponenten zuständig ist, fällt leider für eine längere Zeitperiode aus.

Seit einigen Tagen können einige ihrer Mitarbeiter ihre Arbeit nicht mehr wunschgemäß erledigen, weil ihnen die notwendige Hardware fehlt. Da die zuständige Person und das entsprechende Wissen für eine längere Periode ausfällt, entscheiden sie sich, das Problem selber anzugehen.

Im Büro des abwesenden Mitarbeiters finden sie einige Notizen, die für die Konfiguration der Hardware nützlich sind.

Sie wissen, dass die meiste Hardware dieser Art bei der Firma ELMA Electronics in Wetzikon beschaffen worden ist und entscheiden sich, bei ELMA eine Konfiguration durchzuführen.

Loggen Sie sich ein:

Passwort: gast

UserID: gast

und fangen Sie mit der Konfiguration an!

C.3.2 Aufgabe 1

Sie gehen zur Seite wo eine neue Konfiguration definiert werden kann und beschreiben die Eigenschaften der gewünschten Hardware, wie Sie es in den Notizen ihres Mitarbeiters vorgefunden haben:

Notizen

- Platz für 4 Karten (4 Slots)
- Slots für Rear I/O, 5 Eingänge und 3 Ausgänge mit folgender Codefolge: P1, P2 S; P3, P4, P5 L
- Keine Gerätehalter notwendig (No Device Holder)
- Chassis: 19" Rackmount compliant to IEEE 1101.10/11, Cooling front to rear (1 x 70 CFM) Plug in, ready to run, turnkey solution

Notizen

- Voltage I/O - Vol.5

Nicht alle Informationen befinden sich unmittelbar auf der Oberfläche, sind jedoch durch gezielte Suche in der Anwendung zu ermitteln.

Nachdem Sie eine erste Konfiguration erfolgreich abgeschlossen haben, gehen Sie zu Aufgabe 2.

C.3.3 Aufgabe 2

Kurz nach der Eingabe der Konfiguration kommt einer ihrer Mitarbeiter ins Büro und schaut sich die Konfiguration an. Er ist mit Ihrer Konfiguration nicht ganz zufrieden und wünscht sich 2x „3 1/2 Zoll“ Diskettenlaufwerke, die horizontale Karteneinbaurichtung und die maximale Anzahl Karten (Slots).

Sie entscheiden die Konfiguration neu anzufangen, indem Sie alles löschen, was Sie bisher bestimmt haben.

Neue Wünsche des Mitarbeiters:

- maximale Anzahl Karten
 - horizontale Karteneinbaurichtung
 - 2x 3 1/2 Zoll Diskettenlaufwerke
- zusätzliche Chassis-Spezifikation: plugable removable fan tray

ursprüngliche Notizen

- Platz für 4 Karten (4 Slots)
- Slots für Rear I/O, 5 Eingänge und 3 Ausgänge mit folgender Codefolge: P1, P2 S; P3, P4, P5 L
- Keine Gerätehalter notwendig (No Device Holder)
- Chassis-Spezifikationen: 19" Rackmount fully compliant to IEEE 1101.10/11, Cooling front to rear (1 x 70 CFM) Plug in, ready to run, turnkey solution
- Voltage I/O - Vol.5

Fahren Sie nach der neuen Konfiguration mit Aufgabe 3 weiter.

C.3.4 Aufgabe 3

Nun möchten Sie nach der Konfiguration das Resultat visualisieren.
 Nachdem Sie die Visualisierung gestartet haben, geben Sie die Reihenfolge der Komponenten im Computergehäuse ein. Da es diesbezüglich keine besondere Anforderungen gibt, tun Sie es nach Ihrem bestem Wissen und Gewissen.

Die Eingabe der Reihenfolge hat ebenfalls geklappt, so verlangen Sie eine Offerte für zwei solcher Computergehäuse und teilen mit, dass Sie die Offerte bis Ende Monat auf Ihrem Schreibtisch haben möchten.

Wenn Sie die Eingaben gemacht haben, verlassen Sie den Konfigurator.

C.4 Fall Hug

C.4.1 Ausgangslage

Sie sind im Bereich Engineering-Verkauf der Firma Hug tätig und müssen gelegentlich für neue Aufträge benötigter Baugruppen beurteilen. Anhand von Kundeninformationen können Sie - mit Hilfe des COMA-Konfigurators - die gewünschten Vorschubseinheiten bestimmen.

Sie haben einen neuen Auftrag bekommen und möchten somit mit der Konfiguration beginnen.

Sie starten den COMA-Konfigurator und melden sich wie folgt an:

Passwort: hug

UserID: hug

und fangen Sie anschliessend mit Aufgabe 1 an.

C.4.2 Aufgabe 1

Nun geben Sie an, dass Sie eine neue Konfiguration anfangen möchten.

Wenn Sie soweit sind, entnehmen Sie in der unterstehenden Liste die Eigenschaften der zu bestimmenden Standard-Einheit:

VORSCHUBEINHEIT 26/80	HSKC	HSKC32-SCHNELLWECHSELSYSTEM
HSKC;M;PS;RS;S;STV;VD	M	METRISCH
	PS	PINOLE STANDARD
	RS	RIEMENANTRIEB OHNE KUEHLMITTEL
	S	SPINDELLAGER
	STV	STEUERVENTIL

VD	V-SEAL
	OHNE SPERRLUFT

Nach der Eingabe der Parameter überprüfen Sie, ob die Artikelnummer mit den soeben bestimmten Eigenschaften übereinstimmt.

C.4.3 Aufgabe 2

Sie konnten die Vorschubseinheit erfolgreich zusammenstellen!

Nun möchten Sie eine Offerte verlangen und einen Kommentar einfügen. Gehen Sie zur Offerten-Seite und geben Sie folgenden Kommentar ab:

Kunde: Mechanics AG

Lieferdatum: 30.06.02

Schliesslich schicken Sie die Konfiguration zum zentralen Datenverwaltungssystem ab und verlassen die Anwendung.

C.4.4 Aufgabe 3

Sie konnten ihre erste Aufgabe bewältigen!

Sie möchten eine ältere Konfiguration aus dem System löschen. Deswegen loggen Sie sich wie folgt ein:

Passwort: coma

UserID: coma

und gehen zur Seite wo eine Konfiguration gelöscht werden kann. Die zu löschende Konfiguration-Identitätsnummer haben Sie vom System-Administrator erhalten und lautet:

200

Danach möchten Sie eine bereits angefangene Konfiguration vervollständigen. Die dazu gehörende Konfiguration-Identitätsnummer lautet:

290

C.4.5 Aufgabe 4

Nun vervollständigen Sie die bestehende Konfiguration mit folgenden Angaben:

VORSCHUBEINHEIT 26/80	FP	FLANSCHPINOLE
HSKC;M;PS;RS;S;STV;VD	HSKC	HSKC32-SCHNELLWECHSELSYSTEM
	M	METRISCH

RCF	RIEMENANTRIEB MIT KUEHLMITTEL MIT-RAHREND
S	SPINDELLAGER
STV	STEUERVENTIL
VD	V-SEAL
	OHNE SPERRLUFT

Wenn Sie die Konfiguration vervollständigt haben, ist diese Aufgabe ebenfalls gelöst! Bitte blättern Sie um!

C.4.6 Aufgabe 5

Wenn Sie die Konfiguration vervollständigt haben, verlassen die entsprechenden Seite und verlangen Sie eine Offerte für 6 gleiche Vorschubeinheiten.

Weiter geben Sie an, dass die zuständige Person Ihnen so schnell wie möglich die Offerte schicken soll, da der Kunde auf eine Antwort drängt!

Schliesslich verlassen Sie den Konfigurator!

C.5 Fall Virtuelle Maschine

C.5.1 Ausgangslage

Sie sind Leiter des Verkaufs einer kleinen High-Tech Maschinenhersteller in der Schweiz, welche besondere, qualitativ hochstehende Produkte herstellt und vertreibt. Um einen nachhaltigen Eindruck als High-Tech Firma zu vermitteln und zur Unterstützung von technischen Aspekten im Verkaufsprozess, entscheiden Sie sich, ein mobiles System für die Visualisierung ihrer Maschinen zu kaufen.

Der Konfigurator des Projektes Virtuelle Maschine (ViMa) erlaubt Ihnen die Eingabe solcher Informationen für die Zusammenstellung der benötigten Hard- und Software eines solchen Systems.

Sie entscheiden sich eine solche Konfiguration durchzuführen.

Loggen Sie sich ein:

Passwort: guest

UserID: guest

und fahren Sie mit Aufgabe 1 weiter.

C.5.2 Aufgabe 1

Versuchen Sie im ViMa-Konfigurator ein System zu bestimmen, welches Ihre Anforderungen erfüllt.

Aufgelistet finden Sie die Anforderungen:

- für den Verkauf einsetzbar
- auf einem portablen Rechner installierbar (Displaytechnologie: LCD-Bildschirm)
- per Tastatur und Maus editierbar
- Video- und Audio-Wiedergabe mit Hilfe eines Beamers (visuelle Ausgabe mittels Projektion) und zwei kleiner Lautsprecher (stereo)
- Möglichkeit zur Manipulation der Modelle.

Da diese Angaben keine vollständige Konfiguration ergeben, vervollständigen Sie die Konfiguration, wie es der Verkaufsleiter machen würde.

C.5.3 Aufgabe 2

Sie konnten ihre Anforderungen eingeben und nun möchten Sie eine Kostenschätzung für drei solche Systeme verlangen.

Gehen zur entsprechenden Seite und verlangen Sie eine Offerte für drei solche Systeme.

Wenn Sie die Offertanfrage abgeschickt haben, fangen Sie bitte die nächste Aufgabe an.

C.5.4 Aufgabe 3

Sie konnten ein gesamtes System zusammenstellen!

Nun kommt es Ihnen in den Sinn, dass ein Kollege ebenfalls eine Konfiguration im ViMa-Konfigurator begonnen hat, jedoch wegen mangelnder Information nicht ans Ziel gelangt ist.

Um die Daten der Konfiguration Ihres Kollegen vervollständigen zu können, haben sie von der Firma ViMa eine spezielle User-Id mit Passwort, sowie die Nummer der Konfiguration Ihres Kollegen bekommen. Der User hat Administrator-Rechte. Deswegen haben Sie Zugang zu Funktionen wie dem Suchen bestehender Konfigurationen, die Ihnen als normaler Kunde nicht zur Verfügung stehen.

Verlassen Sie zunächst die aktuelle Konfiguration!

Loggen Sie sich neu wie folgt ein:

Passwort: admin_vima

User Id: admin_vima

Suchen Sie die gewünschte Konfiguration:

Konfigurationsnummer: 106

und geben Sie die fehlenden Daten ein:

- Anzahl Personen <=3
- Stereovisualisierung (2 Beamer)
- High End Workstation als Hardware
- Betriebssystem: HP Unix
- 3d Maus als Eingabeschnittstelle zum System
- Raumklang
- Displaytechnologie: LCD

Wenn Sie die Konfiguration vervollständigt haben, fahren Sie bitte mit der nächsten Aufgabe fort.

C.5.5 Aufgabe 4

Sie haben nun die Konfiguration ihres Kollegen vervollständigt, und nach kurzer Rücksprache mit ihm, verlangen Sie eine Offerte für ein solches System und geben an, dass der Kollege im nächsten Monat geschäftlich unterwegs ist und deswegen nicht telefonisch erreichbar ist.

Sie haben die Aufgabe bestens erledigt und verlassen den Konfigurator.

C.6 Nach-Test Fragebogen

1. Die Bedienung der Internet-Anwendung COMA fanden Sie insgesamt (mehrere Antworten möglich):

<input type="checkbox"/>	sehr gut
<input type="checkbox"/>	gut
<input type="checkbox"/>	einfach
<input type="checkbox"/>	brauchbar
<input type="checkbox"/>	selbst erklärend
<input type="checkbox"/>	kompliziert

<input type="checkbox"/>	missverständlich
<input type="checkbox"/>	umständlich

2. Wie gefällt Ihnen das Design/die Gestaltung der getesteten Internet-Seiten (mehrere Antworten möglich):

<input type="checkbox"/>	passend	
<input type="checkbox"/>	gut	
<input type="checkbox"/>	ansprechend	
<input type="checkbox"/>	originell	
<input type="checkbox"/>	animierend	
<input type="checkbox"/>	unoriginell	
<input type="checkbox"/>	verwirrend	
<input type="checkbox"/>	langweilig	
<input type="checkbox"/>	schlecht	

Bemerkungen zu Frage 2:

.....

3. Sind die für die Konfiguration relevanten Informationen über das Produkt und dessen Eigenschaften auf COMA übersichtlich dargestellt?

<input type="checkbox"/>	gar nicht	<input type="checkbox"/>	teilweise	<input type="checkbox"/>	ja
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

Bemerkungen zu Frage 3:

.....

4. Sind die Begriffe und beschreibende Konzepte über das Produkt (ELMA, Hug, ViMa) verständlich präsentiert?

<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	teilweise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nein
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Bemerkungen zu Frage 4 (insbesondere wenn die Antwort „nein“ lautet):

5. Wie haben Sie sich auf die COMA-Seiten zurechtgefunden?

	Ich habe immer gewusst, wo ich mich auf der Internet-Seite befinde
	Ich habe meistens gewusst, wo ich mich auf der Internet-Seite befinde
	Manchmal musste ich mich von Neuem orientieren, wo ich mich auf der Internet-Seite befinde, dies aber ohne Probleme
	Manchmal musste ich mich von Neuem orientieren, wo ich mich auf der Internet-Seite befinde, und dies mit Problemen
	Ich habe oft nicht mehr gewusst, wo ich mich befinde in den Internet-Seiten
	Ich habe meistens nicht gewusst, wo ich mich befinde in den Internet-Seiten

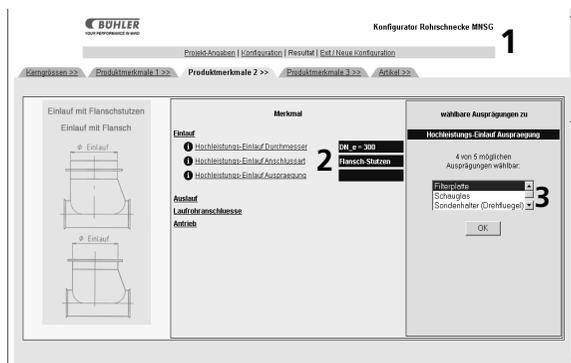


Bild i: 1 Navigation; 2 Produktnavigation; 3 Bedienelemente der Ausprägungsauswahl

6. Ist die Navigation verständlich?

gar nicht		teilweise		ja

7. Sind die verwendeten Begriffe in der Navigation verständlich?

gar nicht		teilweise		ja

8. Ist die Produkt-Navigation (Merkmale-Artikel) verständlich?

gar nicht		teilweise		ja

9. Wie beurteilen Sie die Abläufe bei der Auswahl eines Merkmals bzw. Artikel?

kompliziert				einfach

10. Ist Ihnen die Bedeutung der Bedienelemente bei der Auswahl einer Ausprägung klar gewesen?

gar nicht		teilweise		ja

11. Ist Ihnen die Bedeutung der dunkelblauen bzw. hellblauen Felder, die nach jeder Auswahl einer Ausprägung dazu gekommen sind, klar?

gar nicht		teilweise		ja

12. War die Bedeutung der i-Buttons (wenn vorhanden) klar?

gar nicht		teilweise		ja

13. Konnten Ihnen die Informationen, die mit den i-Buttons erschienen sind, wei-

terhelfen?

gar nicht		teilweise		ja

14. Ihre Bewertung der Web-Anwendung COMA:

a. Was finden Sie besonders gut:

.....

b. Was finden Sie besonders schlecht:

.....

15. Was muss Ihrer Meinung nach an der COMA-Anwendung konkret verbessert werden?

.....

Herzlichen Dank, dass Sie sich für diesen Versuch zur Verfügung gestellt haben!

Literaturverzeichnis

Es kann keine Gewähr gegeben werden, dass die in der Zeitspanne der Fertigstellung des Manuskriptes zitierten URL-Adressen zum jetzigen Zeitpunkt noch gültig sind.

- Aasland, K., J. Reitan, et al. (2001). Even Modular Products can be Unmanageable. IN: Design for Configuration, A Debate based in the 5th WDK Workshop on Product Structuring. A. Riitahuhta and A. Pulkkinen. Berlin [etc.], Springer.
- Ackermann, P. (2000). Visuelle Produktkonfiguration. eBusiness Magazine Schweiz, 02/00.
- Ackermann, P. (2001). Verkaufsunterstützung von modularen Produktsystemen mittels interaktiver 3D Produktkonfiguratoren. Mit intelligenter Produktplattform zu erfolgreicher Produkt-Customization; Eine Veranstaltung der SCGA und der ETH Zürich. Zürich.
- Akao, Y. (1990). QFD - Integrating Customer Requirements into Product Design, Productivity Press.
- Backhaus, K. (2000). Multivariate Analysemethoden eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin [etc.], Springer.
- Barker, V. E. und D. E. O'Connor (1989). "Expert Systems for Configuration at Digital: XCON and beyond." Communications of the ACM Vol. 32(no. 3): 298-318.
- Bartuschat, M. (1995). Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung. Essen, Vulkan-Verlag.
- Berger, C. (2001). Mass Customization bei adidas. Mit intelligenter Produktplattform zu erfolgreicher Produkt-Customization; Eine Veranstaltung der SCGA und der ETH Zürich. Zürich.
- Bernard, M. (1999). Sitemap Design: Alphabetical or Categorical?, Usability News [online]; <http://wsupsy.psy.twsu.edu/surl/usabilitynews/15/sitemap.htm>.
- Bernard, M. und M. Mills (2000). So What is the Most Legible Type, Size and Format of Common Fonts to Use for Websides?, Usability News [online].
- Bi, Z. M. und W. J. Zhang (2001). "Modularity Technology in Manufacturing: Taxonomy and Issues." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 18: 381-390.

- Birkhofer, H. (1980). Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte. Fortschritt-Berichte: Reihe 1 Nr. 70. Düsseldorf, VDI Verlag.
- Blackenfelt, M. (2001). Modularisation by Relational Matrices - a Method for the Consideration of Strategic and Functional Aspects. IN: Design for Configuration, A Debate based in the 5th WDK Workshop on Product Structuring. A. Riitahuhta and A. Pulkkinen. Berlin [etc.], Springer.
- Boehm, B. (1988). "A Spiral Model of Software Development and Enhancement." in: Computer IEEE vol. 21: S. 61-72.
- Bongulielmi, L., P. Henseler, et al. (2001). The K- & V-Matrix Method - an Approach in Analysis and Description of Variant Products. ICED 01: International Conference on Engineering Design, Glasgow; August 21-23, Professional Engineering Publishing Limited; Bury St Edmunds and London; UK.
- Bongulielmi, L., P. Henseler, et al. (2002). The K- & V-Matrix-Method in Comparison with Matrix-Based Methods supporting Modular Product Family Architectures. NordDesign 2002 - Visions and Values in Engineering Design, 14-16 August, Norwegian University of Science and Technology, NTNU Trondheim, Norway.
- Bonsiepe, G. (1995). Dall'oggetto all'interfaccia, mutazioni del design. Milano, Feltrinelli editore.
- Borowski, K.-H. (1961). Das Baukastensystem in der Technik. Berlin, Springer.
- Breiting, A. (2001). Produkte-Design, Unterlagen zur gleichnamigen Vorlesung an der ETH Zürich, WS01/02. Zürich.
- Breiting, A. und M. Flemming (1993). Theorie und Methoden des Konstruierens. Berlin [etc.], Springer.
- Brexel, D. (1997). Methodische Strukturmodellierung komplexer variantenreicher Produkte des integrativen Maschinenbaus. Paderborn, HNI Verlagschriftenreihe.
- Brinck, T., D. Gergle, et al. (2002). Usability for the web designing web sites that work. San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers.
- Brown, D., C. (1998). "Defining configuring." Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM 12(4): 301-305.
- Büttner, K. (1997). Rechnergestütztes Konfigurieren von Baukastenprodukten. Fortschritt-Berichte: Reihe 20 Nr. 246. Düsseldorf, VDI Verlag.
- Caesar, C. (1991). Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreichen

- Serienprodukten Variant Mode and Effects Analysis (VMEA). Aachen, Dissertation, RWTH.
- Caroll, J. M., J. C. Thomas, et al. (1980). Presentation and representation in design problem solving. British Journal of Psychology: pp.143-153.
- Cerci, M. (2001). Deutsche Post - eCommerce Facts 2.0. Werben und Verkaufen; <http://www.wuv-studien.de/wuv/studien/012001/178/index.htm>, Marktforschung für eBusiness, Deutsche Post.
- Clarkson, P. J., C. Simons, et al. (2001). Predicting Change Propagation in Complex Design. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 9-12, Pittsburgh, USA, ASME.
- Dahmus, J. B., J. P. Gonzales-Zugasti, et al. (2000). Modular Product Architecture. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 10-13, Baltimore, USA, ASME.
- DIN199/2 (1977). DIN 199: Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen: Teil 2 Stücklisten. Berlin, Beuth-Verlag.
- DIN4000/1 (1992). Sachmerkmal-Leisten, Begriffe und Grundsätze. Berlin, Beuth Verlag.
- Ehrlenspiel, K. (1995). Integrierte Produktentwicklung; Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. München [etc.], Hanser.
- Ehrlenspiel, K., A. Kiewert, et al. (2000). Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Berlin [etc.], Springer.
- Elgård, P. (1998). Industrial Practice with Product Platforms in USA. 4th WDK Workshop on Product Structuring, October 22-23, Delft University of Technology, Delft the Netherlands.
- Ells, J. G. und R. E. Dewar (1979). Rapid Comprehension of Verbal and Symbolic Traffic Sign Messages. Human Factors: S. 161-168.
- Erens, F.-J. (1996). The synthesis of variety developing product families. Dissertation, Eindhoven, Techn. Univ.
- Erixon, G. (1996a). Design for Modularity. Design for X - Concurrent Engineering Imperatives. G. Huang. London, Chapman & Hall.
- Erixon, G. (1996b). Modularity - the Basis for Product and Factory Reengineering.

- Annuals of the CIRP. Vol. 45: pp 1-6.
- Erixon, G. (1998). Modular Function Deployment (MFD) - A Method for Product Modularisation. Stockholm, Doctoral Thesis, KTH.
- Faltings, B. und R. Weigel (1994). Constraint-based Knowledge representation for configuration systems. Technical Report TR-94/59, Lausanne, Switzerland, Département d'Informatique, EPF Lausanne.
- Felix, D. (1997). Usability engineering: der Entwicklungsprozess für benutzungs-freundliche Gestaltung von Anwendungen für ungeübte Benutzer. Diss. Nr. 12218, Zürich, ETH.
- Felix, D. (2000a). Bericht zum Test einer e-commerce Anwendung (Conrad Katalog): Case zur Vorlesung Methoden der benutzungsorientierten Software-Evaluation. Zürich, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH.
- Felix, D. (2000b). Methoden der benutzungsorientierten Software-Evaluation. Skript zur gleichnamigen Vorlesung. Institut für Ergonomie und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich. Zürich SS00.
- Forit GmbH (2000). B2B wächst rasant weiter. Veröffentlicht in: http://www.wuv.de/studien/forit_0300/index.html, Werben und Verkaufen.
- Franke, H. J. (1998). Produkt-Variantenvielfalt, Ursachen und Methoden zu ihrer Bewältigung. IN: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Tagung in Würzburg, VDI-Verlag. VDI-Bericht 1434.
- Franke, H. J. und N. L. Firschau (2000). Grundlagen und Strategien des Variantenmanagements. Abschlussveranstaltung des Projekts EVAPRO: Methoden und Werkzeuge zur Kostenreduktion variantenreicher Produktspektren in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Braunschweig.
- Franke, H. J. und N. L. Firschau (2001). Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen - Erfahrungen, Methoden und Instrumente zur erfolgreichen Beherrschung. IN: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen; Erfahrungen, Methoden und Instrumente. Düsseldorf, VDI-Verlag. VDI-Bericht 1645.
- Franke, H. J., J. Hesselbach, et al. (2002). Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. München [etc.], Hanser Verlag.
- Fujita, K., S. Akagi, et al. (1998). Simultaneous Optimization of Product Family Sharing System Structure and Configuration. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 13-16, Atlanta, USA, ASME.
- Galitz, W. (1997). The essential guide to user interface design: An introduction to GUI design, principles and techniques. New York, Toronto, Singapore, Wiley Computer Publishing.
- Gausemeier, J., A. Fink, et al. (1996). Szenario-Management Planen und Führen mit Szenarien. München [etc.], Hanser.
- Gausemeier, J., M. Flath, et al. (1998). Geschäftsprozessübergreifendes Produktstrukturmanagement - Integration der bereichsspezifischen Sichten bei der durchgängigen rechnerunterstützten Entwicklung von variantenreichen Erzeugnissen. IN: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Tagung in Würzburg, VDI-Verlag, Düsseldorf. VDI-Bericht 1434.
- Gentsch, P. (1999). Wissen managen mit innovativer Informationstechnologie: Strategien-Werkzeuge-Praxisbeispiele. Wiesbaden, Gabler Verlag.
- Gittens, D. (1986). Icon-based human-computer interaction. International Journal of Man Machine Studies: pp. 519-543.
- Goldstein, E. B., M. Ritter, et al. (1997). Wahrnehmungspsychologie eine Einführung. Heidelberg [etc.], Spektrum Akademischer Verlag.
- Gonzales-Zugasti, J. und K. Otto (2000). Modular Platform-Based Product Family Design. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 10-13, Baltimore, USA.
- Göpfert, J. (1998). Modularisierung in der Produktentwicklung: Ein Ansatz zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation. Wiesbaden, Gabler.
- Günter, A. und C. Kühn (1999). Knowledge-Based Configuration - Survey and Future Directions. IN: XPS'99: Knowledge-based Systems. F. Puppe. Berlin, Germany, Springer Verlag.
- Haag, A. (1998). Sales Configuration in Business Process. IEEE Intelligent Systems. Vol. 13.
- Hansen, P. K., M. M. Andreasen, et al. (2002). Understanding the Phenomenon of Modularisation. Design 2002, May 14 - 17, Cavtat-Dubrovnik, Croatia.
- Heiderscheit, D. und H. J. Skovgaard (1999). Visualisation of Configurations: Simplifying Configuration User Interfaces. Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence - AAAI'99, July 18 - 22, Orlando, USA.

- Hoekstra, S. und S. M. Argelo (1992). Integral logistic structures developing customer-oriented goods flow. New York, Industrial Press.
- Hoffmann, J. (1997). Entwicklung eines QFD-gestützten Verfahrens zur Produktplanung und -entwicklung für kleine und mittlere Unternehmen. Berlin [etc.], Springer.
- Ilg, R. (1999). Rechnergestützte Gestaltungsvorhaben und Dialogbausteine für graphische Benutzungsschnittstellen. Berlin [etc.], Springer Verlag.
- Imhof, E. (1965). Kartographische Geländedarstellung. Berlin, De Gruyter.
- Ishii, K. (1995). Life-Cycle Engineering Design. Transactions of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue. Vol. 117: pp 42-47.
- ISO9241 (1992-2000). Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, International Organisation for Standardization.
- ISO9241-Teil10 (1996). Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung, International Organisation for Standardization.
- ISO13407 (1999). Human-centred design processes for interactive systems, International Organisation for Standardization.
- Jackson, R., L. MacDonald, et al. (1994). Computer Generated Color: A Practical Guide to Presentation and Display. New York, Wiley.
- Jarratt, T., C. Eckert, et al. (2002). Product Architecture and the Propagation of Engineering Change. Design 2002, May 14 - 17, Cavtat-Dubrovnik, Croatia.
- Järventausta, S. und A. Pulkkinen (2001). Enhancing Product Modularisation with Multiple Views of Decomposition and Clustering. IN: Design for Configuration, A Debate based in the 5th WDK Workshop on Product Structuring. A. Riitahuhta and A. Pulkkinen. Berlin [etc.], Springer.
- Jiao, J., M. M. Tseng, et al. (1999). Integrated Product and Production Data Management based on Generic Bill of Materials and Operations to support Mass Customization Production. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, Las Vegas, USA, ASME.
- Kallmeyer, F. (1998). Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme. Paderborn, Heinz Nixdorf Institut Universität-GH Paderborn.
- King, B. (1994). Quality function deployment doppelt so schnell wie die Konkurrenz.

- München, St. Gallen, gfmt Verlag.
- Kohlhase, N. (1997). Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen; Strategien, Methoden, Instrumente. Fortschritt-Berichte: Reihe 1 Nr. 275. Düsseldorf, VDI Verlag.
- Koller, R. (1994). Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte. Berlin [etc.], Springer-Verlag.
- Kota, S. und K. Sethuraman (1998). Managing Variety in Product Families through Design for Commonality. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 13-16, Atlanta, USA, ASME.
- Krueger, H. (1998). Provisorische Unterlagen zur Vorlesung "Mensch-Computer Interaktion" an der ETH Zürich, WS98/99. Zürich.
- Lanner, P. und J. Malmqvist (1996). An Approach Towards Considering Technical and Ecological Aspects in Product Architecture Design. 2nd WDK-Workshop on Product Structuring, Delft, The Netherlands, June 3-4.
- Larson, K. und M. Czerwinski (1998). Web Page Design; Implications of Memory. Structure and Scent for Information Retrieval.
- Leonhardt, U. (2001). Digitales Produkt: Beispiel einer Integrationsplattform für Technik- und Verkaufsprozesse mittels Informations- und Visualisierungstechnologien. Fortschritt-Berichte: Reihe 20 Nr. 340. Düsseldorf, VDI.
- Lethonen, T., J. Tiihonen, et al. (2000). Minimizing the need for IT support for Product Configuration. Proceedings of NordDesign 2000, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- Ley, W. (2001). Entwicklung von Produktplattformen. Mit intelligenter Produkt-Plattform zu erfolgreicher Product-Customization; Eine Veranstaltung der SCGA und der ETH Zürich. Zürich.
- Luhtala, M., E. Kilpinen, et al. (1994). Logi: Managing make-to-order supply chains. Helsinki, University of Technology, Industrial Economics and Industrial Psychology 153.
- Lynch, P. (2000). visual logic; list of columns about interface design; <http://patricklynch.net>. New Haven, Yale University.
- Macaulay, L. (1995). Human Computer Interaction for Software Designers. London, International Thomson Computer Press.

- Malmqvist, J. (2002). A Classification of Matrix-Based Methods for Product-Modeling. Design 2002, May 14 - 17, Cavtat-Dubrovnik, Croatia.
- Malmqvist, J. und D. Svensson (1999). A Design Based Theory Towards Including QFD Data in Product Models. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, Las Vegas, USA, ASME.
- Malmström, J. und J. Malmqvist (1998). Trade Off Analysis in Product Structures: A Case Study at Celsius Aerotech. NordDesign, Stockholm, 26-28 August.
- Männistö, T., T. Soininen, et al. (2000). Configurable Software Product Families. 14th European Conference on Artificial Intelligence ECAI 2000; Configuration Workshop, Berlin, Germany.
- Männistö, T., T. Soininen, et al. (2001). Modelling Configurable Products and Software Product Families. Helsinki, Helsinki University of Technology.
- Marbacher, A. (2001). Demand & Supply Chain Management: zentrale Aspekte der Gestaltung und Überwachung unternehmensübergreifender Leistungsprozesse betrachtet aus der Perspektive eines Markenartikelherstellers der Konsumgüterindustrie. Bern [etc.], Paul Haupt Verlag.
- Marcus, A. (1992). Graphic Design for Electronic Documents and User Interfaces. Wokingham, Addison-Wisley.
- Marr, D. (1982). Vision a computational investigation into the human representation and processing of visual information. San Francisco New York, Freeman.
- Martin, M. V. (2000). Design for Variety: a Methodology for Developing Product Platform Architectures. National Manufacturing Week. Stanford.
- Martin, M. V. und K. Ishii (1996). Design for Variety: a Methodology for Understanding the Costs of Product Proliferation. ASME Design Engineering Technical Conferences, August 18-22, Irvine, USA, ASME.
- Martin, M. V. und K. Ishii (1997). Design of Variety: Development of complexity indices and design charts. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 14-17, Sacramento, USA, ASME.
- Martin, M. V. und K. Ishii (2000). Design for Variety: a Methodology for Developing Product Platform Architectures. ASME Engineering Technical Conferences, September 10-13, Baltimore, USA, ASME.
- Meier, M., R. Montau, et al. (2002). Informationstechnologien im Digitalen Produkt,

- Unterlagen zur gleichnamigen Vorlesung an der ETH Zürich, SS02. Zürich.
- Meier, M. und E. Zwicker (2001). Innovation und Digitales Produkt - "Erfolgsfaktoren der industriellen Zukunft". Zürich, Zentrum für Produktentwicklung der ETH Zürich: 8 Seiten; www.zpeportal.ethz.ch.
- Mertens, P., J. Breuker, et al. (1994). Angebotsunterstützungssysteme für Standardprodukte. Informatik-Spektrum. 17: 291-301.
- Meyer, M. H. und A. P. Lehnerd (1997). The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership. New York, Free Press.
- Mittal, S. und F. Fraymann (1989). Towards a generic model of configuration tasks. IN: Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-89, Detroit, USA.
- Montau, R. (1996). Föderatives Produktdatenmanagement anhand semantischer Informationsmodellierung. Fortschritt-Berichte: Reihe 20 Nr.213. Düsseldorf, VDI Verlag.
- Morland, D. V. (1983). Human Factors Guidelines for Terminal Interface Design. in: Communications of the ACM. Vol. 26: S. 484-494.
- Müller, K. (1982). Kostensenken in der technischen Abwicklung durch Standardisieren. Baden, Schweiz, Abteilung CSE der BBC Brown Boveri: 24 Seiten.
- N.N. (1992). Macintosh Human Interface Guidelines. Menlo Park, New York, Addison Wesley Publishing Company.
- N.N. (1995). The Windows Interface Guidelines for Software Design,. Remond (Washington), Microsoft Press.
- N.N. (2000). Leere Einkaufskörbe bei Boo.com; Kollaps einer "E-tailer"-Firma. Neue Zürcher Zeitung. Zürich.
- N.N. (2001). An Introduction to the DSM Method, MIT Massachusetts Institute of Technology.
- Nielsen, J. (1999). Designing Web Usability: The Practice of Simplicity. Indianapolis, New Riders Publishing.
- Nielsen, J. (1999-2001). Jakob Nielsen's Alertbox; <http://www.useit.com>. Fremont, USA, Nielsen Norman Group.
- Nilsson, P. und G. Erixon (1998). The Chart of Modular Function Deployment. 4th

- WDK Workshop on Product Structuring, Delft, October 22-23, Delft University of Technology.
- Norman, D. (1988). Dinge des Alltags: gutes Design und Psychologie für Gebrauchsgegenstände. Frankfurt, Campus Verlag.
- Nygren, E. und A. Allard (1996). "Between the Clicks" Skilled Users Scanning of Pages. Designing for the Web: Empirical Studies. Human Factors and the Web/HTML Conference, Sandia National Laboratories, Albuquerque.
- Oppenländer, W. (2002). Erarbeitung eines Konfigurationstools für eine Kunststoffbehälter-Produktfamilie. Semesterarbeit am Zentrum für Produktentwicklung der ETH, WS01/02. Zürich.
- Östgren, B. (1994). Modularisation of the Product gives Effects in the Entire Production. The Royal Institute of Technology, Dept. of Manufacturing Systems. Stockholm, Sweden.
- Otto, K. (2000). Architecting Option Content; EDRL Technical Report 00-06; <http://design.mit.edu>. Cambridge, USA, Center for Innovation in Product Development; MIT.
- Otto, K. (2001). A Process for Modularizing Product Families. ICED 01: International Conference on Engineering Design, Glasgow; August 21-23, Professional Engineering Publishing Limited; Bury St Edmunds and London; UK.
- Otto, K. und K. L. Wood (2001). Product Design; Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. Upper Saddle River, New Jersey, USA, Prentice Hall.
- Pahl, G. und W. Beitz (1997). Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung. Berlin [etc.], Springer Verlag.
- Pelikan, T. (1976). Automated Design Engineering - Das System ADE-77. Auszug aus der BBC-internen Zeitschrift Konstrukteur. Nr. 3/76.
- Piller, F. (1998). Kundenindividuelle Massenproduktion: die Wettbewerbsstrategie der Zukunft. München [etc.], Hanser Verlag.
- Piller, F. (2000). Mass Customization: ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. Wiesbaden, Gabler Verlag.
- Poynter-Institute (2000). Definitely not your father's newspaper and surprise! All eyes on test, [online]; www.poynter.org/centerpiece/050300.htm.

- Preece, J., Ed. (1993). A guide to usability: human factors in computing. Menlo Park, New York u.a., Addison Wesley.
- Projekt-Merian (2000). Erste Ergebnisse der Merian Forschung. Göttingen, Universität Göttingen; www.marketing.uni-goettingen.de/forschung/aktuelles/merian_erste_ergebnisse.htm.
- Pulkkinen, A. (2000). A Framework for Supporting Development of Configurable Product Families. Proceedings of NordDesign 2000, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- Pulkkinen, A., T. Lethonen, et al. (1999). Design for Configuration - Methodology for Product Family Development. International Conference on Engineering Design, ICED-99, Munich, August 24-26.
- Puls, C. (2003). Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zum Management von Konfigurationswissen in KMU. Zentrum für Produktentwicklung. Diss. Nr. 14912, Zürich, ETH.
- Puls, C., L. Bongulielmi, et al. (2001). Die K- & V-Matrix: Methodik und System zur Abbildung von Wissen bezüglich Variantenprodukten. VDI-Tagung: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen., Kassel; 7-8 November, VDI-Gesellschaft: Entwicklung Konstruktion Vertrieb; Düsseldorf.
- Puls, C., L. Bongulielmi, et al. (2002a). Die Analyse von Variantenprodukten mit Hilfe der K- & V-Matrix. 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 23.-26. September, Technische Universität Ilmenau.
- Puls, C., L. Bongulielmi, et al. (2002b). Management of Different Types of Product Knowledge with the K- & V-Matrix. Design 2002, May 14 - 17, Cavtat-Dubrovnik, Croatia.
- Puls, C., L. Bongulielmi, et al. (2002c). welle-nabe.ch – Ein internetbasiertes Hilfsmittel für den Produktentwickler. <http://www.k-v-matrix.info>.
- Rathnow, P. (1993). Integriertes Variantenmanagement: Planung, Durchführung und Kontrolle von Innovationen. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht.
- Rauterberg, M., P. Spinass, et al. (1994). Benutzerorientierte Software-Entwicklung: Konzepte, Methoden und Vorgehen zur Benutzerbeteiligung. Zürich, vdf Hochschulverlag.
- Reitan, J., S. Stormo, et al. (2002). Redesigning Product Programs - Focusing on

- Variety, Complexity and Commonality. Design 2002, May 14 - 17, Cavtat-Dubrovnik, Croatia.
- Riedel, H., W. Eversheim, et al. (1999). Variantenorientierte Programmplanung - Komplexitätsbewältigung zwischen Markt und Produktion. VDI-Bericht 1510. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- Riitahuhta, A. und A. Pulkkinen, Eds. (2001). Design for Configuration; A Debate based on the 5th WDK Workshop on Product Structuring. Berlin [etc.], Springer.
- Riitahuhta, A., A. Pulkkinen, et al. (1998). Metrics for Supporting the Use of Modularisation in IPD. 4th WDK Workshop on Product Structuring, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Robertson, D. und K. T. Ulrich (1998). Platform Product Development. Sloan Management Review. Vol. 39: pp 19-31.
- Rodenacker, W. G. (1991). Methodisches Konstruieren Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele. Berlin [etc.], Springer.
- Roth, K. (1994). Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin [etc.], Springer.
- Sabin, D. und R. Weigel (1998). Product Configuration Frameworks - A Survey. IEEE Intelligent Systems. Vol. 13.
- Sari, J. F. (1981). The MPS and the Bill of Material go hand-in-hand, Richard C. Ling.
- Sauber, T. (2001). Bestimmung von prägenden Produktprofilen. Semesterarbeit am Institut für Mechanische Systeme der ETH Zürich. Zürich.
- Schierholt, K. und P. Schönsleben (2001). Process configuration mastering knowledge-intensive planning tasks. Zürich, vdf Hochschulverlag.
- Schlingheider, J. (1994). Methodik zur Entwicklung rechnerunterstützter Konfigurationssysteme. München [etc.], Hanser.
- Schönsleben, P. (2000). Integrales Logistik-Management: Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen. Berlin [etc.], Springer Verlag.
- Schuh, G. (1989). Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten - ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten. Fortschritt-Bericht: Reihe 2. Düsseldorf, VDI Verlag.
- Schuh, G. (1994). Strategisches Produktionsmanagement - Expansion durch Konzentration. NCG-Jahreskongress1994: Umdenken-Wandeln-Bestehen: Führungs- und

- Fachkompetenz sichert Industrieproduktion, München, 21-22.4.
- Schuh, G. und U. Schwenk (2001). Produktkomplexität managen Strategien - Methoden - Tools. München, Hanser.
- Schuh, G. und H. R. Tanner (1998). Mastering Variant Variety using the Variant Mode and Effect Analysis. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 13-16, Atlanta, USA, ASME.
- Siddique, Z. und D. W. Rosen (2000). Product Family Configuration Reasoning using Diskrete Design Spaces. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 10-13, Baltimore, USA, ASME.
- Soininen, T. (1996). Product configuration knowledge: Case study and general model. Helsinki, Finland, Helsinki University of Technology.
- Soininen, T. (1998). An Approach to Configuration Knowledge Representation and Reasoning. Laboratory of Information Processing Science. Helsinki, Helsinki University of Technology.
- Soininen, T., J. Tiihonen, et al. (1998). Towards a general ontology of configuration. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. vol 12: pp. 357-372.
- Sommerville, I. (1994). Software Engineering. Workingham, Addison Wesley.
- Spain, K. (1999). What's the best way to wrap links?, Usability News [online]; <http://wsupsy.psy.twsu.edu/surl/usabilitynews/1w/links.htm>.
- Stake, R. B. (2001). A Framework for Evaluating Commonality. IN: Design for Configuration, A Debate based in the 5th WDK Workshop on Product Structuring. A. Riitahuhta and A. Pulkkinen. Berlin [etc.], Springer.
- Stry, C. (1996). Interaktive Systeme: Software-Entwicklung und Software-Ergonomie. Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg Verlag.
- Stry, C. und T. Riesenecker-Caba (1999). EU-CON II: Softwareergonomische Bewertung und Gestaltung von Bildschirmarbeit. Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW.
- Steward, D. V. (1981). The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems. IEEE Transactions of Engineering Management. vol. 28.
- Stone, R. B., K. L. Wood, et al. (1998). A Heuristic Method to Identify Modules from a Functional Description of a Product. ASME Design Engineering Technical Confe-

- rences, September 13-16, Atlanta, USA, ASME.
- Suh, N. P. (1990). The principles of design. New York [etc.], Oxford University Press.
- Sundgren, N. (1998). Product platform development - Managerial issues in manufacturing firms. Department of Operations Management and Work Organisation, Chalmers University of Technology.
- Thissen, F. (2000). Screen Design: Effektiv informieren und kommunizieren mit Multimedia. Berlin [etc.], Springer Verlag.
- Tiihonen, J., T. Lethonen, et al. (1998). Modelling Configurable Product Families. 4th WDK Workshop on Product Structuring, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Tiihonen, J., T. Lethonen, et al. (1999). Modelling Configurable Product Families. International Conference on Engineering Design, ICED-99, Munich, August 24-26.
- Tiihonen, J. und T. Soininen (1997). Product Configurators – Information System Support for Configurable Products. Helsinki, Helsinki University of Technology, Laboratory of Information Processing Science.
- Tiihonen, J., T. Soininen, et al. (1996). State-of-the-practice in product configuration - a survey in 10 cases in the Finnish industry. IN: Knowledge Intensive CAD. T. Tomiyama, M. Mäntylä and S. Finger. London, Chapman & Hall. Volume 1.
- Totz, C. und K. Riemer (2001). The effect of interface quality on success - An integrative approach on Mass Customization Design. IN: Proceedings of the 1st World Congress on Mass Customization and Personalization, Hong Kong, China.
- Tseng, M. M. und J. Jiao (1998). Fundamental Issues Regarding Developing Product Family Architecture for Mass Customization. 5th International Conference on Industrial Engineering Management, Beijing.
- Tufte, E. R. (1990). Envisioning Information. Cheshire, Connecticut, Graphics Press.
- Ulich, E. und K. Tung (1991). Fundamentals of Product Modularity. Issues in Design Manufacture/Integration. DE-Vol.39.
- Ulrich, K. T. und S. D. Eppinger (1995). Product design and development. New York [etc.], McGraw-Hill.
- Ungeheuer, U. (1985). Produkt- und Montagestrukturierung: Methodik einer anforderungsgerechten Produkt- und Montagestruktur für komplexe Erzeugnisse der Einzel- und Kleinserieproduktion. Düsseldorf, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2,

- VDI-Verlag.
- VDI2222 (1997). VDI-Richtlinie 2222, Blatt1: Konstruktionsmethodik - Konzipieren technischer Produkte. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, Ed. (2001). Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen: Erfahrungen, Methoden und Instrumente; Tagung Kassel, 7.-8. November. VDI-Berichte 1645. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- Veen, E. A. v. (1992). Modelling product structures by generic bills-of-materials. Amsterdam [etc.], Elsevier.
- Verho, A. und V. Salminen (1993). Systematic Shortening of the Product Development Cycle. ICED 93: International Conference on Engineering Design, The Hague, The Netherlands; August 17-19.
- VW (2002). Werbung für Originalteile von VW. Automobil Revue.
- Walker, R. E., R. C. Nicolay, et al. (1965). Comparative assuarcy of recognising american and international road signs. Journal of Applied Psychology: pp .322-325.
- Wandmacher, J. (1993). Software Ergonomie. Berlin, New York, DeGryter.
- Weinschenk, S. und S. Yeo (1995). Enterprise-wide Gui Design. New York, Toronto, Singapore u.a., John Wiley Inc.
- Wertheimer, M. (1959). Productive Thinking. New York, Harper and Row.
- Wheelwright, S. C. und K. B. Clark (1992). Revolutionizing the Product Development. New York, The Free Press.
- Wielinga, B. und G. Schreiber (1996). "Configuration Design Problem Solving." IEEE Expert - Intelligent Systems & their Applications 12(2): 49-56.
- Wildemann, H. (1999). Wissensmanagement Leitfaden für die Gestaltung und Implementierung eines aktiven Wissensmanagements im Unternehmen. München, TCW Transfer-Centrum.
- Wirth, T. (2001). www.kommdesign.de, Psychologie, Ergonomie, Usability, Kommunikation.
- Wortmann, J. C., D. R. Muntslag, et al. (1997). Customer-Driven Manufacturing. London, Chapman and Hall.
- Wüpping, J. (2000). Technischer Vertrieb und wissensbasierte Konfiguration von Antriebssystemen. Produkt-Konfiguration in der betrieblichen Praxis, 17. Novem-

ber, Stuttgart.

Wüpping, J. (2001a). Aufbau einer B2B-E-Sales-Lösung für die Investitionsgüterindustrie. PPS-Management: 22-26.

Wüpping, J. (2001b). Vertriebsautomatisierung für Investitionsgüterhersteller. IN: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen; Erfahrungen, Methoden und Instrumente. Düsseldorf, VDI-Verlag. VDI-Bericht 1645.

Yu, B. und H. J. Skovgaard (1998). A Configuration Tool to Increase Product Competitiveness. IEEE, Intelligent Systems. Vol. 13.

Yu, J. S., J. P. Gonzales-Zugasti, et al. (1998). Product Architecture Definition Based Upon Customer Demands. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 13-16, Atlanta, USA, ASME.

Zamirowski, E. J. (1999). Identifying Product Portfolio Architecture Modularity Using Function and Variety Heuristics. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, Las Vegas, USA, ASME.

Zimmermann, V. (1995). Quality Function Deployment (QFD) im Entwicklungsprozess Konzepte, Modelle, Methoden und Hilfsmittel. Kaiserslautern, Fbk.

Zwicker, E. (1998). Unterstützung der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung durch den Einsatz moderner Informationstechnologien. Fortschritt-Berichte: Reihe 20, Nr. 288. Düsseldorf, VDI Verlag.

Zwicker, E. (2001). Variantenmanagement innerhalb des Product Daten Management (PDM). Mit intelligenter Produktplattform zu erfolgreicher Produkt-Customization; Eine Veranstaltung der SCGA und der ETH Zürich. Zürich.